SeismoStruct

Manual de Usuario

2026

Derechos de Autor

Derechos de Autor © 2002-2026 Seismosoft Ltd. Todos los derechos reservados.

SeismoStruct® es una marca registrada de Seismosoft Ltd. Los derechos de autor protegen el software y toda la documentación asociada.

Ninguna parte de este manual puede ser reproducida o distribuida en cualquier forma o medio, sin autorización explícita escrita previa por parte de Seismosoft Ltd.

Seismosoft Ltd.
Piazza Castello, 19
27100 Pavia (PV) - Italy
e-mail: info@seismosoft.com
website: www.seismosoft.com

Todos los esfuerzos se han tomados para asegurar que la información contenida en este manual sea precisa. SeismoSoft no se hace responsable por errores de imprenta o administrativos.

Finalmente, mención de productos de terceros es para propósitos informativos solamente y no constituyen recomendaciones o exhortaciones.

CÓMO REFERENCIAR EL USO DEL SOFTWARE

Para referenciar/acreditar en cualquier tipo de publicación (ensayos científicos, reportestécnicos, textos, libros, tesis, etc.) el uso de este software, debe utilizarse la siguiente expresión: *Seismosoft [2026] "SeismoStruct 2026– A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures," available from https://www.seismosoft.com*.

Tabla de Contenidos

Introducción 9

General 11
Requerimientos del Sistema 11
Instalación/Desinstalación del software 11
Ejecución del software y opciones de Registro 12
Menú Principal y Barra de Herramientas 14

Inicio Rápido 18
Tutorial n.1 – Análisis de Pushover de un Edificio de Dos Pisos 18
Tutorial n.2 –AnálisisPushover de un edificio de dos Pisos 44
Tutorial n.3 – Análisis Dinámico en el tiempo de un edificio de dos pisos 49
Tutorial n.4 – Análisis de Pushover de un Edificio de Dos Pisos 52
Tutorial n.5 – Análisis de Eigenvalores de un Edificio de Dos Pisos 88
Tutorial n.6 – Análisis Dinámico de Time-History de un Edificio de Dos Pisos 95
Modelador de edificio 100
Ajustes Básicos y Configuración Estructural *101*
Ajustes Avanzados *101*
Ventana Principal del Modelador de Edificio *108*
Insertar Miembros Estructurales *110*
Parámetros Avanzados de Modelaje *114*
Parámetros de Modelado de Zapatas *115*
Encamisado *116*
Viga de Acero *128*
Losa por Perímetro *133*
Cargas Puntuales *139*
Cargas Lineales *141*
Zapatas Individuales *142*
Zapatas Corridas *144*
Vigas de Connexión *145*
Editando Miembros Estructurales *145*
Creando Nuevos Pisos *148*
Ver Modelo 3D *149*
Otras Funciones del Modelador de Edificio *149*
Salvando y Guardando Proyectos del Modelador de Edificio *151*
Creando Proyectos de SeismoStruct *151*
Asistente 152
Modelo Estructural y Configuración *153*
Ajustes *154*
Carga *154*
Exportar e Importar Proyectos de Seismostruct como Archivos XML 156

Pre-Procesador 157
Tipos de Análisis 157
Área del Pre-Procesador 158
Seleccionador de Unidades 159
Edición 160
Funciones de Edición *160*
Input/Generación Gráfica *162*

Grupos de Nodos/Elementos ... *162*
Opciones Gráfico 3D ... *164*
Cómo rotar/mover el modelo 3D ... *169*
Ajustes de Proyecto ... 170
General ... *171*
Análisis ... *172*
Elementos ... *174*
Vínculos Internos ... *176*
Pushover Adaptativo ... *177*
Eigenvalores ... *179*
Modelos Constitutivos ... *181*
Subdivisión de Elementos ... *181*
Análisis de Espectro de Respuesta ... *182*
Rigidez Agrietada/No Agrietada ... *183*
Pandeo ... *184*
Criterios de Convergencia ... *185*
Estrategia IterativaGlobal ... *189*
Estrategia Iterativa del Elemento ... *192*
Gravedad y Masa ... *194*
Esquema de Integración ... *195*
Amortiguamiento ... *197*
Materiales ... 200
Secciones ... 202
Secciones Personalizadas ... 205
Clases de Elementos ... 208
Geometría Estructural ... 210
Nodos ... *211*
Conectividad de los Elementos ... *213*
Vínculos Internos ... *224*
Zapatas Individuales ... *225*
Zapatas Corridas ... *226*
Vigas de Connexión ... *227*
Vínculos Externos ... *231*
Cargas ... 233
Parámetros de Tsunamis ... *233*
Condiciones de Carga ... *240*
Cargas (distribuidas) en Elementos ... *245*
Fases de Carga ... *246*
Curvas time-history ... *251*
Parámetros para pushover adaptativo ... *254*
Parámetros IDA ... *258*
Parámetros RSA ... *259*
Desplazamiento Objetivo ... 260
Revisiones basadas en código ... 263
Criterios de Desempeño ... 266
Estadísticas del Modelo ... 270
Output del Análisis ... 270

Procesador ... 274

Post-Procesador ... 280
Ajustes del Post-Procesador ... 281
Opciones de Gráfico ... 282
Cómo Crear un Video del Análisis ... 283
Registros del Análisis ... 285

Cantidades Modales/de Masa ... 285
Desplazamiento Objetivo ... 287
Output Paso a Paso ... 288
Visor de la Deformada ... 289
Problemas de Convergencia ... 292
Diagramas de Fuerzas Internas ... 293
Revisiones Basadas en Código ... 294
Parámetros de Respuesta Global ... 296
verificaciones de los Criterios de desempeño ... 300
Solicitaciones en los Elementos ... 301
Output de Esfuerzos y Deformaciones ... 306
Envolvente IDA ... 309

Herramienta Batch de SeismoStruct ... 310
Creando Archivos de Entrada con el Creador de SPF ... 310
SeismoBatch ... 312
Definiendo el directorio de trabajo en SeismoBatch ... 313
Corriendo los Análisis desde SeismoBatch ... 314
Extrayendo Resultados desde SeismoBatch ... 314

Bibliografía ... 316

Apéndice A – Marco teórico e hipótesis de modelado ... 327
No-linealidad geométrica ... 327
Inelasticidad de los materiales ... 328
Sistemas de Ejes Globales y Locales ... 331
Procedimiento para la solución de problemas no lineales ... 332

Apéndice B –Tipos de Análisis ... 340
Análisis de Eigenvalores ... 340
Análisis Estático (carga no variable) ... 341
Análisis Pushover Estático Convencional ... 341
Análisis Pushover Estático Adaptativo ... 342
Análisis Estático Time-History ... 343
Análisis Dinámico Time-History ... 343
Análisis Dinámico Incremental – IDA ... 343
Análisis de Espectro de Respuesta – RSA ... 343
Análisis de Pandeo ... 344
Análisis No Lineal de Tsunami ... 344

Apéndice C - Materiales ... 346
Acero ... 346
Materiales de concreto/Hormigón ... 354
Otros Materiales ... 361

Apéndice D - Secciones ... 367
Secciones de un Material ... 367
Secciones de ConcretoReforzado ... 385
Secciones de Concreto reforzado Encamisado ... 402
Secciones Compuestas ... 418
Secciones de Mampostería ... 422

Apéndice E – Miembros del Modelador de Edificio ... 424

Apéndice F – Clases de Elementos ... 482
Tipos de elementos viga-columna ... 482
Elementos Tipo Link ... 511
Elementos de Masa y Disipación ... 531

Apéndice G – Curvas de Respuesta **536**

Apéndice H–Códigos **569**

Apéndice H1 - EUROCODIGOS **569**
Criterios de desempeño 569
Estado Límite Cercano al Colapso (NC) *569*
Estado Límite de Daño Significativo (SD) *569*
Estado Límite de Limitación del Daño (DL) *569*
Información para la evaluación estructural 570
KL1: Conocimiento Limitado *570*
KL2: Conocimiento Normal *570*
KL3: Conocimiento Completo *570*
Factores de Confianza (CF) *571*
Factores de Seguridad *572*
Modelos de Capacidad para Evaluaciones y Revisiones 572
Capacidad de Deformación *572*
Capacidad de Momento Flector *575*
Capacidad a Cortante *575*
Elementos de mampostería *576*
Curva de Capacidad 577
Desplazamiento Objetivo 577

Apéndice H2 - ASCE **580**
Requisitos de Desempeño 580
Nivel de Desempeño Operacional (1-A) *580*
Nivel de Desempeño de Ocupación Inmediata (1-B) *580*
Nivel de Desempeño de Seguridad de Vida (3-C) *581*
Nivel de Desempeño de Prevencion del Collapso (5-D) *581*
Información para la Evaluación Estructural 581
Conocimiento Mínimo *581*
Conocimiento Usual *581*
Conocimiento Integral *582*
Factores de Conocimiento *582*
Factores de Seguridad *582*
Modelos de Capacidad para Evaluaciones y Revisiones 582
Capacidad de Deformación *582*
Capacidad de Momento Flector *583*
Capacidad a Cortante *583*
Elementos de Mampostería *585*
Curva de Capacidad 588
Desplazamiento Objetivo 588

Apéndice H3 - NTC-18 ..... **591**
Requisitos de Desempeño 591
Estado Límite de Prevención del Colapso (SLC) *591*
Estado Límite de Seguridad de Vida (SLV) *591*
Estado Límite de Limitación del Daño (SLD) *591*
Estado Límite de Nivel Operacional (SLO) *591*
Información para la Evaluación Estructural 591
KL1: Conocimiento Limitado *592*
KL2: Conocimiento Adecuado *592*
KL3: Conocimiento Preciso *592*
Factores de Confianza *593*
Factores de Seguridad *594*

Modelos de Capacidad para Evaluaciones y Revisiones 594
Capacidad de Deformación *594*
Capacidad de Momento Flector *596*
Capacidad a Cortante *596*
Elementos de Mampostería *597*
Tensión Diagonal en las Uniones *599*
Compresión Diagonal en las Uniones *599*
Derivas Entre Pisos *599*
Curva de Capacidad 600
Desplazamiento Objetivo 600

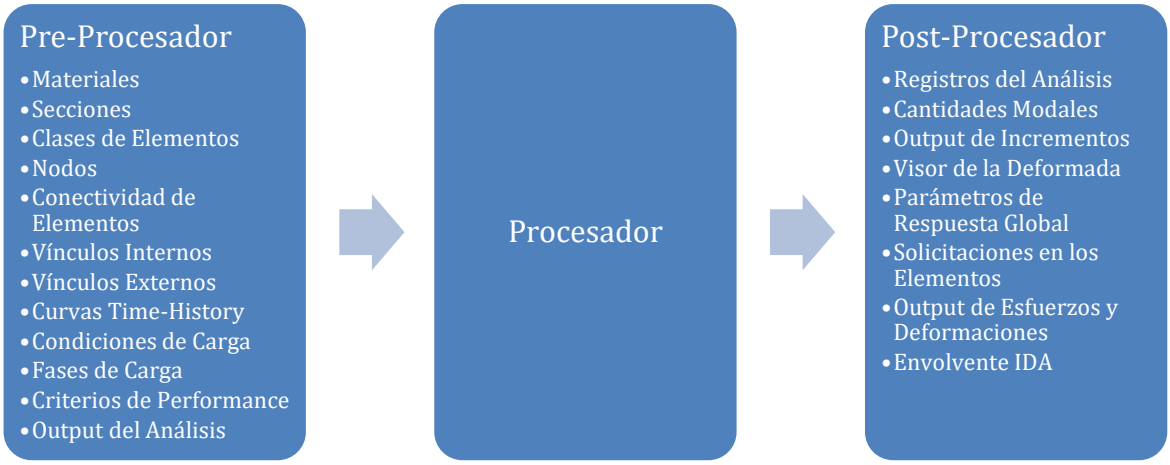
Apéndice H4 - KANEPE 602
Requisitos de Desempeño 602
Nivel de Desempeño de Ocupación Inmediata (A) *602*
Nivel de Desempeño de Seguridad de Vida (B) *602*
Nivel de Desempeño de Prevención del Colapso (C) *602*
Información para la evaluación estructural 603
DRL Tolerable *603*
DRL Suficiente *603*
DRL Alto *603*
Factores Parciales *604*
Modelos de Capacidad para Evaluaciones y Revisiones 604
Capacidad de Deformación *604*
Capacidad de Momento Flector *607*
Capacidad a Cortante *607*
Elementos de Mampostería *609*
Tensión Diagonal en las Uniones *609*
Compresión Diagonal en las Uniones *609*
Curva de Capacidad 609
Desplazamiento Objetivo 610

Apéndice H5 - TBDY 613
Requisitos de Desempeño 613
Nivel de Desempeño de Uso Continuo (KK) *613*
Nivel de Desempeño de Ocupación Inmediata (HK) *613*
Nivel de Desempeño de Seguridad de Vida (CG) *613*
Nivel de Desempeño de Prevención del Colapso (BP) *613*
Información para la Evaluación Estructural 614
Conocimiento Limitado *614*
Conocimiento Integral *614*
Factores de Conocimiento *614*
Factores de Seguridad *615*
Modelos de Capacidad para Evaluaciones y Revisiones 615
Capacidad de Rotación *615*
Capacidad de Deformación *616*
Capacidad de Momento Flector *617*
Capacidad de Cortante *617*
Elementos de Mampostería *618*
Fuerza Cortante en las Uniones *618*
Curva de Capacidad 618
Desplazamiento Objetivo 618

Introducción

SeismoStructes un paquete de Elemento Finito para el análisis estructural, capaz de predecir el comportamiento de grandes desplazamiento en marcos espaciales bajo cargas estáticas o dinámicas, tomando en cuenta no *linealidades geométricas* e *inelasticidad en materiales*.

El software consiste de tres módulos principales: un **Pre-Procesador**, en el cual es posible definir los datos de input del modelo estructural, un **Procesador**, en el cual se ejecuta el análisis y, finalmente, un **Post-Procesador** para el procesamiento de los resultados. Todas las acciones son llevadas a cabo a través de una **interfaz completamente gráfica**. No requiere de la configuración de archivos, ni códigos de programación, ni ningún otro tipo de edición compleja de textos. Además, el procesador permite visualizar en tiempo real la curva de desplazamiento y la deformada de la estructura, así como también pausar y reanudar el análisis cuando se desee, mientras que el Post-Procesador ofrece herramientas avanzadas de post-procesamiento, incluyendo la posibilidad de personalizar el formato de los gráficos y la deformada de acuerdo con las preferencias del usuario; es posible también crear archivos de video AVI para ilustrar mejor la secuencia de deformación de la estructura.



Estructura del Software

El software se encuentra completamente integrado al entorno Windows. Los datos de input creados en programas de planillas de cálculo (como Microsoft Excel) pueden ser pegados en las tablas de ingreso de datos de SeismoStruct, lo cual facilita el pre-procesamiento. Asimismo, toda la información visible dentro de la interfaz gráfica de SeismoStruct puede ser copiada y pegada en aplicaciones externas (por ej., programas de procesamiento de texto, como Microsoft Word), incluyendo datos de input y output, gráficos de alta calidad, gráficos del modelo deformado y no deformado, y mucho más.

Por último, a través del *Asistente*, el usuario puede crear modelos regulares/irregulares en 2D o 3D y ejecutar todo tipo de análisis en forma sumamente veloz, ya que el proceso completo no lleva más que unos pocos segundos.

Algunos de los modelos/análisis disponibles en SeismoStruct se enumeran a continuación:

- Nuevetipos diferentes de análisis: time-history dinámico y estático, pushover convencional y adaptativo, análisis dinámico incremental, eigenvalores y con carga estática no variable, análisis de espectros de respuesta y análisis de pandeo.
- Veinte modelos de materiales, tales como modelos no lineales para hormigón armado, modelo no lineal para hormigón de alta resistencia, modelos no lineales para acero, modelos no lineales SMA, etc.

- Una amplia biblioteca de elementos 3D, tales como elemento no lineal viga-columna con fibras, elemento de reticulado no lineal, elemento panel infill no lineal, elementos de mampostería no lineal, elementos link no lineales, etc., que pueden ser utilizados en conjunto con una amplia variedad de secciones predefinidas de acero, hormigón armado y compuestas.
- Treinta y uno modelos histeréticos, tales como modelos lineales/bi-lineales/tri-lineales con endurecimiento cinemático, modelos gap-hook, modelos de interacción suelo-estructura, modelo de Takeda, modelo de Ramberg-Osgood, etc.
- Revisiones Basadas en Código para las Rotaciones de Cuerdas, Capacidad de Cortante, y Capacidad de Momento Flector de los elementos y de mampostería. Hay seis códigos disponibles en este momento, Eurocódigo 8, el ASCE 41-23 (Código Americano de Evaluación Sísmica e Intervención de Edificios Existentes), el NTC-18 (Código Sísmico Nacional Italiano), el KANEPE (Código Griego de Intervenciones Sísmicas) y el TBDY (Código de Construcción y Evaluación Sísmica de Turquía).
- Varios *Criterios de Performance*, que permiten al usuario identificar los instantes en los cuales distintos estados límites de desempeño son alcanzados (por ej., daño no estructural, daño estructural, colapso). Mediante su uso es posible determinar fácilmente la secuencia de fisuración, fluencia y falla de los miembros estructurales.
- Dos algoritmos de resolución diferentes: el algoritmo Skyline (descomposición de Cholesky, algoritmo de ordenamiento de nodos de Cuthill-McKee, formato de almacenamiento Skyline) y el algoritmo Frontal para sistemas dispersos, introducido por Irons [1970], con el algoritmo de ordenamiento automático propuesto por Izzuddin [1991].
- Las cargas aplicadas pueden consistir en fuerzas constantes o variables, desplazamientos y aceleraciones en los nodos. Las cargas variables pueden variar proporcionalmente o independientemente en el dominio del tiempo o pseudo-tiempo.
- La propagación de la inelasticidad a lo largo de la longitud y la sección es modelada explícitamente en SeismoStruct, permitiendo la estimación precisa de la acumulación de daño.
- Estabilidad numérica y precisión incluso para niveles muy elevados de deformación, lo cual permite la determinación precisa de la carga de colapso de una estructura.
- SeismoStruct posee la habilidad de subdividir inteligentemente la magnitud del incremento de carga o de tiempo cuando se presentan problemas de convergencia. El nivel de subdivisión depende del grado de la dificultad de convergencia encontrada. Cuando ésta es superada, el programa automáticamente aumenta el incremento a su valor original.

General

REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

Para utilizar **SeismoStruct**, sugerimos:

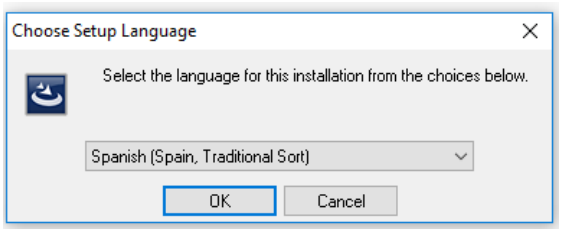
- PC (o "máquina virtual") con uno de los siguientes sistemas operativos: Windows 7 y versiones posteriores de Windows (64-bit);
- 8 GB RAM;
- Resolución de pantalla de 1366x768 o mayor;
- Conexión a Internet para el registro del software (se recomienda conexión de banda ancha).

INSTALACIÓN/DESINSTALACIÓN DEL SOFTWARE

Instalación del software

Para instalar **SeismoStruct**, siga los pasos que se enumeran a continuación:

1. Descargue la última versión del programa del sitio:https://seismosoft.com/products/
2. Guarde la aplicación en su ordenador y ejecútela. Se le solicitará seleccionar el idioma de instalación:



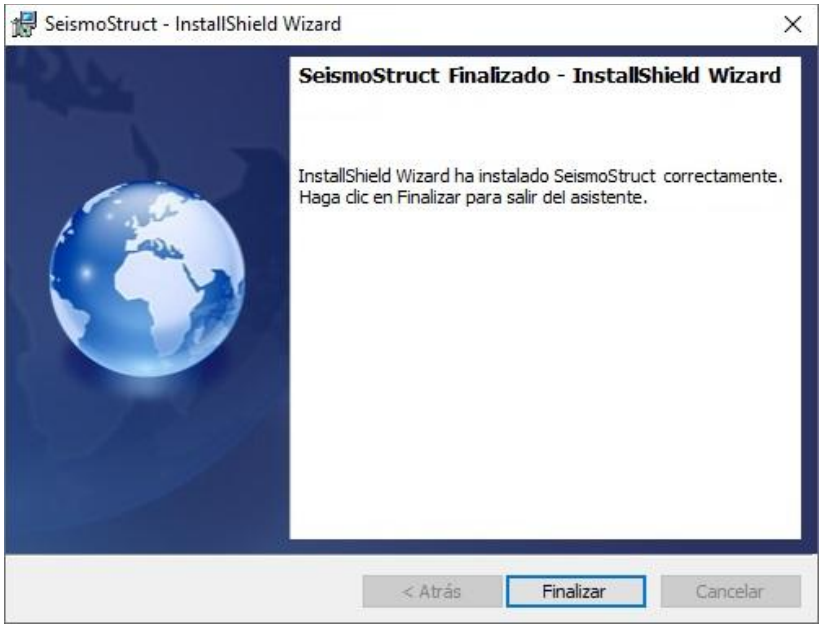
Selección del lenguaje de preparación

3. Luego de elegir el idioma de preferencia en el menú desplegable, haga clic en el botón de *OK*.



Asistente de instalación (primera ventana)

4. Haga clic sobre el botón Siguiente para continuar con la instalación. Aparecerá sobre la pantalla el *Acuerdo de Licencia*. Por favor, léalo atentamente y acepte los términos seleccionando la casilla correspondiente.
5. Haga clic sobre el botón *Siguiente*. En la ventana siguiente, haga clic sobre *Siguiente* nuevamente si desea instalar en la carpeta de destino seleccionada por defecto, o haga clic en *Cambiar* para seleccionar una carpeta diferente.
6. Haga clic sobre el botón *Instalar* y espere hasta que el software haya sido instalado.
7. Al finalizar el proceso, haga clic sobre *Finalizar* para salir del asistente.



Asistente de instalación (última ventana)

Desinstalación del software

Para desinstalar el software del ordenador:

1. Abra el menú de Inicio
2. Haga clic en Ajustes
3. Haga clic en Sistema en el menú Configuración.
4. Seleccione Apps & Features en el panel izquierdo.
5. Seleccione el programa de la lista de todas las aplicaciones instaladas.
6. Espere hasta que se desinstale el software.

EJECUCIÓN DEL SOFTWARE Y OPCIONES DE REGISTRO

Para iniciar SeismoStruct, seleccione *Inicio* > *Programas* o *Todos los Programas* > *Seismosoft* > *SeismoStruct 2026* > *SeismoStruct 2026* Aparecerá la siguiente ventana de registro:

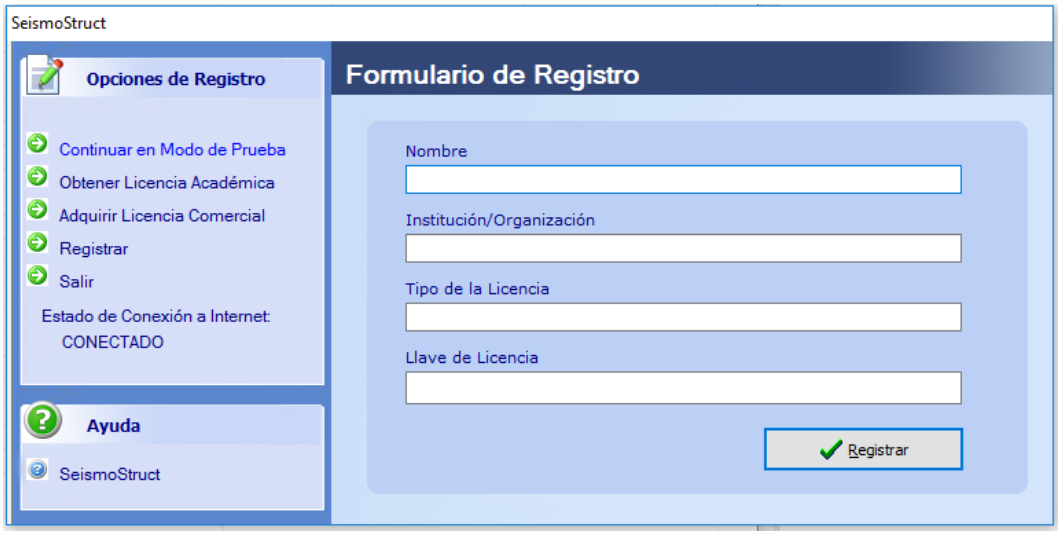


Ventana de Registro de SeismoStruct

Antes de utilizar el software, deberá seleccionar una de las siguientes opciones:

1. Continuar utilizando el software en modo de prueba.
2. Obtener una licencia académica, indicando una dirección válida de e-mail académico.
3. Adquirir una licencia comercial.

NOTA:Si selecciona las opciones 2 ó 3, debe registrar el producto utilizando los datos de licencia que le



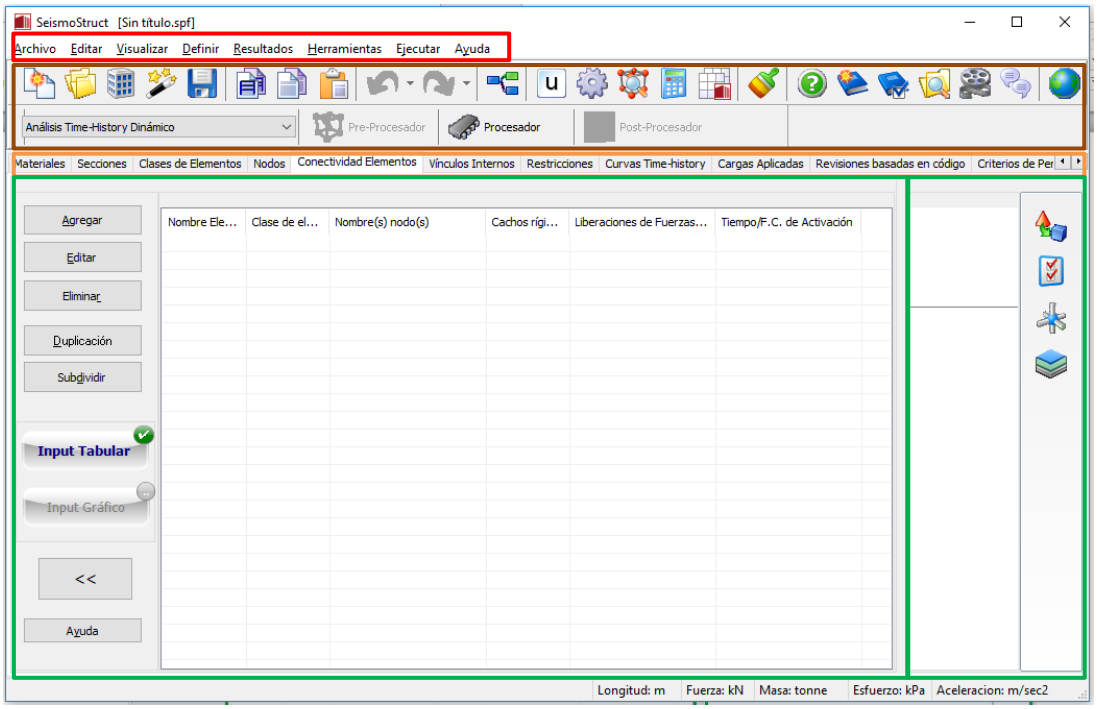
Formulario de Registro

IMPORTANTE: Respecto a la llave de lincencia por favor note que, como indicado en el mensaje que aparece antes de que aparezca la ventana principal del programa, las licencias de la versión 2025 y anteriores no son válidas en Seismostruct 2026. Por consiguiente, se invita a los usuarios a solicitar una licencia nueva.

Menú Principal y Barra de Herramientas

SeismoStruct presenta una interfaz de usuario simple y fácil de entender. La **ventana principal** del **área del Pre-Procesador**, que es el estado "por defecto" del programa, se encuentra subdividida en los siguientes componentes:

- **Menú Principal y Barra de Herramientas**: en la parte superior de la ventana del programa;
- **Barra de Módulos**: debajo de la Barra de Herramientas principal;
- **Tabla de input**: debajo de la barra de Módulos;
- **Ventana del modelo 3D y barra de ajustes**: sobre la derecha de la ventana del programa;
- **Barra de Edición**: sobre la izquierda de la ventana del programa;



Área del Pre-Procesador

NOTA: El menú principal y la barra de herramientas se encuentran disponibles en todos los estados del programa (es decir, Pre-Procesador, Procesador y Post-Procesador. Sólo podrán ser seleccionadas las opciones válidas para el estado actual del programa (por ej., el Pre-Procesador), mientras que las restantes serán visibles en gris. Asimismo, podrán aparecer componentes adicionales, dependiendo del módulo en el que se encuentre.

Menú principal

El **menú principal** es el menú de comandos del programa, y consiste de los siguientes menúes desplegables:

- Archivo
- Edición
- Ver
- Definir
- Resultados
- Herramientas
- Ejecutar
- Ayuda

Barra de herramientas principal

La **barra de herramientas principal** provee acceso rápido a las opciones del menú más frecuentemente utilizadas.



Barra de herramientas principal

Un vistazo de todos los comandos necesarios para correr SeismoStruct se muestra a continuación:

Comando	Menú principal	Atajos de teclado	Botón de barra de herramientas
Archivo	Nuevo	Ctrl+N	
	Abrir	Ctrl+O	
	Asistente	-	
	Modelador de Edificio	-	
	Guardar	Ctrl+S	
	Guardar como…	-	
	Exportar a archivo XML…		
	Importar desde archivo XML…		
	Mostrar estructura de archivo SPF		
Editar	Deshacer	Ctrl+Z	
	Rehacer	Ctrl+R	
	Organizar Grupos		
	Deshacer	-	
	Ordenar por nombre		
	Ordenar por número		
	Copiar Selección	Ctrl+C	
	Copiar Gráfico 3D	Ctrl+Alt+C	
	Pegar Selección	Ctrl+V	
	Buscar…	Ctrl+F	
	Buscar Siguiente	F3	
	Seleccionar Todo	Ctrl+A	
Ver	Propiedades Módulo Sucesivo	Ctrl+W	
	Propiedades Módulo Precedente	Ctrl+Q	
	Estadísticas del Modelo		
	Ver Iconos Grandes		
	Ver Iconos Pequeños		
Definir	Propiedades Materiales		
	Propiedades Secciones		
	Clases de Elementos		

Comando	Menú principal	Atajos de teclado	Botón de barra de herramientas
	Nodos Estructurales		
	Conectividad Elementos		
	Vínculos Internos		
	Vínculos Externos		
	Curvas Lineales		
	Condiciones de Carga		
	Fases		
	Desplazamiento Objetivo		
	Parámetros Adaptivos		
	Parámetros del Espectro de Respuesta		
	Revisiones de Capacidad		
	Criterios de Desempeño		
	Output		
Resultados	Registros Análisis		
	Cantidades Modales		
	Output Paso a Paso		
	Deformadas		
	Extraer Solicitaciones Internas		
	Parámetros de Respuesta Global		
	Solicitaciones sobre Elementos		
	Output Esfuerzos y Deformaciones		
	Envolvente IDA		
Herramientas	Unidades de Medida	Ctrl+U	
	Crear archivo AVI...		
	Mostrar archivo AVI...		
	Redibujar Gráfico 3D	-	
	Ajustes de Proyecto.../Ajustes del Post-Procesador...	-	
	Opciones Gráfico 3D	-	
	Ajustes Deformada	-	
	Calculadora	-	
	Creador de SPF		
	Abrir SeismoBatch		
Ejecutar	Pre-Procesador		
	Procesador		
	Post-Procesador		
Ayuda	Ayuda SeismoStruct	F1	
	Rotar/mover el modelo 3D	-	
	Manual del Usuario de SeismoStruct		

Comando	Menú principal	Atajos de teclado	Botón de barra de herramientas
	Informe de Verificación de SeismoStruct		
	Ejemplos de Verificación		
	Descargar Achivos de Ejemplo		
	Foro SeismoSoft		
	Tutoriales en Video		
	Enviar un Mensaje a Seismosoft		
	Sitio Web Seismosoft	-	
	Registrar Nueva Licencia		
	Acerca de...	-	

Inicio Rápido

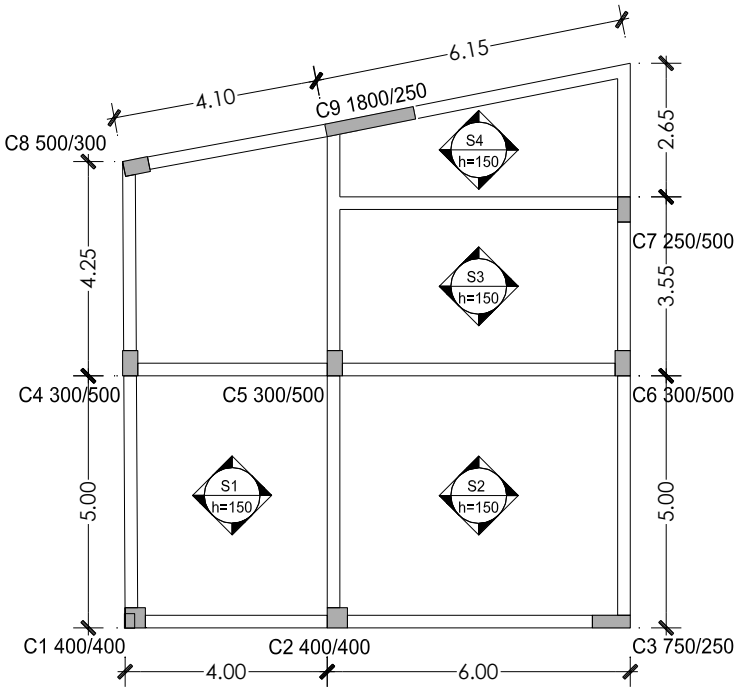
Este capítulo lo guiará en sus **primeros análisis con SeismoStruct**.

SeismoStruct ha sido diseñado pensando tanto en la facilidad de uso como en la flexibilidad. Nuestro objetivo es que usted pueda ejecutar análisis (incluso los "dificultosos" análisis time-history dinámicos) en unos pocos minutos. De hecho, es mucho más simple utilizar SeismoStruct que describirlo. Verá que, una vez que haya asimilado unos pocos conceptos importantes, el proceso completo resultará bastante intuitivo.

TUTORIAL N.1 – ANÁLISIS DE PUSHOVER DE UN EDIFICIO DE DOS PISOS

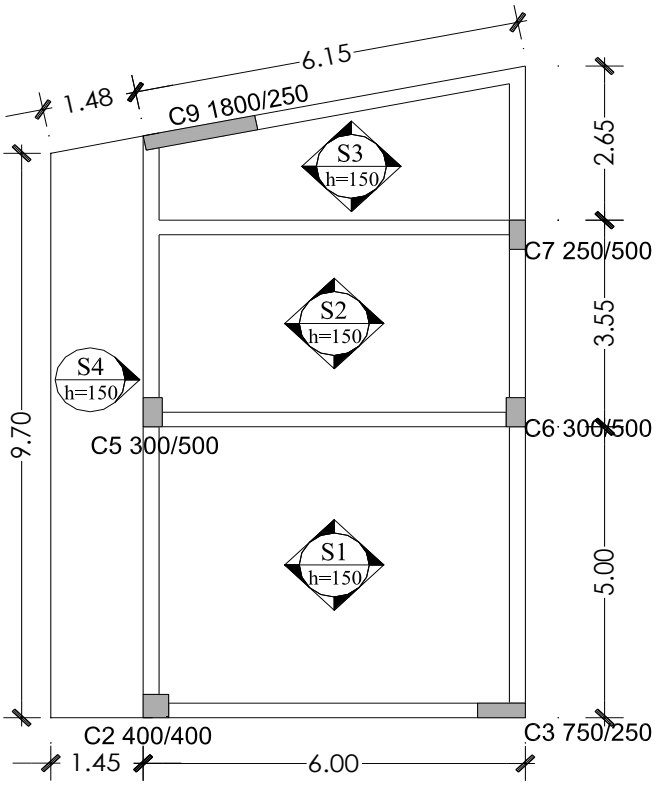
Descripción del Problema

Intentemos modelar un edificio de dos pisos de concreto reforzado tridimensional, para el cual se requiere correr análisis estáticos de pushover (en la dirección X). El Modelador del Edificio será usado para una decisión fácil y rápida del edificio. La geometría del primer y segundo piso se muestra en las vistas correspondientes abajo:



Vista en Planta del 1er piso del edificio.

NOTA: Puede encontrar una película describiendo el tutorial N.1 en el sitio web de Seismosoft.

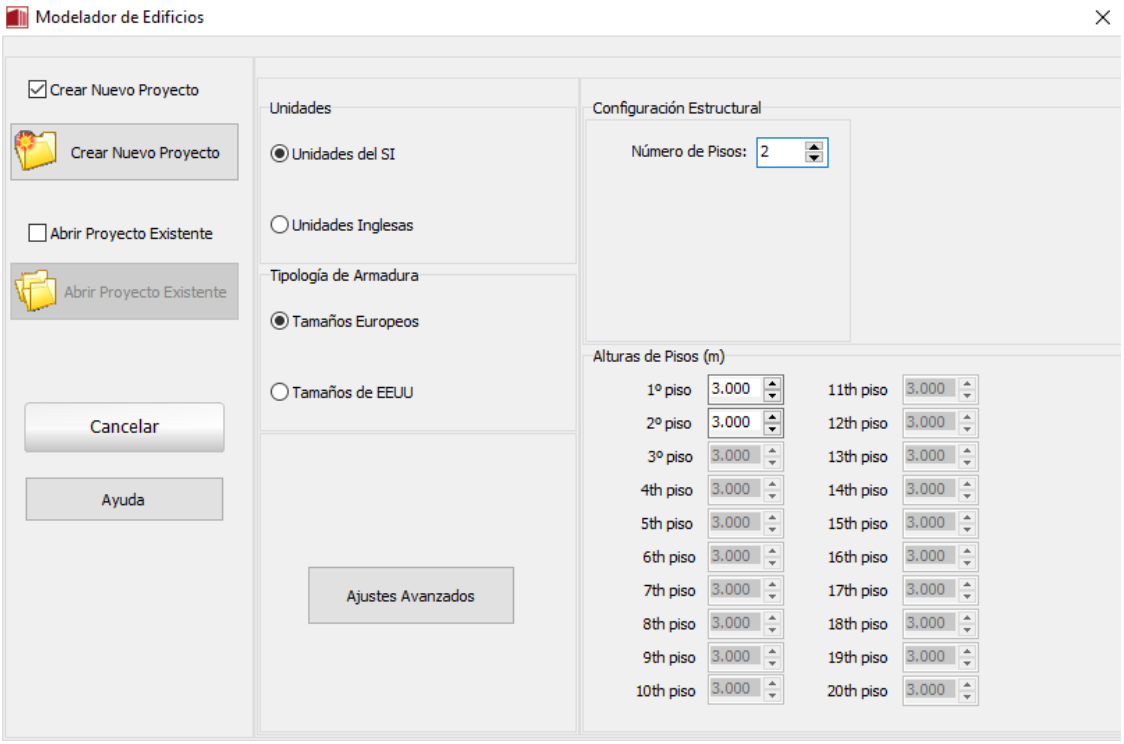


Vista en Planta del 2do piso del edificio.

Iniciando: un nuevo proyecto

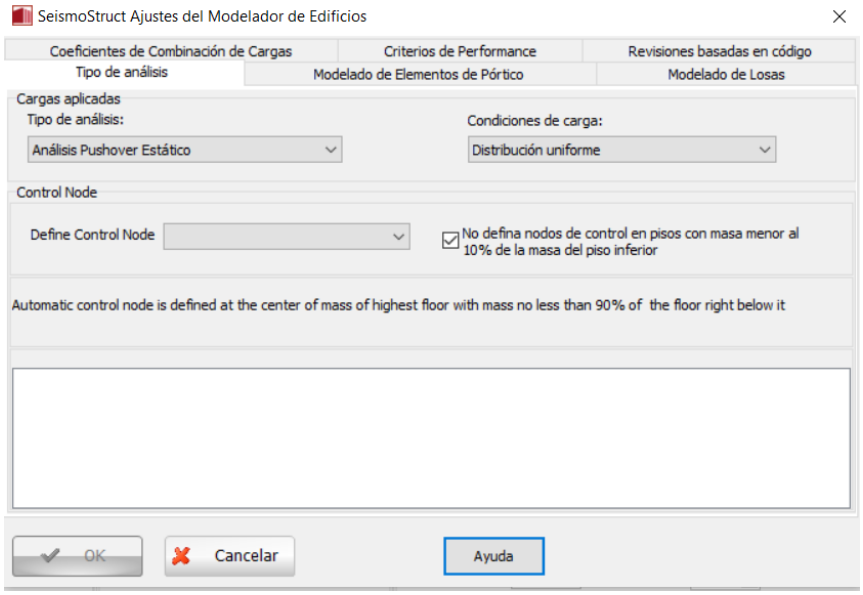
Seleccionando el comando de menú *Archivo > Modelador de Edificio…* o dándole clic al icono en la barra de herramientas, se abrirá la ventana del Modelador de Edificio, para el cual las unidades, número de pisos y altura de pisos puede seleccionarse. Proceda dándole clic al botón de *Crear Nuevo Proyecto de Edificio.* Para este tutorial los siguientes ajustes fueron escogidos:

- Unidades SI
- Tamaños europeos para los tipos de varilla.
- 2 Pisos
- Alturas de Piso: 3m



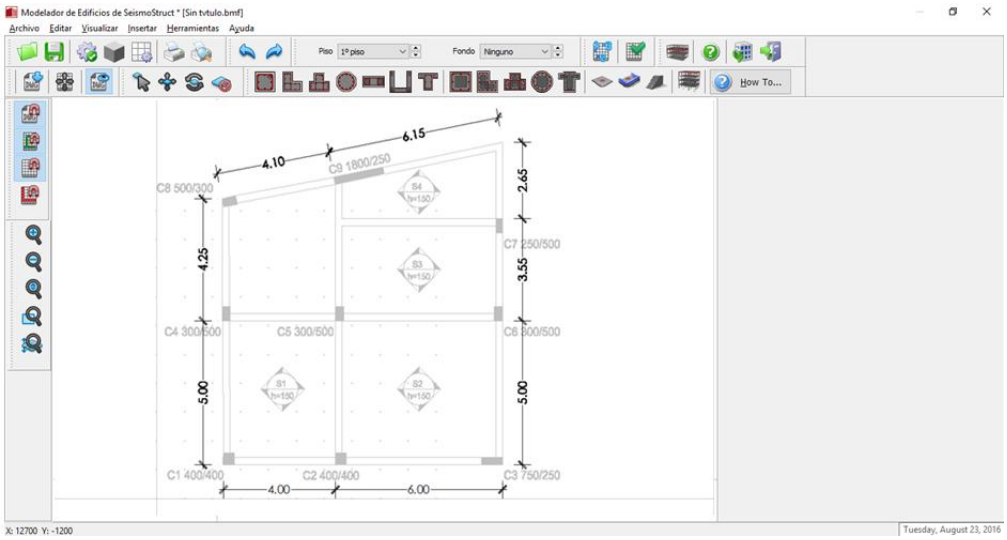
Módulo de Inicialización del Modelador de Edificio.

Dele clic al botón de *Ajustede Modelador de Edificio* y defina el Tipo de Análisis (Para este tutorial: Análisis de Pushover Estático), el Modelaje de Elementos de Marco (Elemento de marco inelástico de rótula plástica con formulación basada en fuerza para columnas/vigas, Elemento de marco inelástico con formulación basada en fuerza para los muros y Elemento de marco inelástico con formulación basada en desplazamiento para miembros de un tamaño menor a 1m), el Modelaje de Losas (escoja incluir el ancho efectivo de las vigas), la Configuración Estructural, los Coeficientes de Combinación de Cargas y las revisiones de Criterios de Desempeño a incluir en el análisis.



Módulo de Ajustes del Modelador del Edificio.

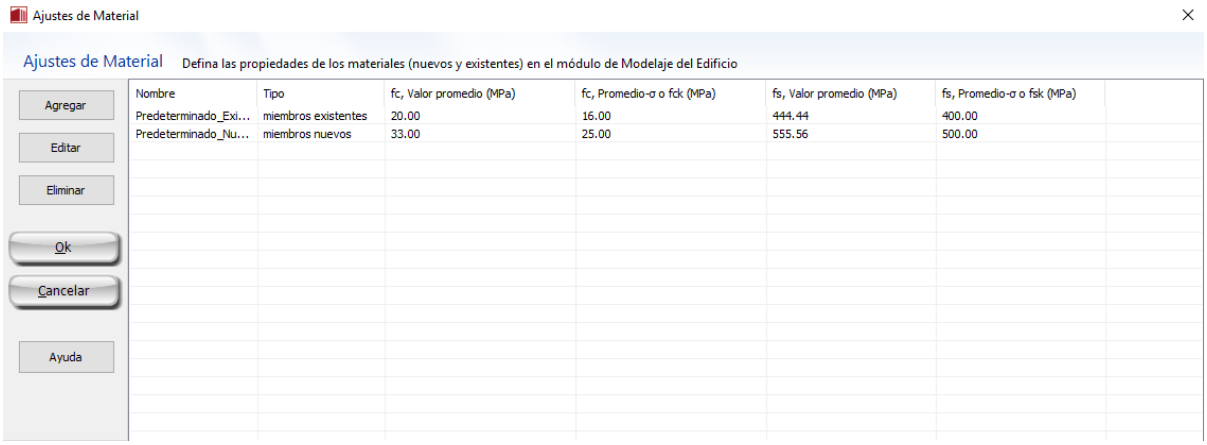
Para facilitar la definición de geometría y localización de los elementos, un archivo de CAD puede importarse desde el menú principal (*Archivo > Importar DWG...*) o a través del botón correspondiente en la barra de herramientas .



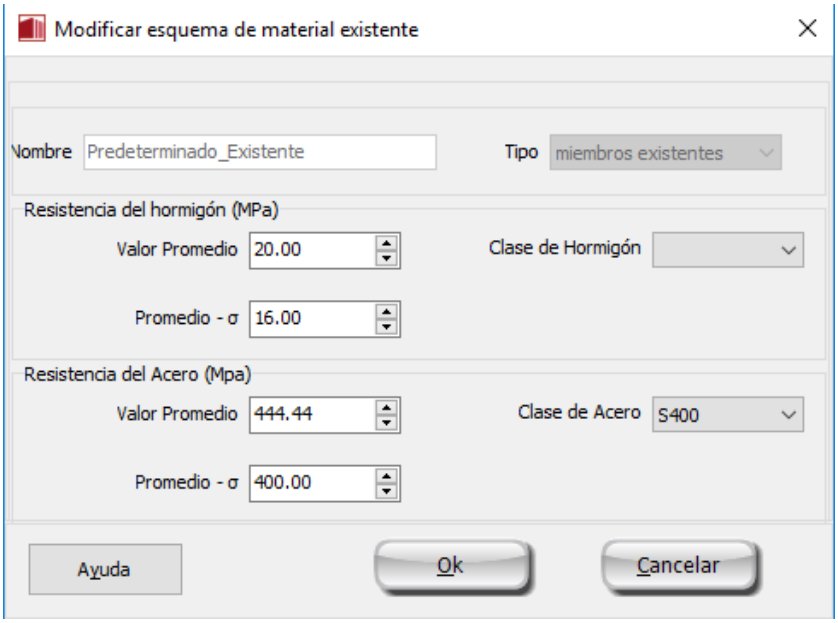
Modelador de Edificio – Inserción de un dibujo CAD.

Inicie insertando miembros estructurales desde el menú principal (*Insertar> Columna Rectangular...*)o a través del botón correspondiente para columnas rectangulares. Alternativamente. Selecciones una de las otras columnas disponibles, forma de L ( ), forma de T ( ), circular ( ), o sus contrapartes encamisadas. La Ventana de Propiedades de la columna aparecerá a mano derecha de la pantalla y el usuario puede definir su geometría, nivel de fundación, refuerzo transversal y longitudinal, propiedades de material, envoltorio FRP y los ajustes basados en Código para los miembros estructurales. El set de materiales debe ser definido para cada miembro estructural.

En módulo de sets de materiales, los valores de resistencia del refuerzo y el concreto de los miembros son determinados. El set de materiales debe ser definido para cada miembro estructural. De manera predeterminada hay dos sets de materiales en el programa., uno para los miembros existentes, llamado *Predeterminado Existente,* el cual se usa en este tutorial, y otro para los miembros nuevos agregados debido a rehabilitación, llamado *Predeterminado Nuevo.* Los usuarios pueden agregar nuevos sets de materiales o editar los existentes, pero no pueden remover los esquemas de material predeterminados. Para este tutorial seleccione modificar el set *Predeterminado Existente* y asignar concreto clase C20/25 y acero clase S500.

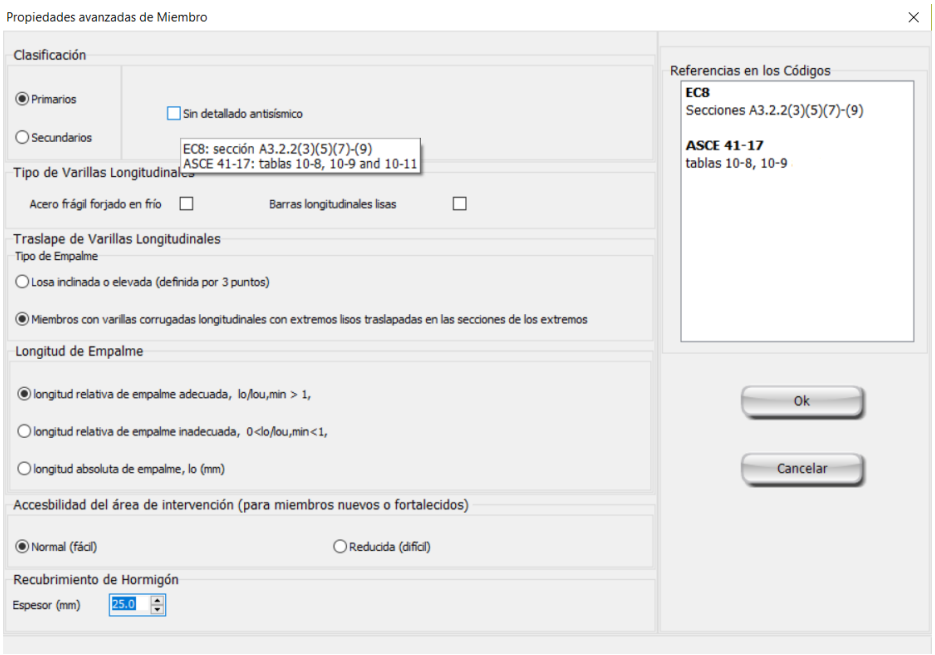


Modelador de Edificio – Sets de Materiales



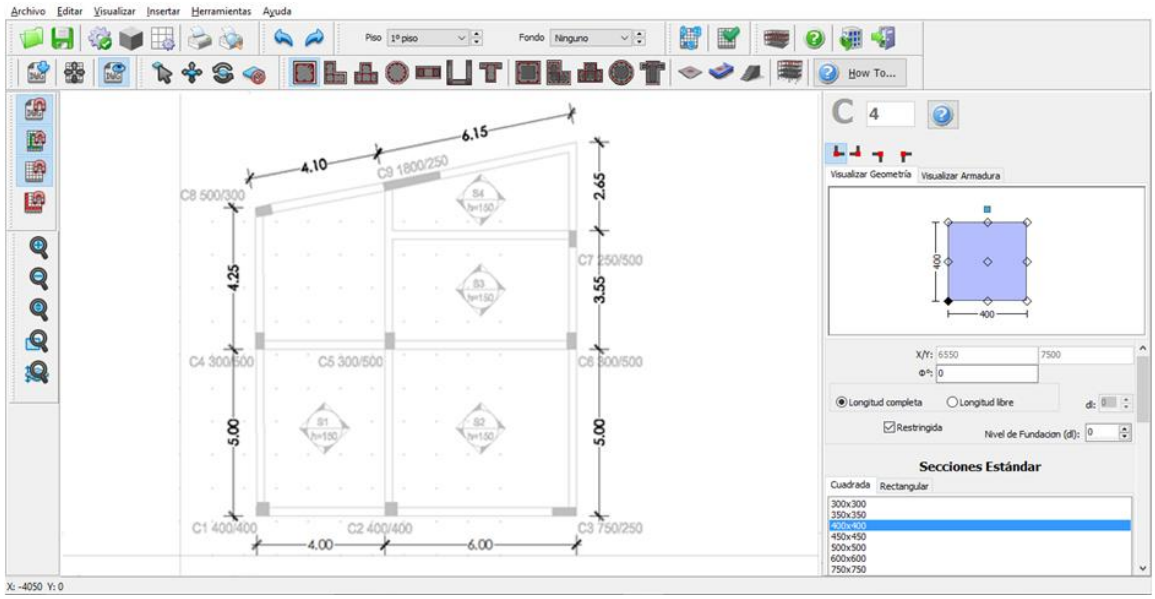
Modelador de Edificio – Modificar esquema de material existente.

Dándole **clic en** el botón dePropiedades Avanzadas de Miembro los usuarios pueden definir los ajustes del miembro estructural de acuerdo con el Código Seleccionado.



Modelador de Edificio – Propiedades Avanzadas

Aún más, el "punto de inserción" del elemento puede escogerse dando clic en los puntos de la esquina, el centro, o los lados de la gráfico de la sección en la Ventana de Propiedades. Se permite cambiar las dimensiones de sección dándoles clic, mientras que la rotación de la columna en planta puede cambiarse por los botones de 0º, 90º, 180º y 270º o asignándoles el ángulo apropiado en la caja de edición correspondiente de la Ventana de Propiedades. Aunque puede definirse diferentes niveles de fundación para las columnas del primer piso, para el propósito de este tutorial el nivel de fundación -1000mm se asigna a todas las columnas.



Modelador de Edificio – Propiedades de Elemento Columna

Las dimensiones y el refuerzo de los miembros (columnas, vigas y muros) del primer y segundo piso se muestran en las siguientes tablas:

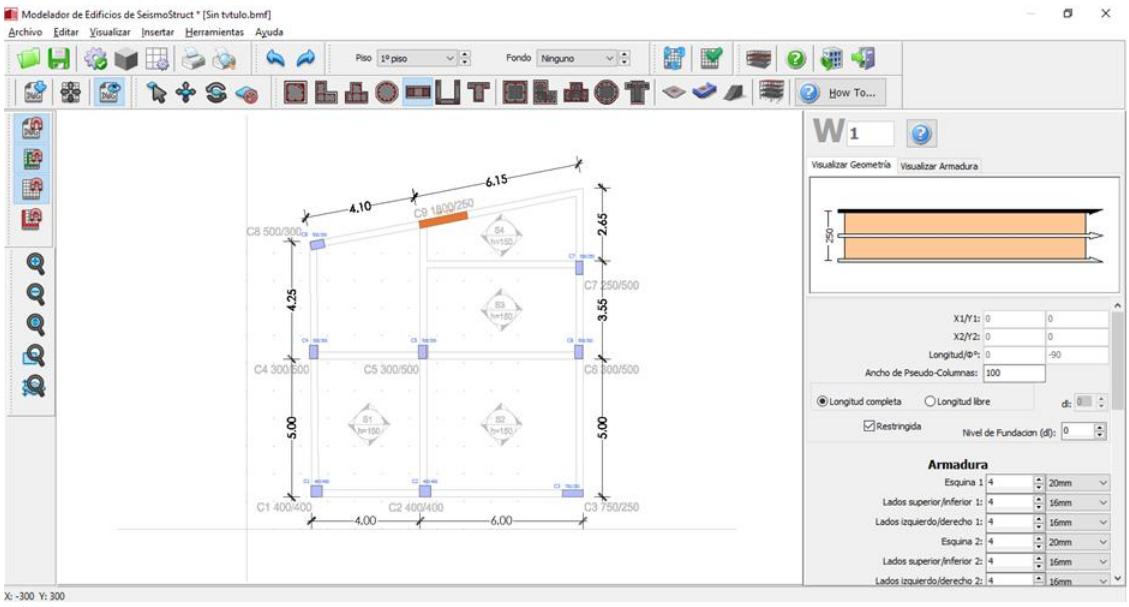
Columnas 1er piso	Altura (mm)	Ancho (mm)	Refuerzo Longitudinal	Refuerzo Transversal
C1	400	400	4∅18+4∅16	∅10/10
C2	400	400	4∅18+4∅16	∅10/10
C3	750	250	4∅16+8∅14	∅10/10
C4	300	500	6∅18	∅10/10
C5	300	500	6∅18	∅10/10
C6	300	500	6∅20	∅10/10
C7	250	500	4∅20+2∅16	∅10/10
C8	300	500	6∅18	∅10/10
C9	250	1800	(4∅16+8∅14)+#∅10/20+(4∅8/m²)	∅10/10

Vigas 1er piso	Altura (mm)	Ancho (mm)	Refuerzo al inicio de Viga	Refuerzo en el medio de Viga	Refuerzo al final de Viga	Refuerzo Transversal
B1	500	250	o3∅14 u4∅14	o2∅14 u4∅14	o3∅14 u4∅14	∅8/10
B2	500	250	o3∅14 u4∅14	o2∅14 u4∅14	o4∅16 u4∅14	∅8/10
B3	500	250	o3∅14 u4∅14	o2∅14 u4∅14	o3∅14 u4∅14	∅8/10
B4	500	250	o3∅14 u4∅14	o2∅14 u4∅14	o2ϕ∅20 u4∅14	∅8/10
B5	500	250	o2∅14 u4∅14	o2∅14 u4∅14	o3∅14 u4∅14	∅8/10
B6	500	250	o3∅14 u4∅14	o2∅14 u4∅14	o2∅14 u4∅14	∅8/10
B7	500	250	o3∅20 u2∅14	o4∅14 u2∅14	o3∅20 u2∅14	∅8/10
B8	500	250	o3∅14 u4∅14	o2∅14 u4∅14	o2∅14 u4∅14	∅8/10
B9	500	250	o2∅14 u4∅14	o2∅14 u4∅14	o2∅18 u4∅14	∅8/10
B10	500	250	o4∅16 u4∅14	o2∅14 u4∅14	o2∅18 u4∅14	∅8/10
B11	500	250	o2∅18 u4∅14	o2∅14 u4∅14	o2∅14 u4∅14	∅8/10
B12	500	250	o2∅14 u4∅14	o2∅14 u4∅14	o3∅18 u4∅14	∅8/10
B13	500	250	o2∅18 u4∅14	o2∅14 u4∅14	o3∅14 u4∅14	∅8/10
B14	500	250	o2∅18 u4∅16	o2∅16 u4∅16	o2∅16 u4∅16	∅8/10
B15	500	250	o4∅16 u2∅16	o4∅16 u2∅16	o4∅16 u2∅16	∅8/10

Columnas 2do Piso	Altura (mm)	Ancho (mm)	Refuerzo Longitudinal	Refuerzo Transversal
C2	400	400	4∅18+4∅16	∅10/10
C3	750	250	4∅16+8∅14	∅10/10
C5	300	500	4∅20+2∅16	∅10/10
C6	300	500	6∅20	∅10/10
C7	250	500	4∅20+2∅16	∅10/10
C8	250	1800	(4∅16+8∅14)+#∅10/20+(4∅8/m²)	∅10/10

Vigas 2do piso	Altura (mm)	Ancho (mm)	Refuerzo al inicio de Viga	Refuerzo en el medio de Viga	Refuerzo al final de Viga	Refuerzo Transversal
B1	500	250	o4∅16 u4∅14	o2∅14 u4∅14	o4∅16 u4∅14	∅8/10
B2	500	250	o2∅18 u4∅14	o2∅14 u4∅14	o2∅18 u4∅14	∅8/10
B3	500	250	o2∅14 u4∅14	o2∅14 u4∅14	o3∅14 u4∅14	∅8/10
B4	500	250	o3∅20 u4∅14	o2∅14 u4∅14	o2∅14 u4∅14	∅8/10
B5	500	250	o2∅18 u4∅14	o2∅14 u4∅14	o3∅14 u4∅14	∅8/10
B6	500	250	o3∅14 u4∅14	o2∅14 u4∅14	o2∅14 u4∅14	∅8/10
B7	500	250	o2∅14 u4∅14	o2∅14 u4∅14	o3∅18 u4∅14	∅8/10
B8	500	250	o3∅14 u4∅14	o2∅14 u4∅14	o3∅14 u4∅14	∅8/10
B9	500	250	o3∅14 u4∅14	o2∅14 u4∅14	o2∅14 u4∅14	∅8/10
B10	500	250	o4∅16 u2∅16	o4∅16 u2∅16	o4∅16 u2∅16	∅8/10

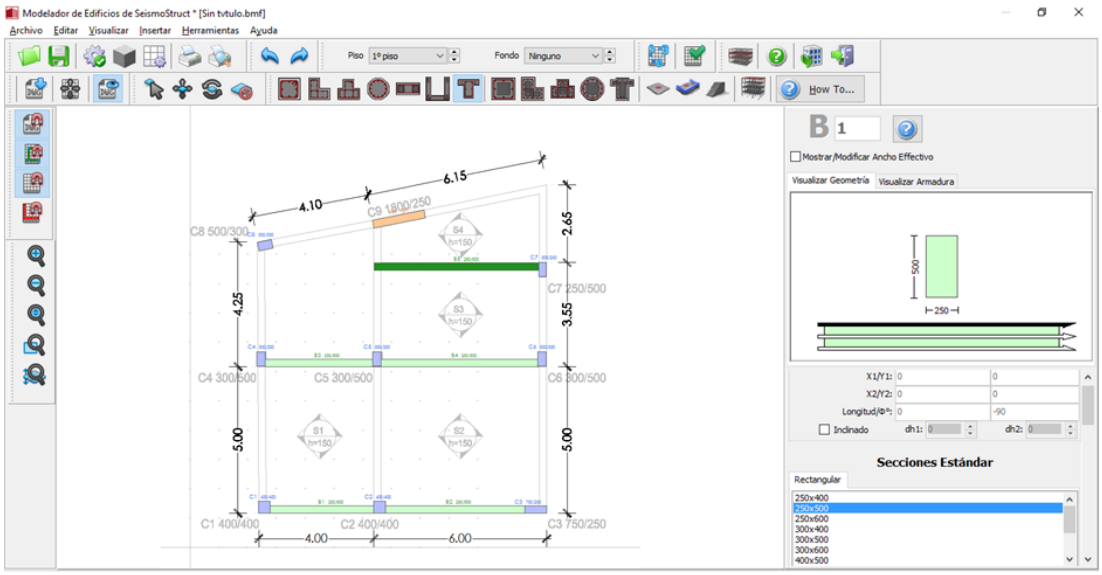
Luego de dar clic en el botón de Insertar Muro, la Ventana de Propiedades del Muro aparece, donde las dimensiones, el patrón de refuerzo (longitudinal y transversal a los dos lados y en el medio), la longitud de la pseudocolumna, el nivel de fundación, el set de material, la envoltura FRP y las propiedades avanzadas basadas en código pueden definirse. Seleccione la línea de inserción haciendo clic en cualquiera de las tres línea de la vista de geometría (la izquierda es la escogida en el ejemplo), e inserte el muro estructural delineando sus dos bordes en la Ventana Principal.



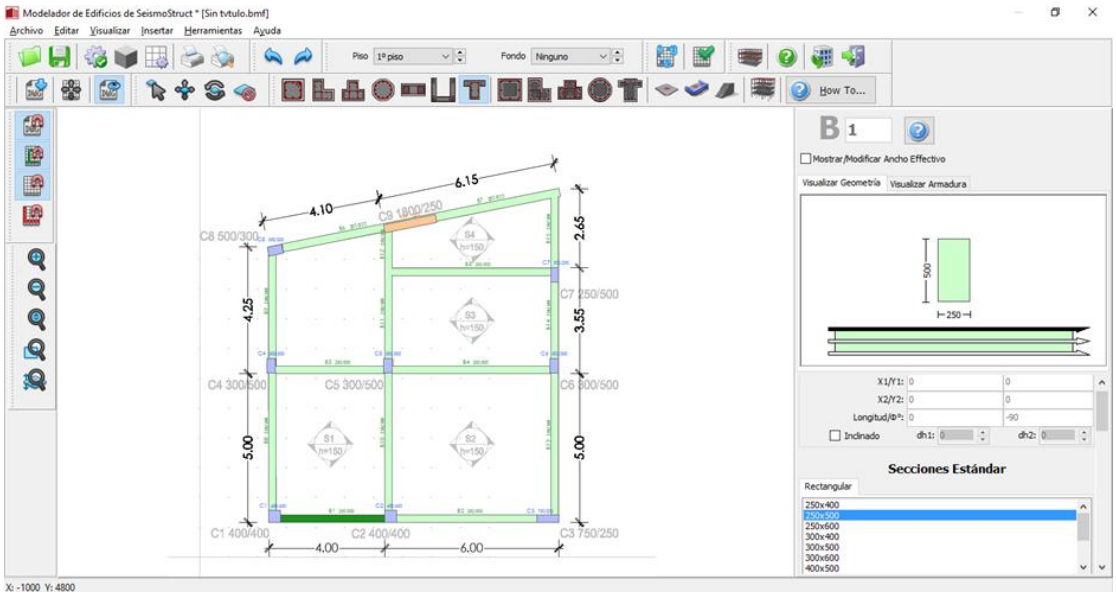
Modelador de Edificio – Propiedades de Elemento Muro

Inserte las vigas desde el menú principal (*Insertar > Vigas*) o a través del botón la barra de herramientas correspondiente , de manera similar al de los muros. De nuevo, es posible definir fácilmente la

geometría (ancho y profundidad), el reforzamiento (longitudinal y transversal al inicio, el medio y final de las secciones), el set de material, las propiedades avanzadas y seleccione la línea de inserción en la vista en planta dando clic en el eje preferido (izquierdo, centro o derecho). Adicionalmente la carga distribuida puede definirse también, que servirá para definir cualquier carga permanente asociada al peso propio del sistemaestructural o a las cargas vivas de las losas (p. ej. Acabados, rellenos, etc.).



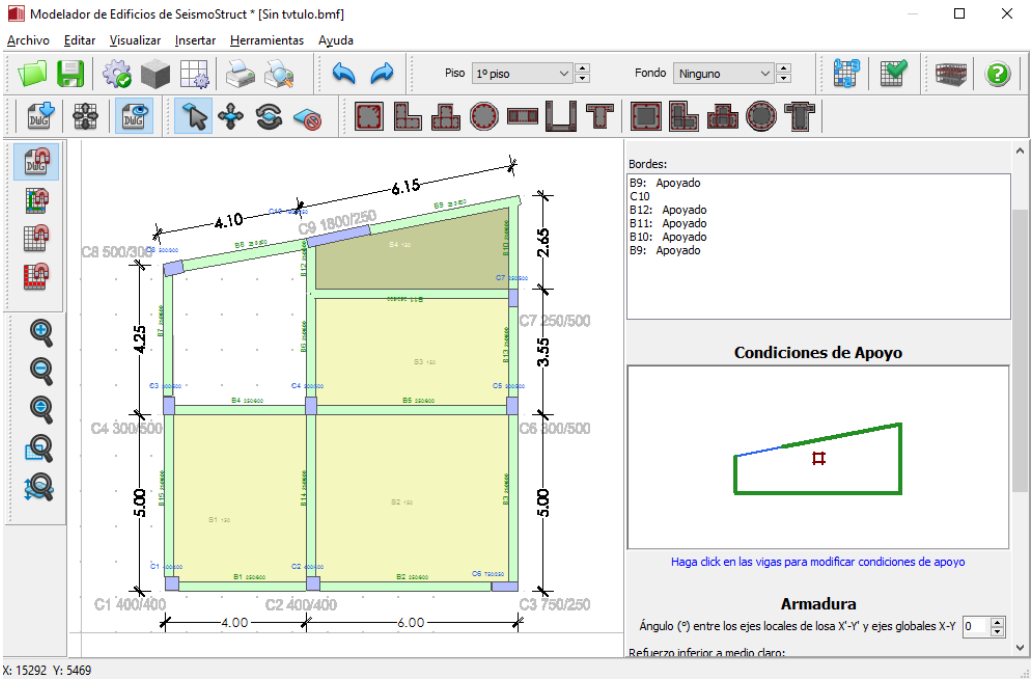
Modelador de Edificio – Insertar Elementos



Modelador de Edificio – Propiedades de Elemento Viga

Para insertar losas vaya al menú principal (*Insertar > Losa*) o haga clic en el botón de la barra de herramientas, asigne las propiedades de la losa, que son el alto de la sección, el refuerzo y las cargas permanentes y vivas adicionales, y dele clic en cualquier área encerrada por elementos estructurales (columnas, paredes, vigas). Un botón de "Tipo de Área Cargada" está disponible, para que las cargas vivas sean automáticamente asignadas de acuerdo a la categoría de carga del código seleccionado. Debe notarse que el peso propio de las losas se calcula de acuerdo a su geometría, materiales, y peso específico. Una vez la losa está definida, puede modificarse dándole clic a los bordes correspondientes en la Ventana

de Propiedades. Además, la opción de asignar losas declinadas o elevadas, definiendo las coordenadas y elevación de solo tres puntos de la losa se hace disponible.

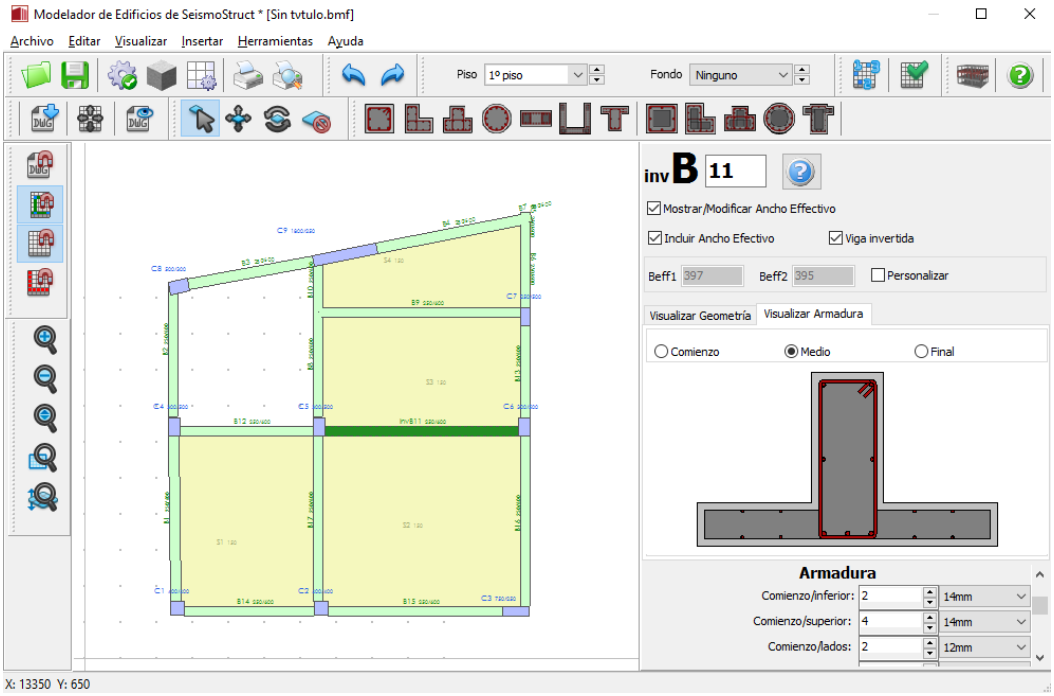


Modelador de Edificio – Propiedades de Elemento Losa



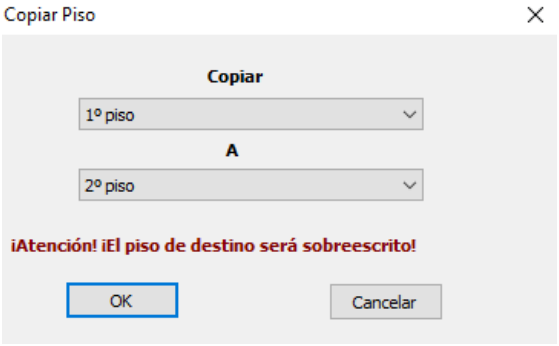
Modelador de Edificio –Categorías de Áreas Cargadas de Losas

Luego de insertar todos los elementos puede cambiar las propiedades de cualquier sección haciendo clic en ella. En particular, nótese que luego de definir las losas, puede verse el ancho efectivo de las vigas en la Ventana de Propiedades de vigas; cada ancho efectivo de viga se calcula automáticamente, pero puede ser cambiado por el usuario. Adicionalmente, las vigas invertidas también pueden definirse, como se muestra en la figura siguiente:



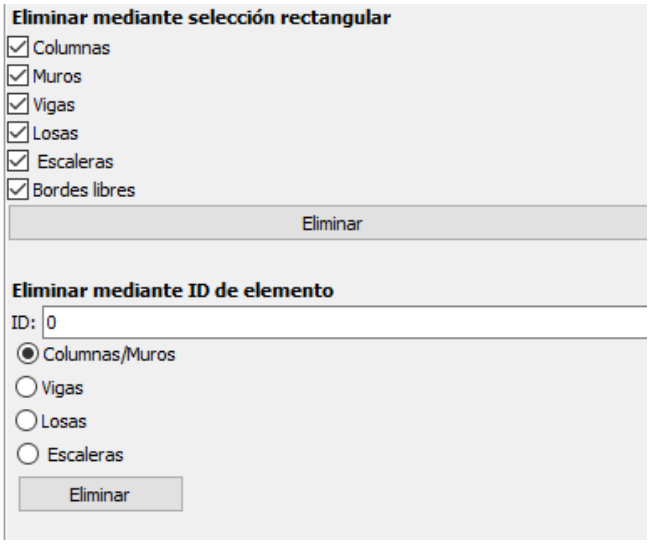
Modelador de Edificio – Propiedades de Elemento Viga

Ahora cree automaticamente el 2do piso basado en el 1ero creado anteriormente desde el menú principal (*Herramientas* > *Copiar piso...*) o usando el botón .



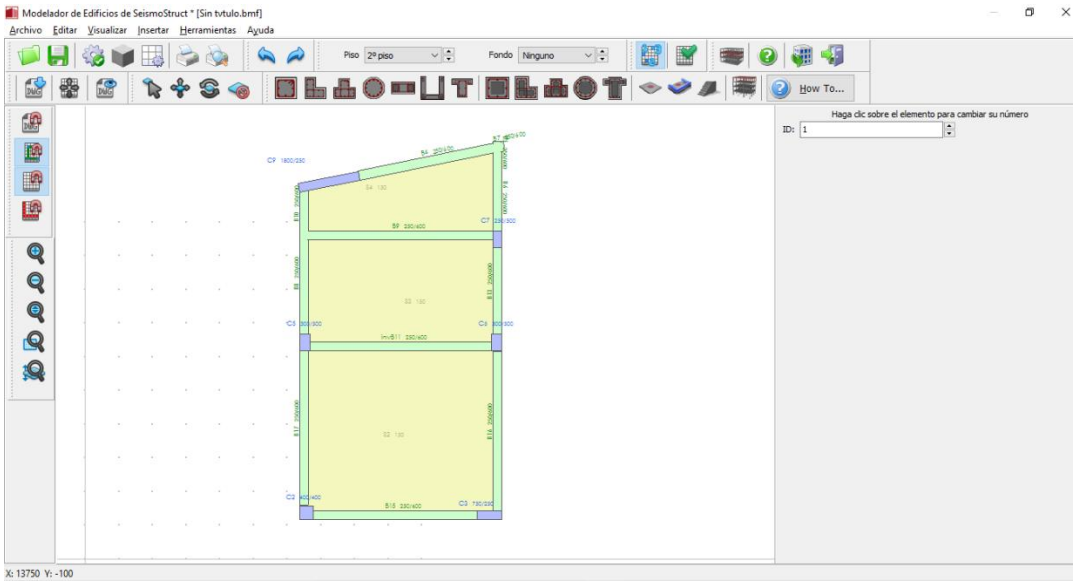
Modelador de Edificio – Ventana de diálogo para copiar pisos

Borre los elementos que no existen en el 2do piso. Los usuarios pueden borrar miembros desde el menú principal (*Herramientas* > *Borrar...*) o a través del botón o seleccionando un área rectangular de la Ventana Principal y oprimiendo el botón de borrar.



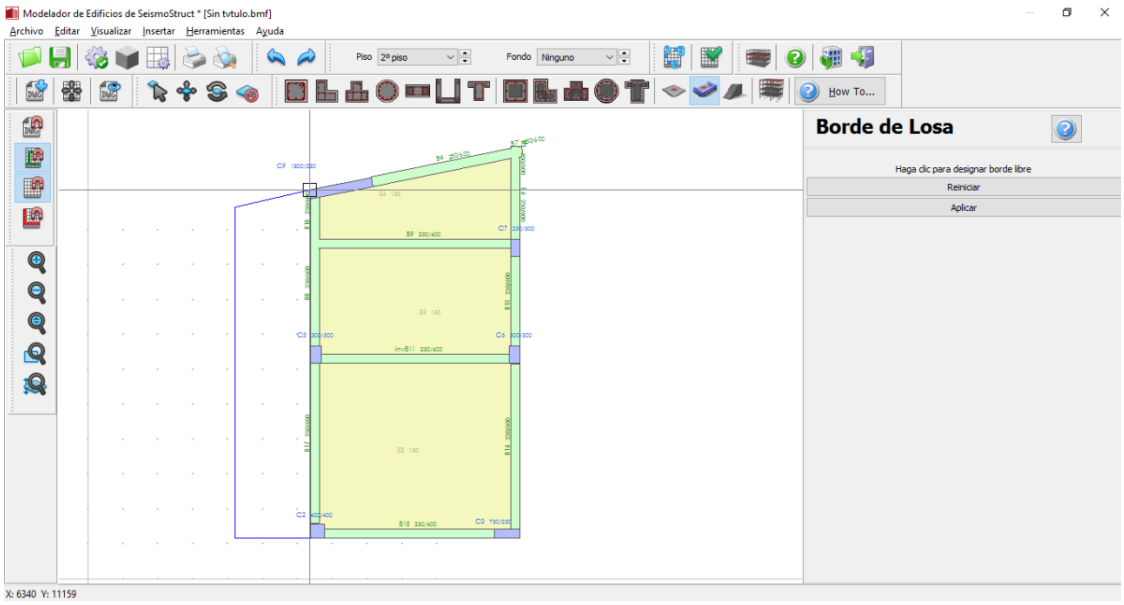
Modelador de Edificio – Ventana de diálogo de borrar elemento

Además, se ofrece una opción para reenumerar los elementos estructurales desde el menú principal (*Herramientas >Reenumerar Elementos...*) o a través del botón correspondiente en la barra de herramientas .Dándole clic a un miembro el número seleccionado se le asigna y la numeración de todos los demás elementos se cambia como corresponde.



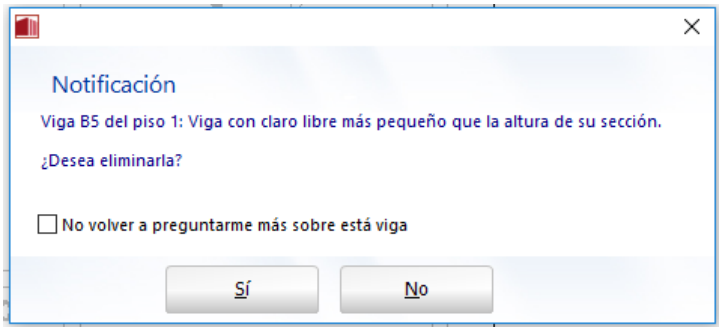
Modelador de Edificio – Reenumeración de Elementos

Losas en voladizo también se puede considerar en el Modelador de Edificio. Para hacerlo, un Borde Libre debe agregarse desde el menú principal (*Insertar > Bordes de Losa & Voladizos*) o a través del botón correspondiente en la barra de herramientas . Una vez dibujado, el Borde de Losa se usa para delinear la forma de la losa. Luego de definir los puntos de las esquinas, haga clic en el botón de Aplicar o alternativamente haga clic en el botón de Reset, en caso de querer redibujarlo. Luego de la definición de los bordes libres necesarios para definir un área encerrada, los usuarios pueden insertar una losa nueva.



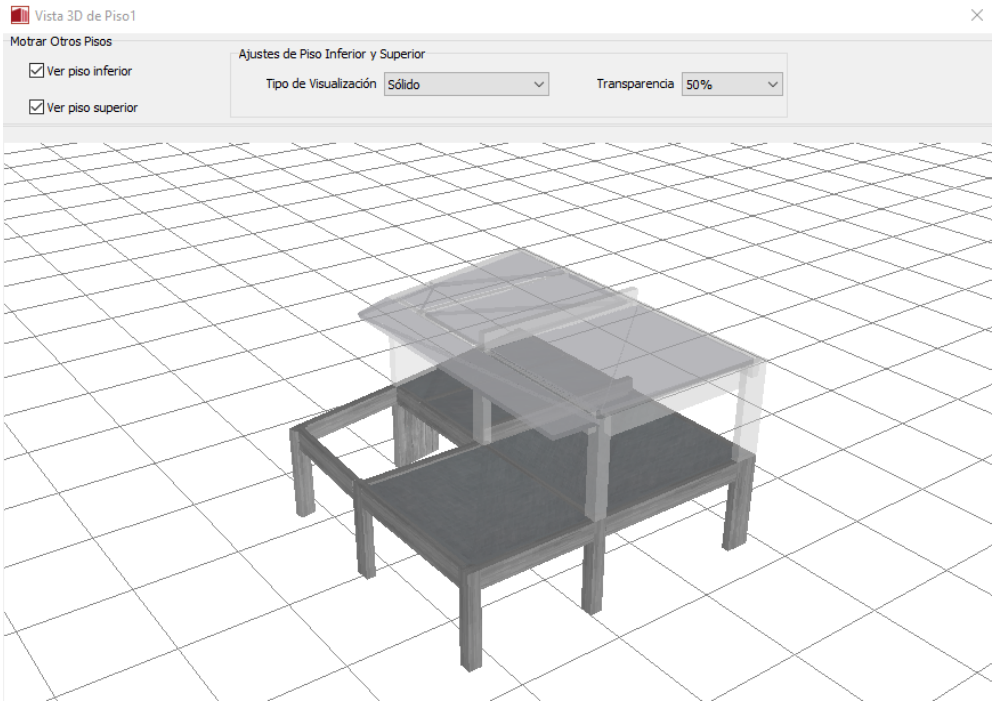
Modelador de Edificio – Agregar Borde Libre

Cuando se crea un modelo, es relativamente común que una o más vigas cortas se creen inintencionalmente, debido a razones gráficas (p. ej. extendiendo ligeramente el extremo de una viga más allá del borde de una columna). Por esta razón, debe hacerse una revisión desde el menú principal (*Herramientas* > *Verificar Conectividad*) o a través del botón correspondiente en la barra de herramientas, para detectar la existencia de cualquier viga con un claro más largo que su propia altura. Si dichos elementos existen, el siguiente mensaje informativo aparecerá para el usuario



Modelador de Edificio – Verificar conectividad

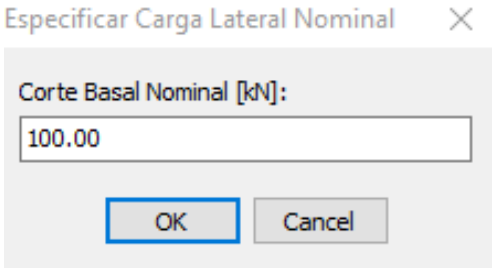
También puede ver el modelo 3D del piso actual para revisar su definición correcta a través del botón de la barra de herramientas.



Modelador de Edificio – Ver Módulo 3D de Pisos

Con el modelo del edificio completamente definido, salve el Proyecto del Modelador de Edificio como un archivo de Modelador de Edificio (con la extensión *.bmf, p. ej. Tutorial_1.bmf) desde el menú principal (*Archivo > Guardar como…*) / (*Archivo > Guardar*) o a través del botón correspondiente de la barra de herramientas. Nótese que el tipo de archivo no es un tipo de archivo de proyecto de SeismoStruct (*spf) y por tanto solo puede abrirse de nuevo desde el Modelador de Edificio.

Está listo para crear un nuevo proyecto de SeismoStruct. Esto puede hacerse desde el menú principal (*Archivo > Salir & Crear Proyecto*) o a través del botón correspondiente en la barra de herramientas. Dependiendo del tipo de análisis, una nueva ventana puede aparecer para la definición de la carga de la estructura; en nuestro caso el Cortante Basal Nominal para el análisis tipo pushover debería especificarse:



Especificar Carga Nominal Lateral

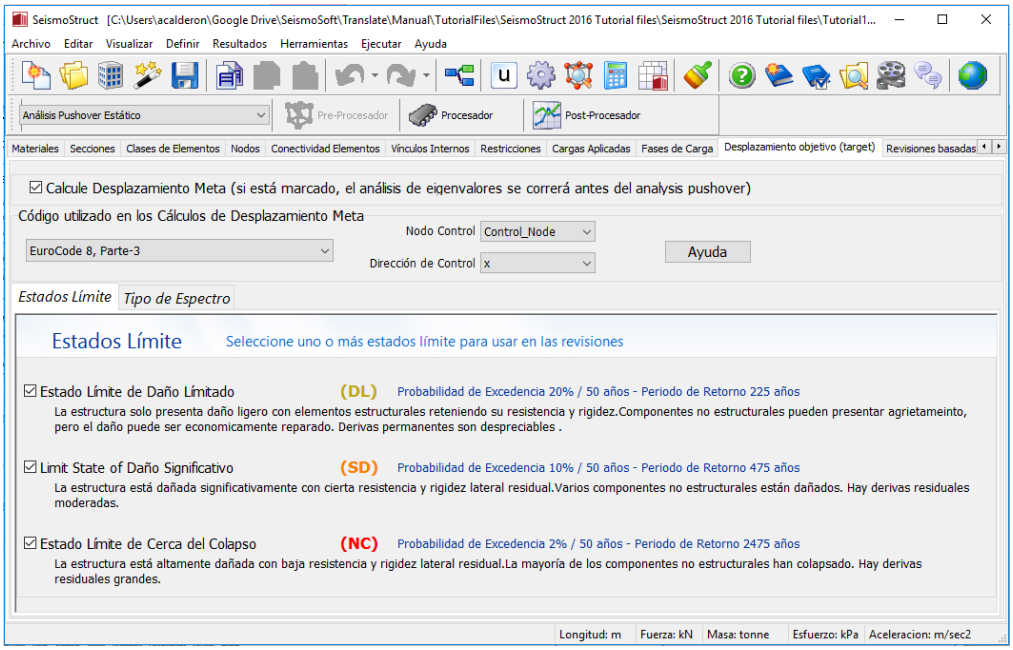
Automaticamente, el programa distribuye las cargas laterales en los nodos estructurales de acuerdo a sus masas concentradas.

Pre-Procesador – Fases de Carga

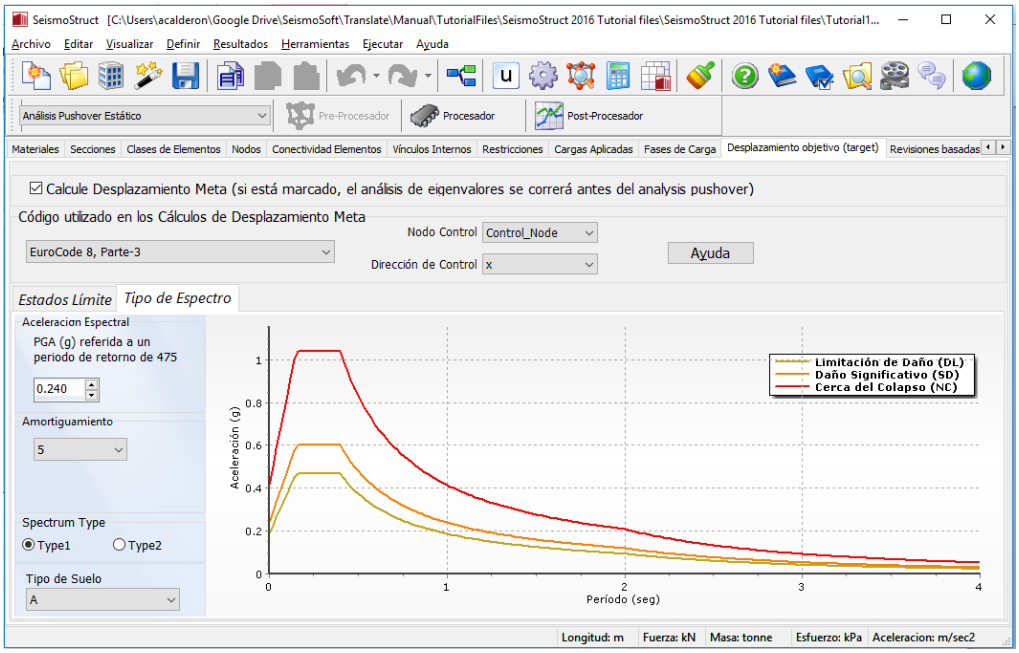
La estrategia de carga adoptada en el análisis pushover está completamente definida en el módulo de **Fases de Carga.** De forma predeterminada el programa define un tipo de fase de *Control de Respuesta,* un desplazamiento objetivo que corresponde a 2% de la razón de deriva, 50 pasos de análisis, carga en dirección X y un nodo en el último piso con el valor de carga mayor como el nodo de control.

Pre-Procesador– Desplazamiento Objetivo

El Código utilizado, el nodo de control y la dirección, el Estado Límite o los Objetivos de Desempeño y la Acción Sísmica, se definen todos fácilmente en este módulo. Las opciones predeterminadas serán las utilizadas en este tutorial.



Módulo de Desplazamiento Objetivo- Estados Límite

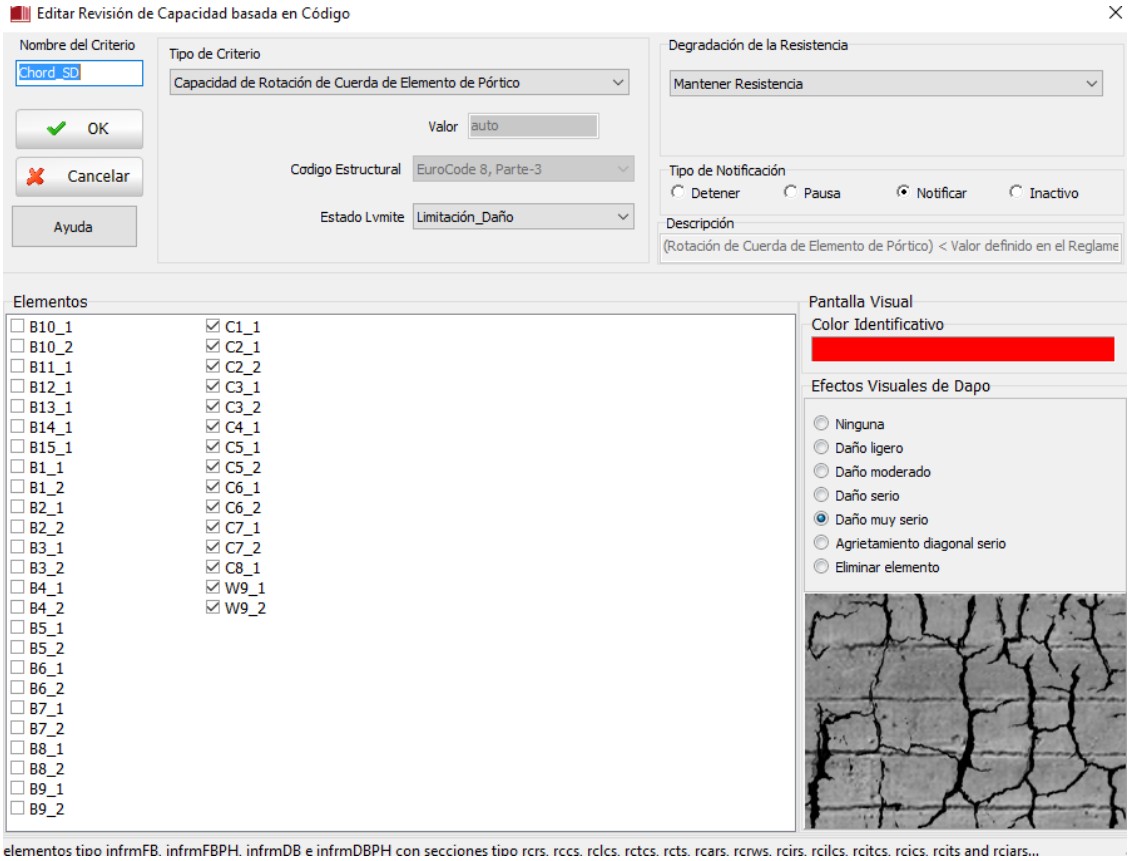


Módulo de Desplazamiento Objetivo–Acción Sísmica

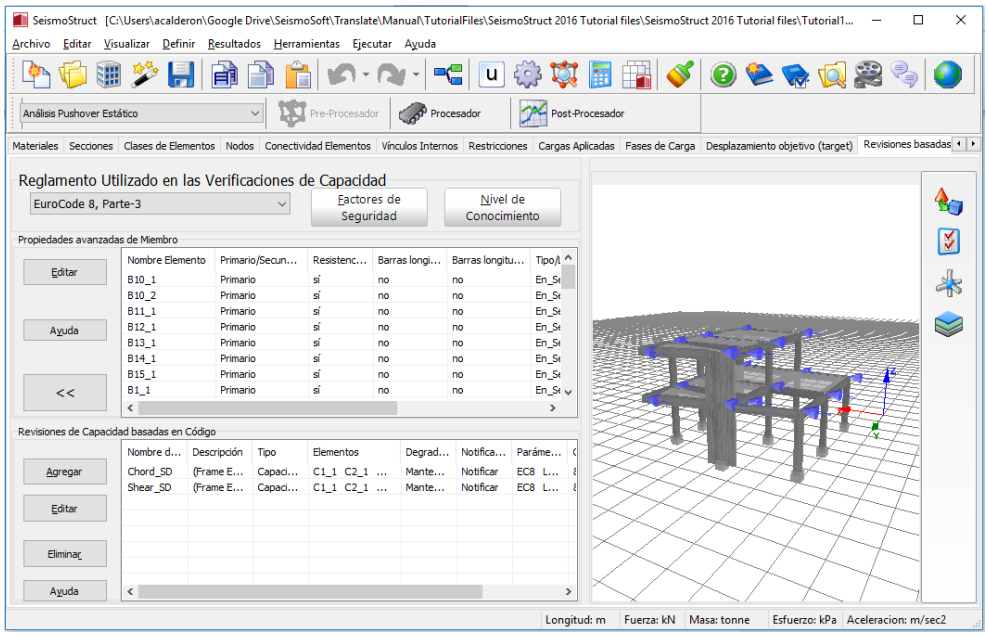
Pre-Procesador– Revisiones Basadas en Código

Desde la versiónSeismoStruct 2016 en adelante se provee la opción de realizar revisiones automáticas de rotación de cuerda y capacidad a cortante. En este modelo, el Código empleado para las revisiones, así como los Factores deSeguridad y el Nivel de Conocimiento Alcanzado deben ser asignados. Las

Propiedades Avanzadas de Miembro de todos los elementos, definidos en el Modelador de Edificio, también pueden visualizarse y modificarse en el Módulo de Revisiones Basadas en Código. Para el propósito de este tutorial, la rotación de cuerda y la capacidad a cortante en el estado límite de Daño Significativo serán introducidas.



Nuevo módulo de Revisiones de Capacidad Basadas en Código



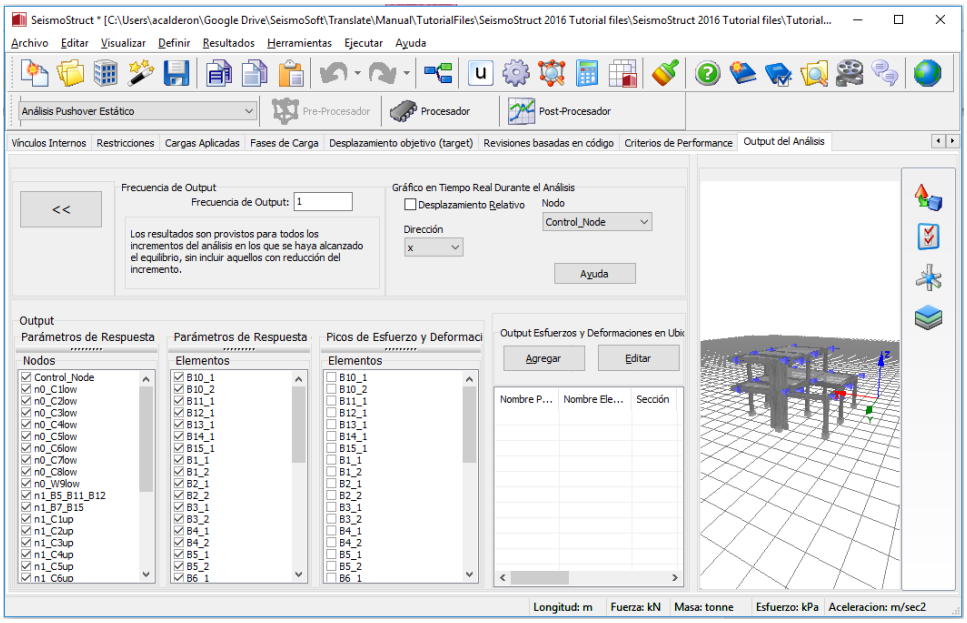
Módulo de Revisiones Basadas en Código

Pre-Procesador – Criterios de Desempeño

En el módulo de Criterios de Desempeño aparecen todos los criterios que fueron establecidos en los ajustes del Modelador de Edificio. De forma predeterminada la rotación de cuerda y capacidad a cortante se revisan.

Pre-Procesador– Salida (Output) del Análisis

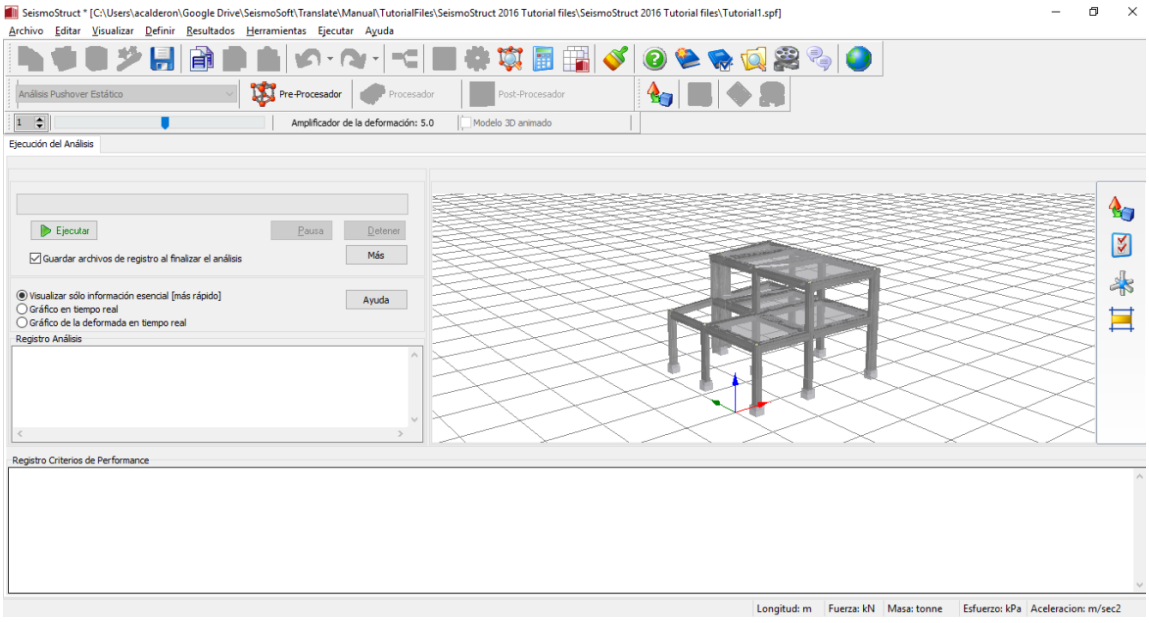
Antes de acceder al área del **Procesador,** debe establecer las preferencias en el módulo de **Salida del Análisis,** como se muestra a continuación.



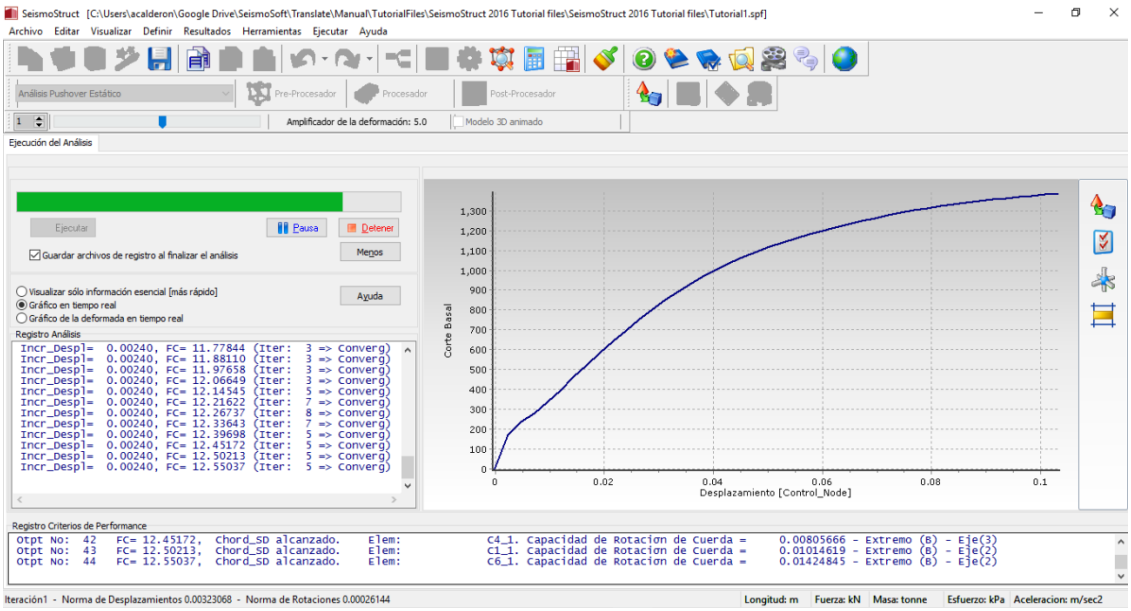
Módulo de Salida de Análisis

Procesador

En el área del **Procesador** se le permite empezar el análisis**.** Por tanto, haga clic en el botón de *Correr.*



Área de Procesador



Análisis corriendo

NOTA: Puede escoger entre tres opciones gráficas: (i) ver solo información esencial, (ii) impresión de información en tiempo real (en este caso curva de capacidad cortante basal vs. desplazamiento en nodo superior) y (iii) dibujo en tiempo real de la deformada. La última es la opción más rápida.

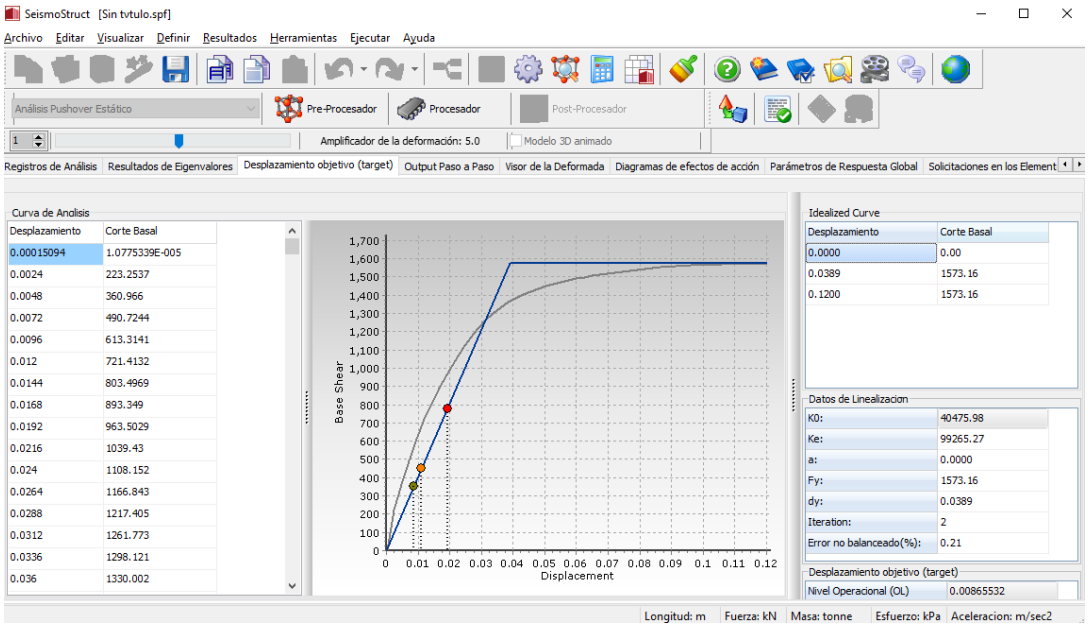
Cuando el análisis ha llegado a su fin, haga clic en el botón de la barra de herramientas 

o seleccione *Correr >Post-Procesador*del menú principal.

Post-Procesador – Desplazamiento Objetivo

El área de **Post-Procesador** contiene una serie de módulos donde los resultados pueden visualizarse en modo gráfico o de tabla, y luego ser copiados a otras aplicaciones de Windows.

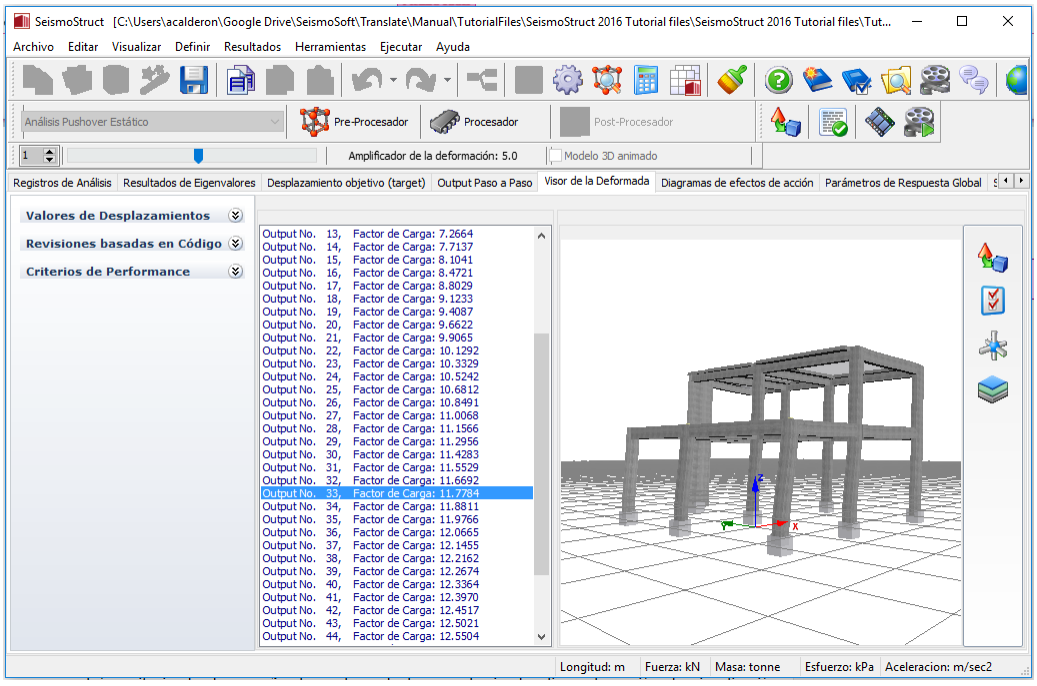
En el módulo de **Desplazamiento Objetivo**tiene la posibilidad de visualizar las curvas de capacidad antes y después de la linearización, así como los desplazamientos objetivo calculados para los estados límite seleccionados en el Pre-Procesador.



Módulo de Desplazamiento Objetivo

Post-Procesador – Visualizador de Deformada

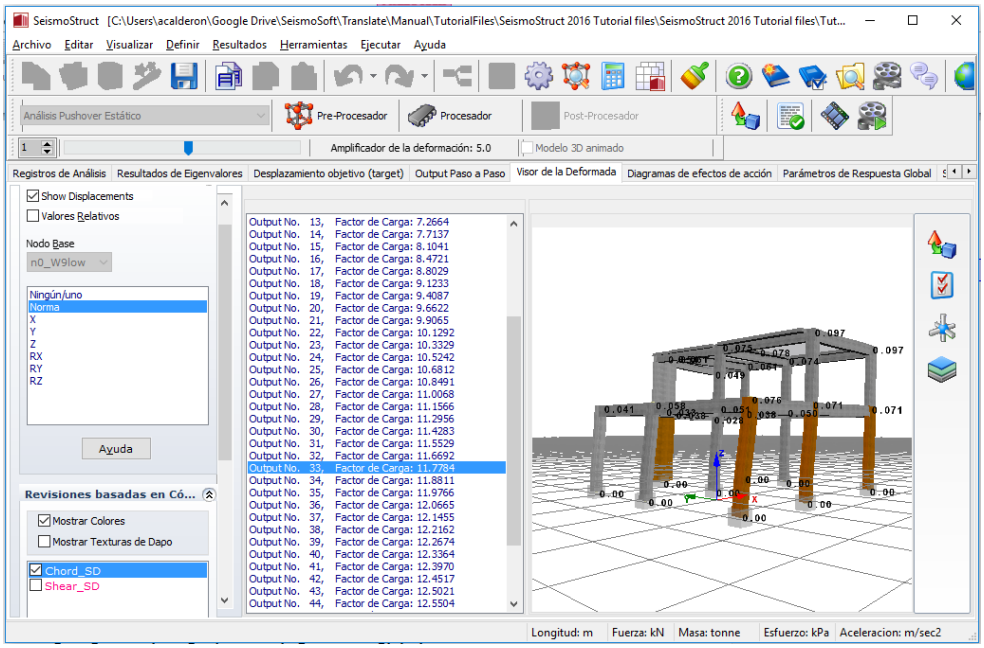
En el módulo de **Visualizador de Deformada** tiene la posibilidad de visualizar la deformada del modelo en cada paso del análisis. Haga doble clic en el identificar de output deseado para actualizar la forma deformada (ver la figura de abajo).



Módulo de Deformada

También es posible visualizar los elementos que alcanza una revisión particular basada en código o algún criterio de desempeño, lo cual puede hacerse haciendo clic en la opción de visualización correspondiente y seleccionado de las listas subyacentes los marcadores o el criterio que se quiere

desplegar. Finalmente, los valores de desplazamiento también pueden mostrarse marcado con un check las casillas relevantes.



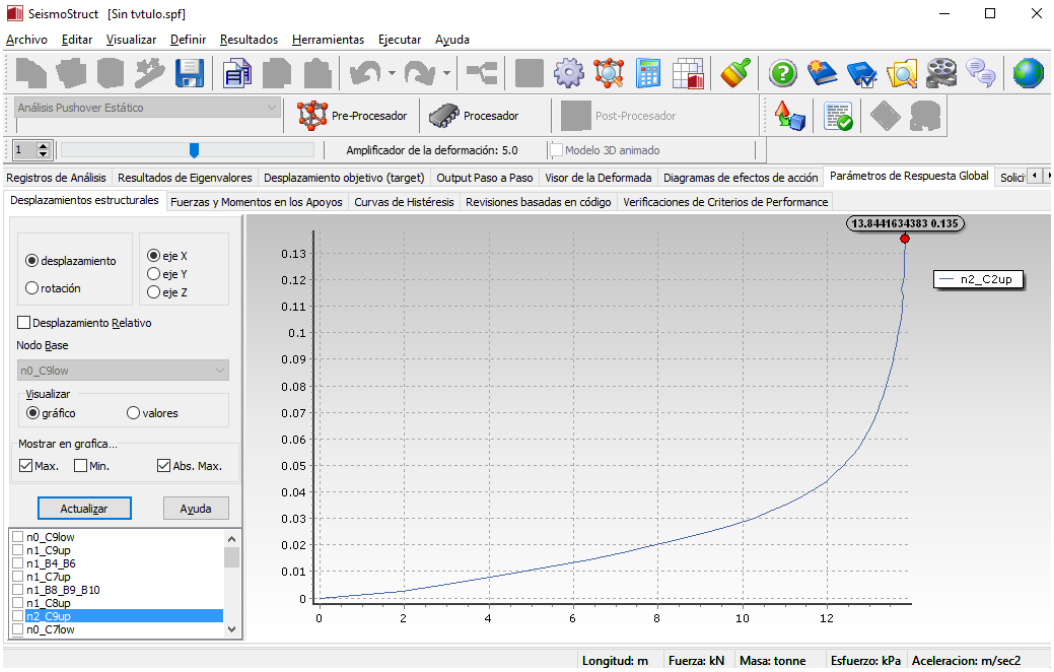
Módulo de Visualizador de Deformada, otras Deformaciones y Revisiones Basadas en Código

Post-Procesador – Parámetros de Respuesta Global

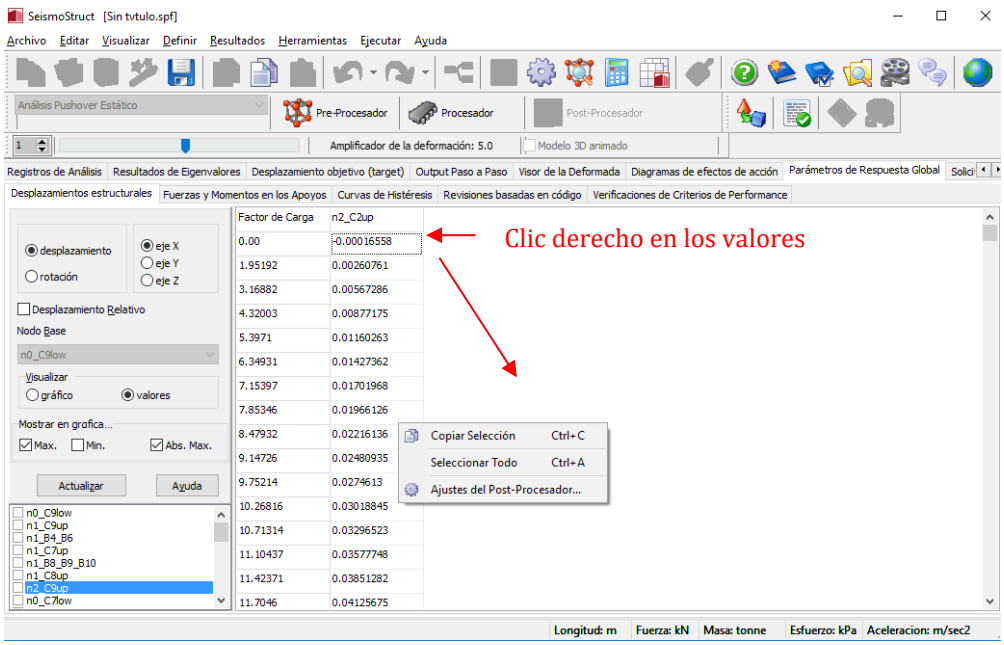
En el módulo de **Parámetros de Respuesta Global** puede obtenerse los outputs de los siguientes resultados: (i) los desplazamientos estructurales, (ii) fuerzas y momentos en los apoyos y (iii) las curvas histeréticas.

Primero, para poder visualizar los desplazamiento, en la dirección x, de un nodo en particular en el tope de la estructura, (i) haga clic en la pestaña de *Desplazamiento Estructurales*, (ii) seleccione respectivamente *desplazamiento* y *eje-x,* (iii) seleccione el nodo correspondiente de la lista (-> n2_C5up) marcando el checkbox, (iv) escoja los resultados de visualización (*gráfica* o *valores*) y finalmente (v) haga clic en el botón de *Refrescar.*

NOTA: Los resultados se definen en el sistema global de coordenadas y puede exportarse a una hoja de Excel (o similar) como se muestra abajo.

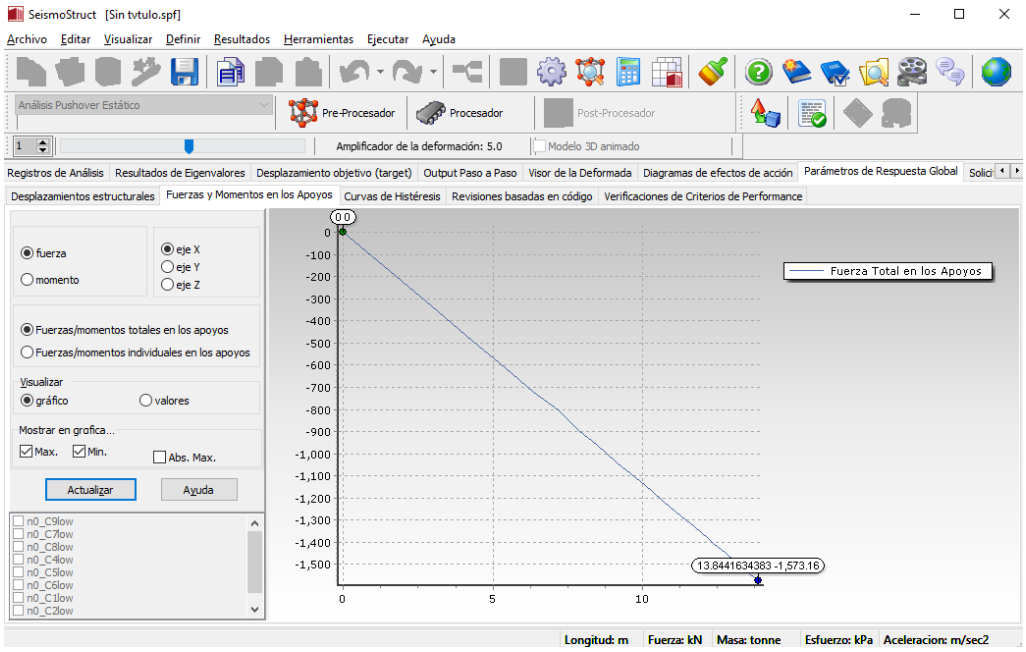


Módulo de Parámetros de Respuesta Global (Desplazamientos Estructurales – Modo Gráfico)



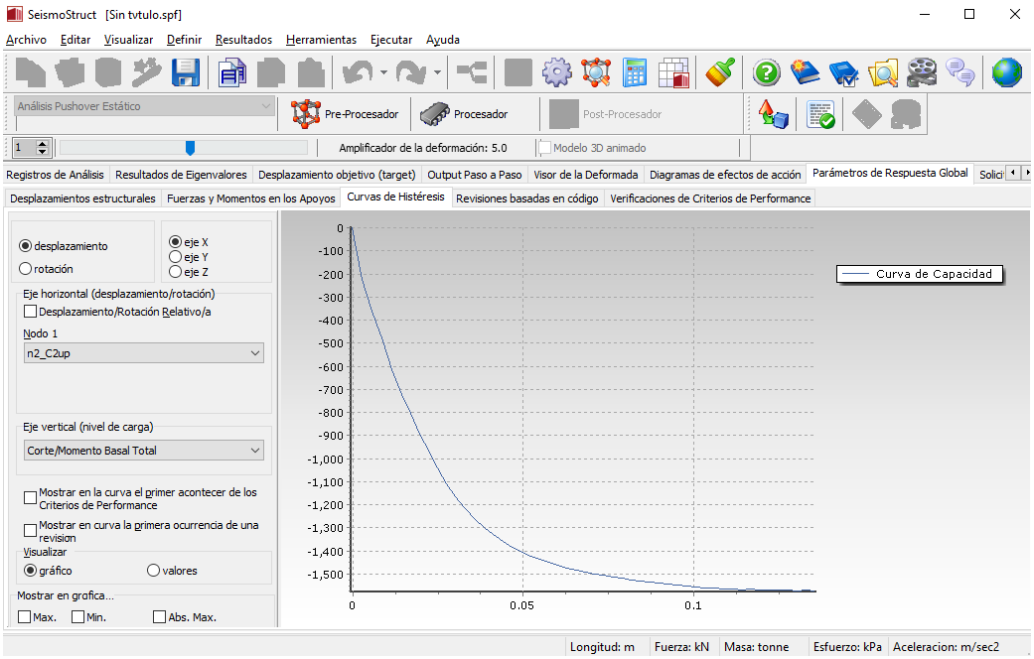
Módulo de Parámetros de Respuesta Global (Desplazamiento Estructurales – modo de valores)

Segundo, Para poder obtener la fuerza total en los soportes (p. ej. la cortante basal), (i) haga clic en la pestañana de *Fuerzas y Momentos en los soportes,* (ii) selecciones respectivamente, *fuerza* y *eje-x* y *fuerza total en apoyos/momentos,* (iii) escoja la visualización de los resultados (*gráfico* o *valores*) y finalmente (iv) haga clic en el botón de *Refrescar.*



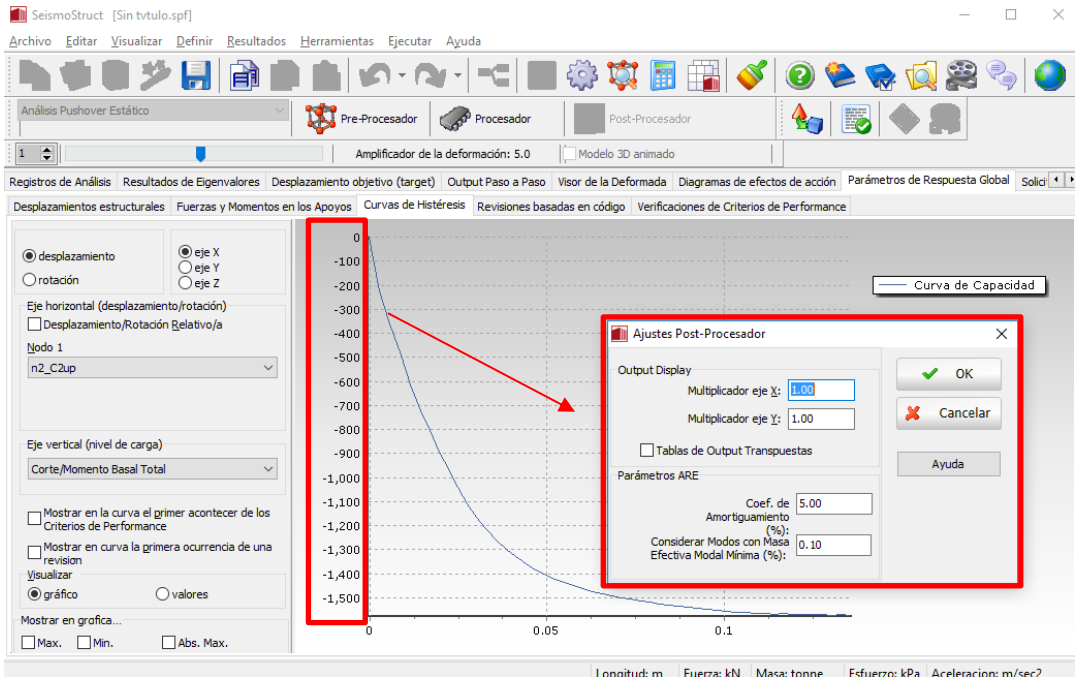
Módulo de Parámetros de Respuesta Global (Fuerzas y Momentos en los apoyos – modo gráfico)

Tercero, para poder plotear la curva de capacidad de su estructura (p. ej. el cortante en la base vs. el desplazamiento del último piso), (i) haga clic en la pestaña de *Curvas Histeréticas,* (ii) seleccione, respectivamente *desplazamiento* y *eje-x,* (iii) seleccione el nodo correspondiente desde el menú desplegable (p. ej. n2_C5up) para el eje inferior, (iv) seleccione *Cortante Basal Total/Momento* para el eje izquierdo, (v) escoja la visualización de los resultados (*gráfico* o *valores*) y finalmente (vi) haga clic en el botón de *Refrescar.*



Módulo de Parámetros de Respuesta Global (Curvas Histeréticas – modo gráfico)

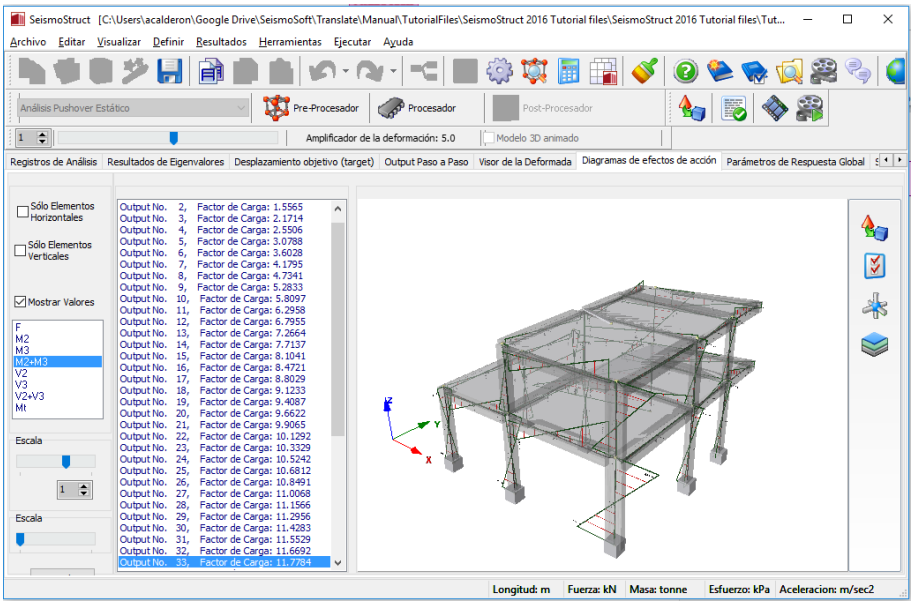
Para poder tener fuerzas cortante con valores positivos, (i) haga clic derecho en la ventana de Plot 3D, (ii) seleccione Ajustes de Post-Procesador y (iii) inserte el valor "-1" como un multiplicador del eje Y.



Módulo de Parámetros de Respuesta Global (Curvas Histeréticas – modo gráfico)

Post-Procesador – Diagramas de Fuerzas Internas

En el módulo de **Diagramas de Fuerzas Internas**los usuarios pueden visualizar las fuerzas internas y diagramas de momentos para cada paso del análisis. Por ejemplo, en la figura de abajo se muestra el diagrama de momentos:



Módulo de Diagramas de Fuerzas Internas

Dando doble clic a cualquier elemento se puede su diagramade momentos en 3D o 2D como se muestra en la siguiente figura:

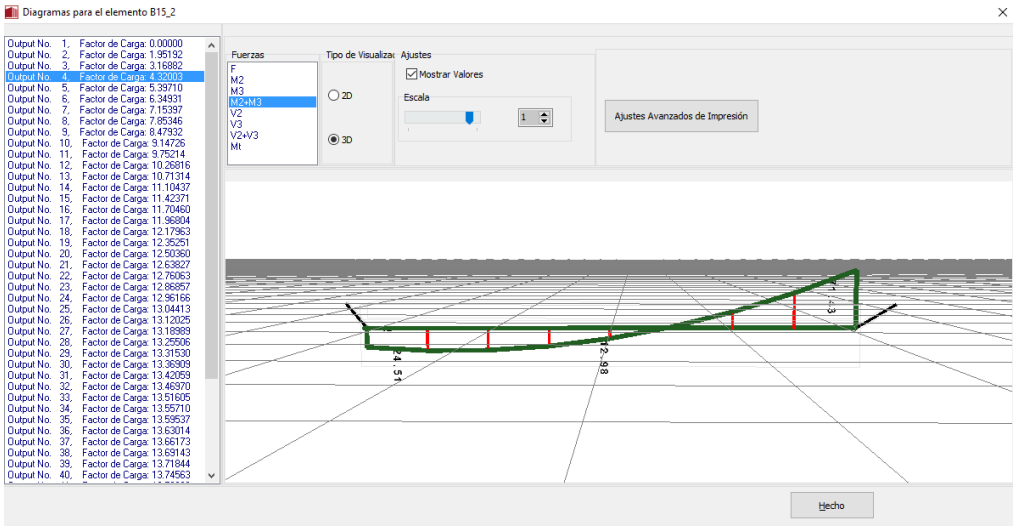


Diagrama para un elemento viga en 3D

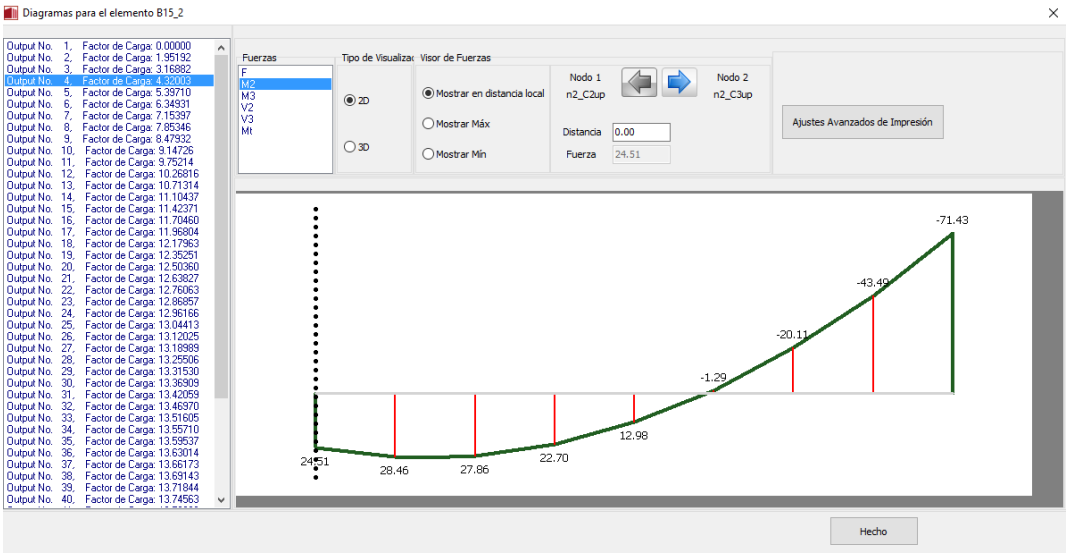
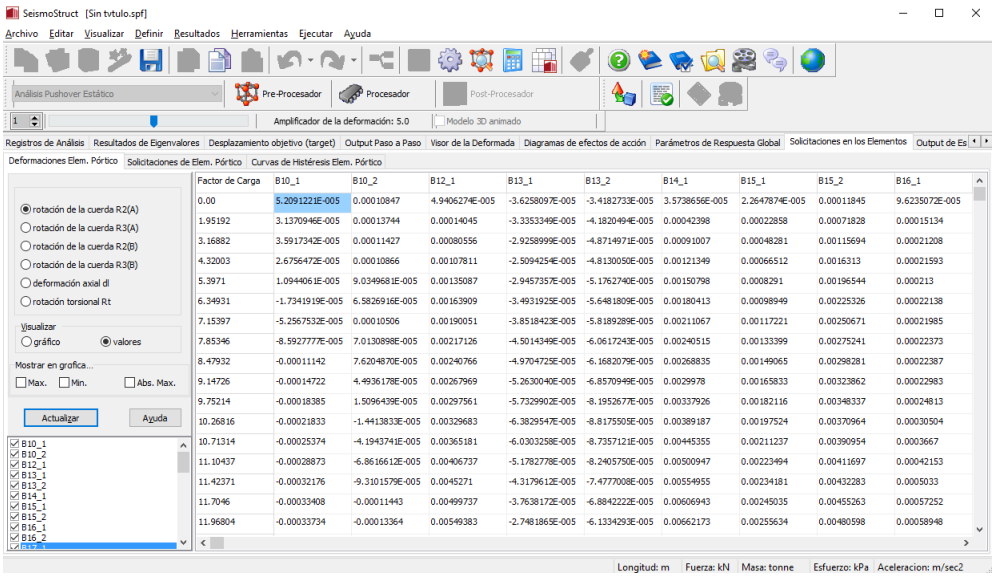


Diagrama para un elemento viga en 2D

Post-Procesador– Fuerzas Internas de Elementos

Las **rotaciones de cuerda de los elementos** y **las fuerzas a cortante de los elementos** que son las cantidades principales a usar en las revisiones de los códigos modernos (ver p. ej. Eurocódigo 8, NTC-18, KANEPE, ASCE 41-23, etc.), pueden extraerse de las ventanillas de *Deformaciones de Marco* y *Fuerzas de Marco.* Aquí iniciaremos con las últimas mencionadas.

Ya que ha utilizado elementos basados en fuerza (infrmFB) para definir los elementos estructurales, las rotaciones de cuerda pueden obtenerse directamente (i) haciendo clic en la pestaña *Deformaciones de Marco,* (ii) seleccionando*rotaciones de cuerda* en la dirección que le interesa (p. ej. R2), (iii) seleccionando elementos de la lista, marcado el checkbox correspondiente, (iv) escogiendo la visualización de los resultados (*gráfico* o *valores)* y finalmente (v) haciendo clic en el botón de *Refrescar*.

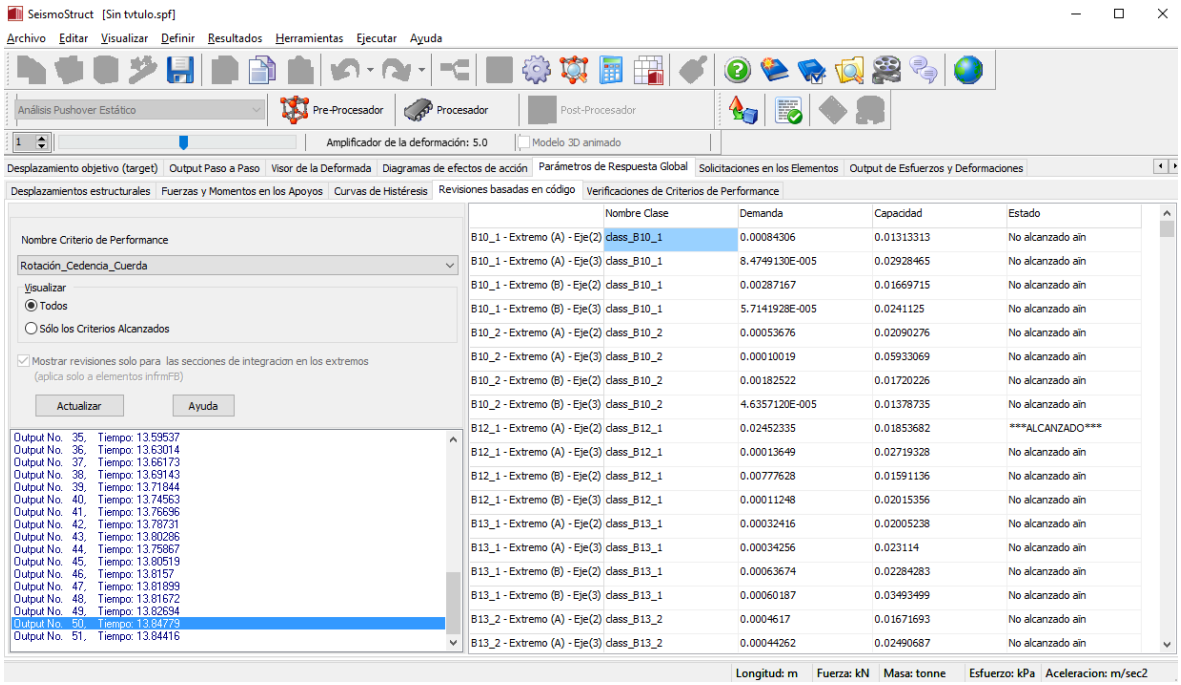


Módulo de Fuerzas Internas (Deformaciones de Marco – modo de valores)

> **NOTA: Los resultados pueden exportarse a una hoja de Excel (o similar).**

Post-Procesador – Revisiones Basadas en Código y Criterios de Desempeño

Para poder evitar la necesidad de que los usuarios lleven a cabo cálculos a mano para la estimación de la capacidad estructural de los miembros, SeismoStruct provee una opción para realizar automáticamente revisiones de capacidad a cortante y rotación de cuerda, de acuerdo con expresiones basadas en los códigos respaldados (Eurocode 8, ASCE 41-23, NTC-18, KANEPE y TBDY) para los estados límite seleccionados. Esto puede hacerse en la pestaña de *Revisiones Basadas en Código* de la página de *Parámetros de Respuesta Global* del Post-Procesador.



Revisiones Basadas en Código

El usuario puede seleccionar ya sea una revisión de código específica o todas las revisiones del mismo tipo. Hay dos tipos de revisiones basadas en código están disponibles, que son las de rotación de cuerda y capacidad a cortante.

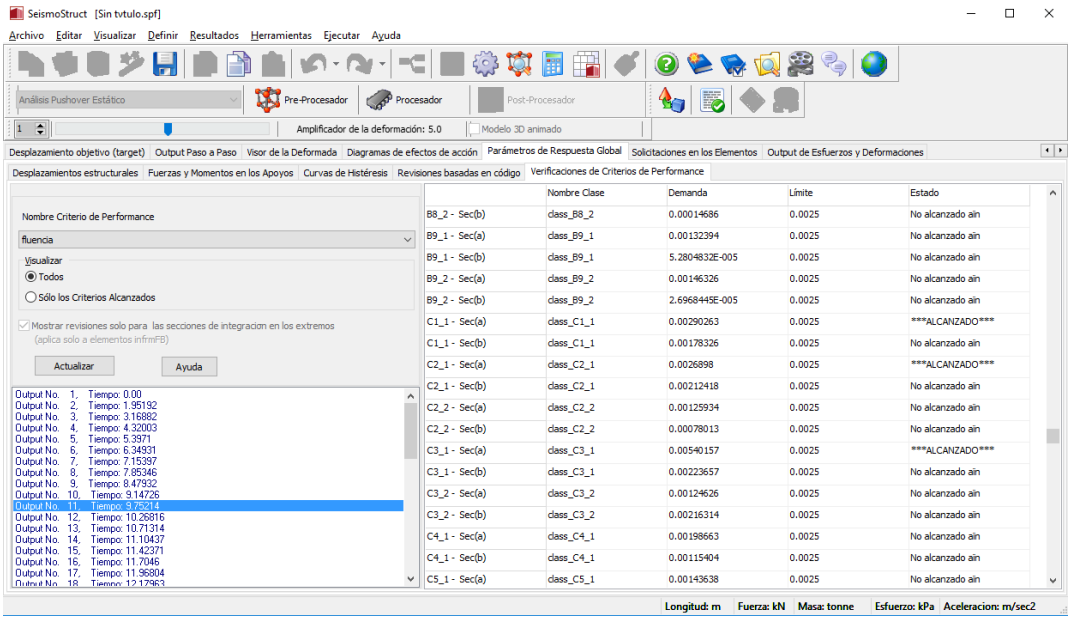
Cuando el usuario hace clic en cada step del análisis, una lista de todas las revisiones estructurales efectuadas en los miembros aparece. Los datos incluyendo la demanda, la capacidad y si una revisión en particular ha sido alcanzada en esa localidad particular, mientras que los resultados para cada sección de integración y para ambos ejes locales (2) y (3).

Adicional a las revisiones basadas en código, los usuarios también son capaces de ajustar criterios de desempeño identificando instantes del análisis, en los cuales los diferentes estados límite de desempeño (identificados por deformaciones en los materiales, curvatura de secciones, rotación de cuerda de los elementos y valores de fuerza cortante) se estima que serán alcanzados. Esto puede hacerse en la pestaña de *Revisiones de Criterios por Desempeño* de la página de *Parámetros de Respuesta Global* del Post-Procesador. De forma predeterminada el modelador de edificio define dos tipos de criterio (i) uno por capacidad de rotación de cuerda llamado *chord_rot* y (ii) criterio por capacidad de fuerza cortante llamado *shear.*

NOTA: La diferencia principal entre las Revisiones Basadas en Código y los Criterios de Desempeño es que los primeros se revisan contra valores "esperados" de las cantidades de respuesta, mientras que los últimos siguen metodologías de evaluación conservativa como se define en los correspondientes Códigos y Estandares. Por tanto, en Revisiones Basadas en Código las expresiones usadas en el cálculo de valores límite, cuando los diferentes límites de desempeño son alcanzados, utilizan resistencia de materiales conservadoras (p. ej. caracterítica o nominal) y se basan en factores de confianza y seguridad, según especificado en los Códigos. Por el contrario, se utilizan los valores promedio de los materiales o ningún factor de seguridad o de confianza en los cálculos de Criterios de Desempeño.

El usuario puede seleccionar el Nombre de Criterio de Desempeño o todos los criterios definidos del mismo tipo. En SeismoStruct, ocho tipos de criterio por desempeño pueden definirse (i) Deformación de Concreto de RC o secciones compuestas, (ii) Deformación del RC o secciones compuestas, (iii) Deformación del Acero o secciones compuestas, (iv) Curvatura de la sección, (v) Rotación de Cuerda de Elementos tipo Marco (p. ej. si un valor específico se ha alcanzado) (vi) Fuerza a cortante en el elemento de marco (p. ej. si un valor específico ha sido alcanzado, (vii) Capacidad de Rotación de Cuerda de Elemento Marco (p. ej. si la capacidad ha sido alcanzada) y (viii) Capacidad a Cortante de Elemento Marco (p. ej. si la capacidad ha sido alcanzada).

Cuando el usuario hace clic en todos los pasos de análisis, una lista de todos los miembros estructurales aparecerá, con las revisiones de los criterios de desempeño seleccionados en todas las secciones de integración y en ambos ejes locales, (2) y (3). Los datos mostrados incluyen la demanda, la capacidad, y si un criterio en particular se ha alcanzado en una localidad en particular.



Revisiones de Criterios de Desempeño

NOTA: Otros criterios de desempeño pueden definirse desde la pestaña de Criterios de Desempeño de los Ajustes de Modelador de Edificio o desde la página de Criterios de Desempeño del Pre-Procesador.

! Felicidades, ha terminado el primer tutorial!

TUTORIAL N.2 –ANÁLISISPUSHOVER DE UN EDIFICIO DE DOS PISOS

Descripción del Problema

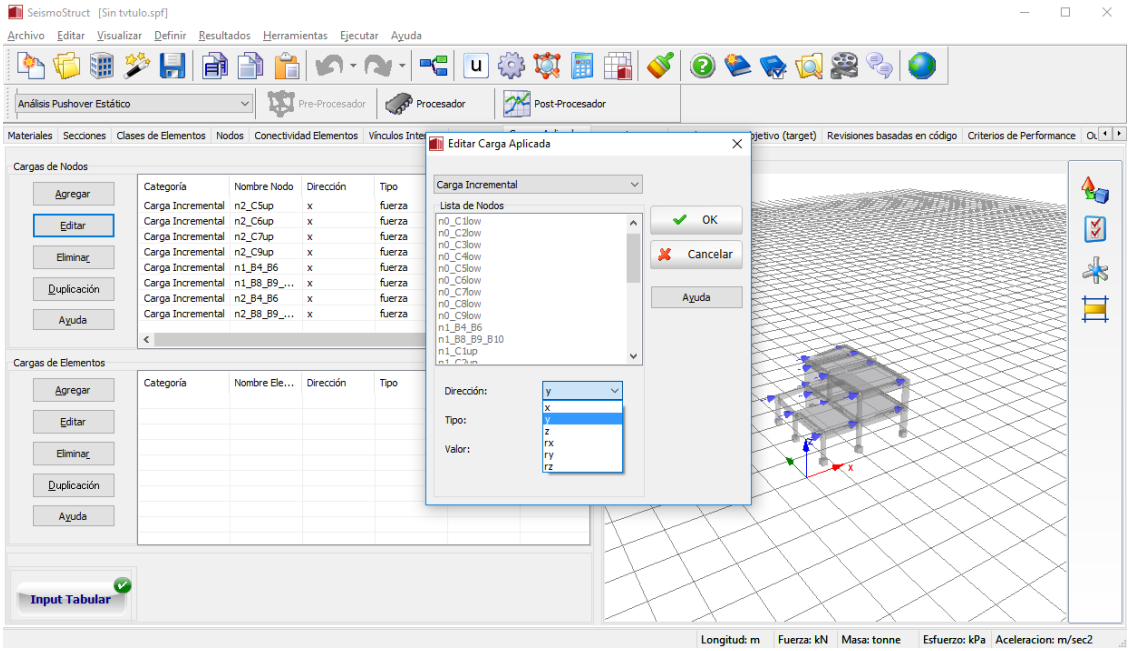
Para facilitar este segundo tutorialutilizaremos el modelo creado anteriormente en el primer tutorial.

Iniciando: abrir un proyecto existente

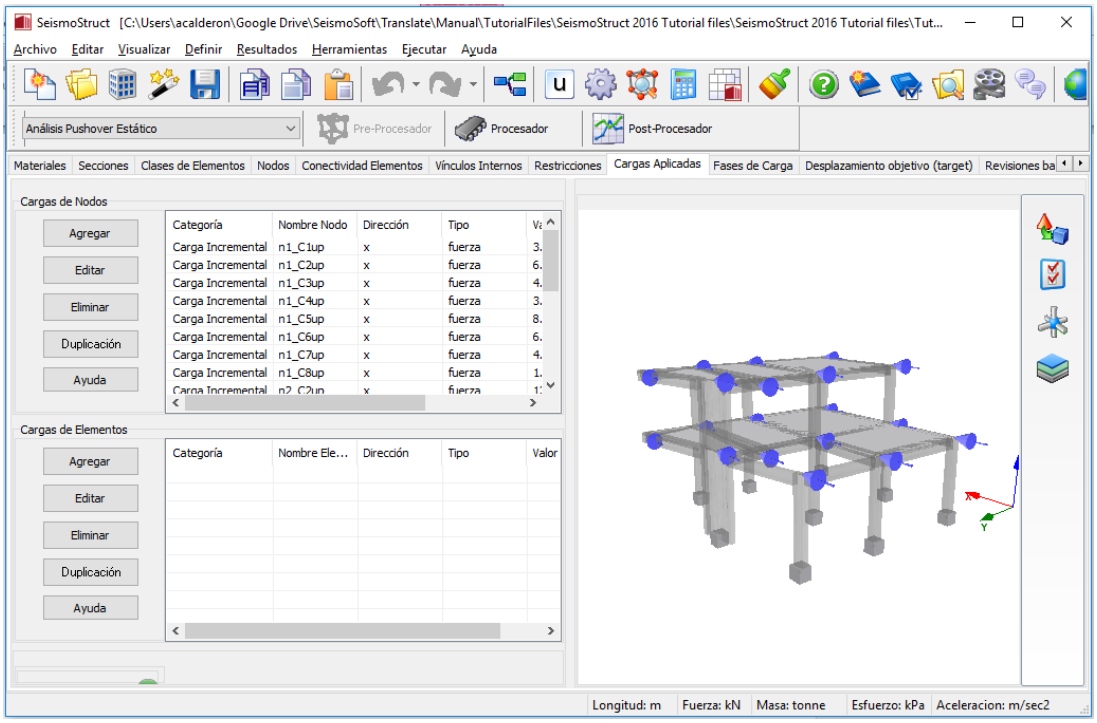
Abra de nuevo la ventana inicial del software y, luego de dar clic en el icono de la barra de herramientas, selecciones el proyecto previo de SeismoStruct (Tutorial1.spf). Una vez abierto, guarde el proyecto con un nombre nuevo usando el comando *Archivo > Guardar como…*

Pre-Procesador – Fuerzas Aplicadas

Seleccione todas las Cargas Incrementales, presione el botón de Editar y cambie la dirección de las cargas de X a Y, luego haga clic en OK y la dirección de todas las cargas será cambiada.



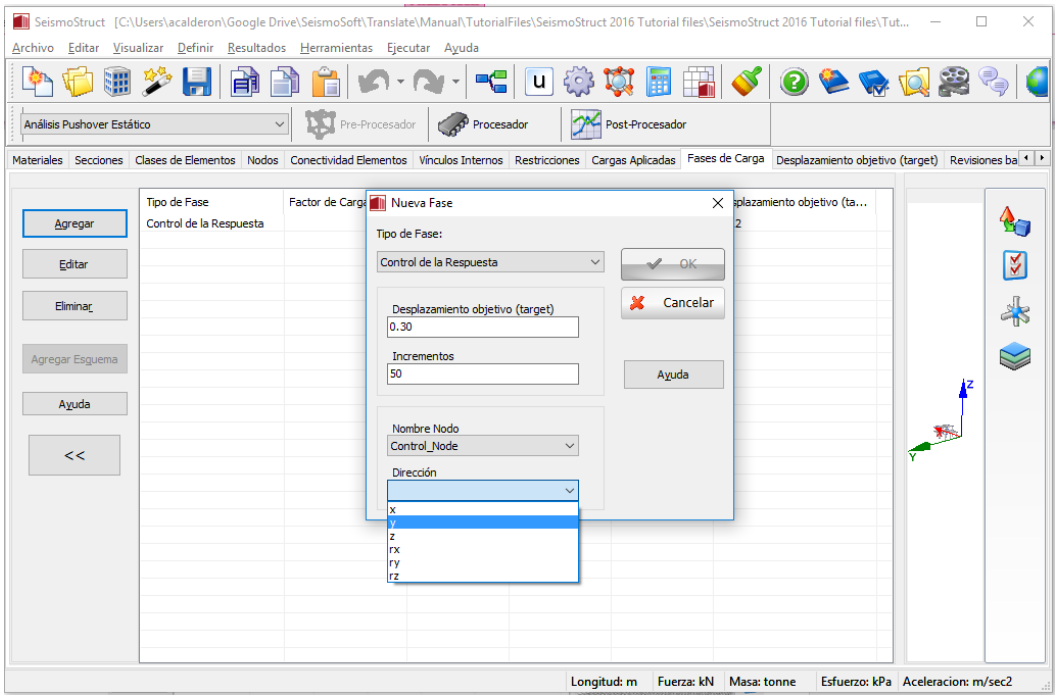
Editar Fuerza Aplicada



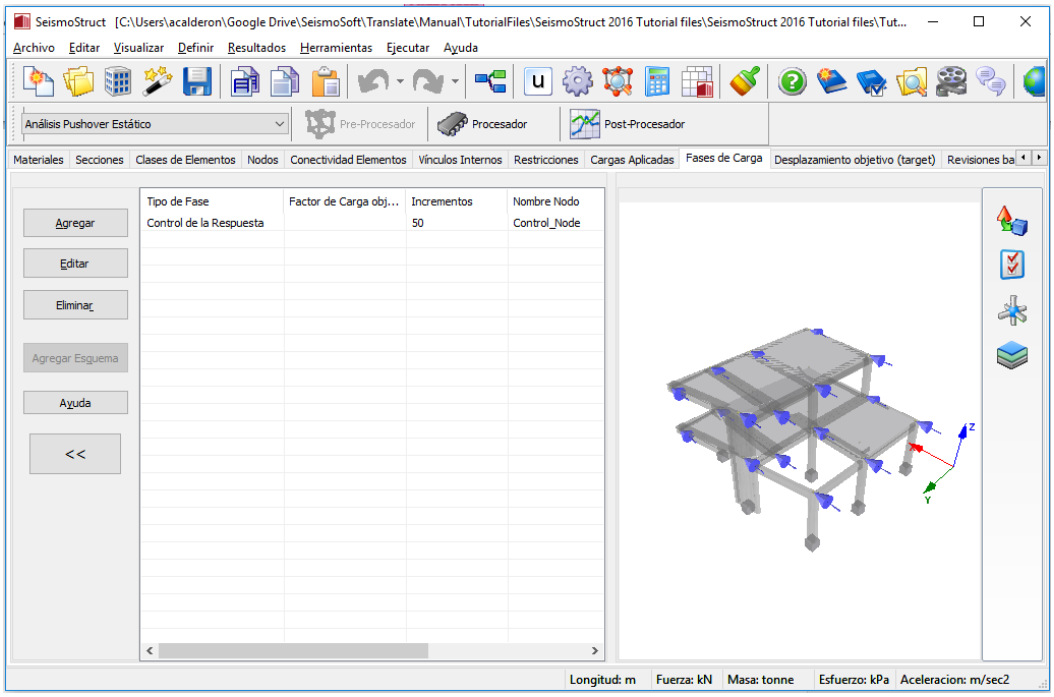
Módulo de Aplicación de Cargas

Pre-Procesador – Fases de Carga

Selecciones el tipo de fase, presione Editar y cambie la dirección del Desplazamiento Objetivo de X a Y, luego haga clic en OK.



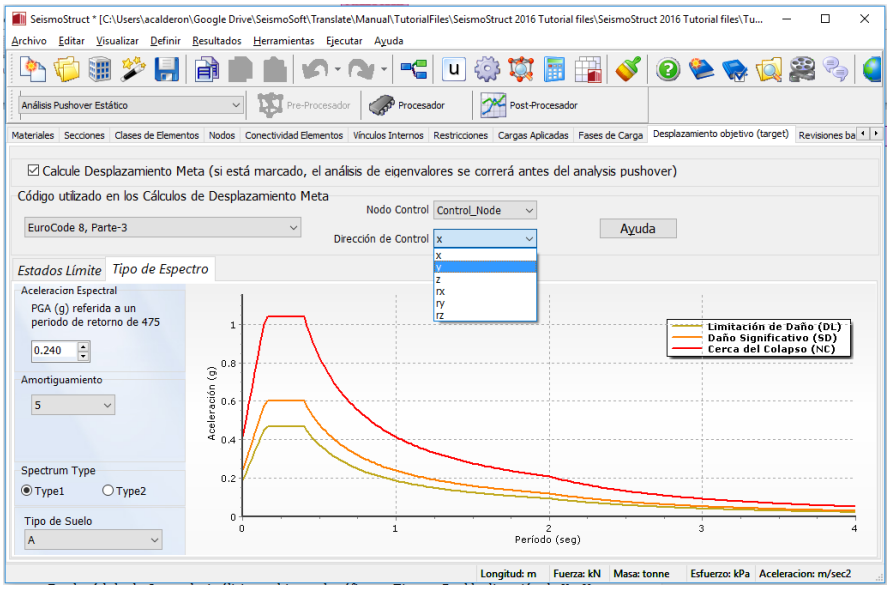
Módulo de Editar Fase de Carga



Módulo de Fase de Carga

Pre-Procesador– Desplazamiento Objetivo

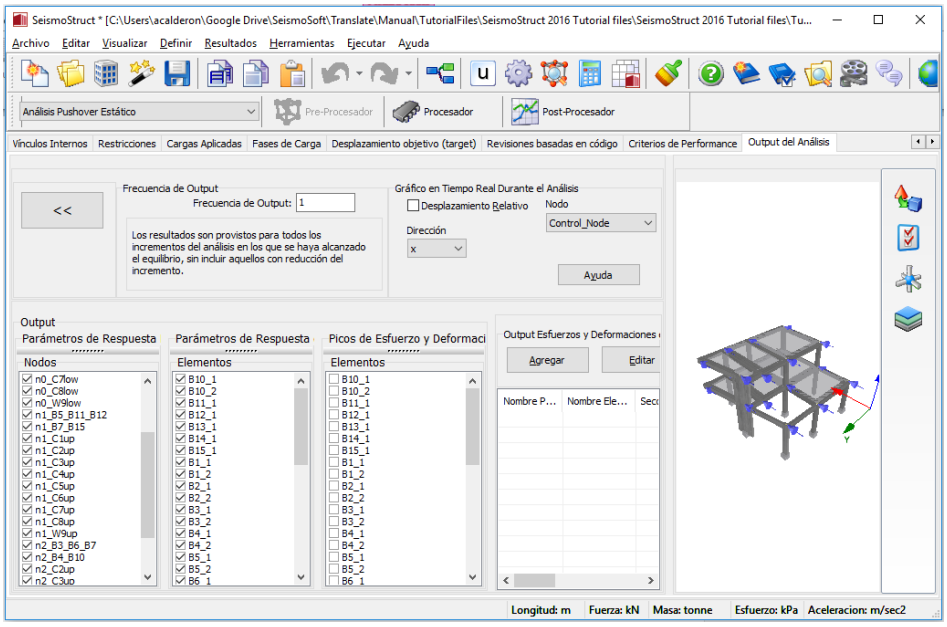
Cambie la Dirección de Control en el módulo de Desplazamiento Objetivo de X a Y.



Módulo de Desplazamiento Objetivo

Pre-Procesador – Output de Análisis

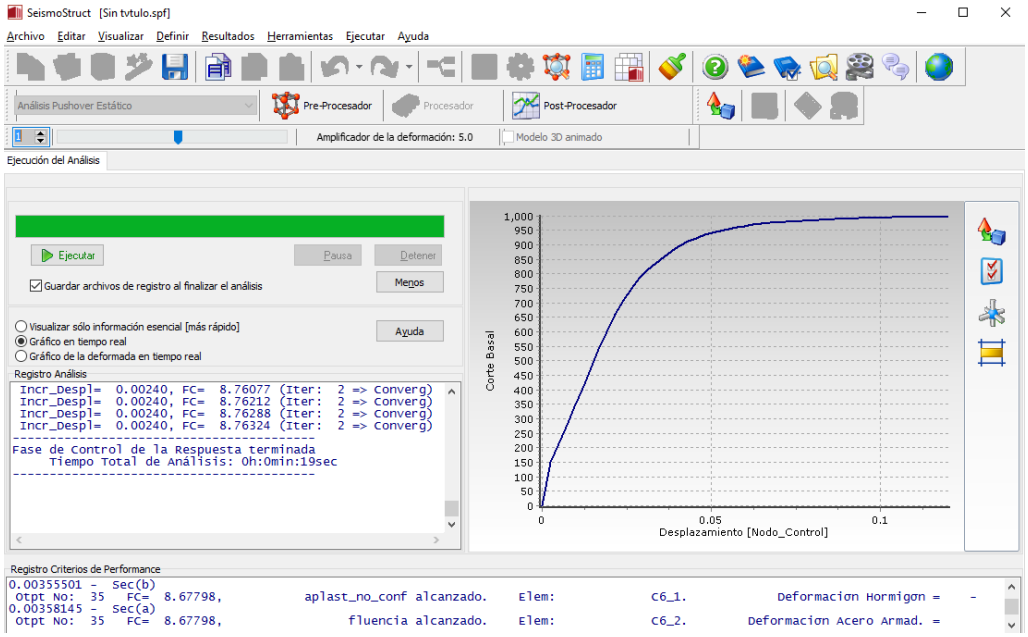
En el módulo de Ouput de Análisis cambie en el gráfico en Tiempo Real la dirección de X a Y.



Módulo de Análisis de Output

Procesador

Haga clic en el botón de *Correr*.



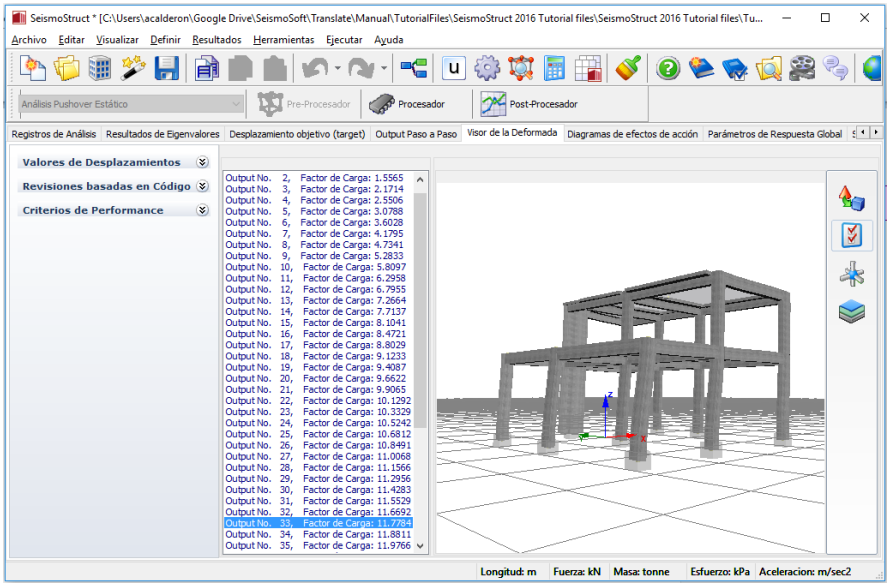
Área de Procesador

Cuando el análisis haya llegado a su fin, haga clic en el botón 

de la barra de herramientas o seleccione *Correr* >*Post-Procesador*del menú principal.

Post-Procesador

En el módulo de **Visualizador de Deformada** tiene la posibilidad de visualizar la deformada del modelo en cada paso del análisis. Haga doble clic en el identificador del output deseado para actualizar la vista de la deformada (ver figura abajo).



Módulo de Visualizador de Deformada

TUTORIAL N.3 – ANÁLISIS DINÁMICO EN EL TIEMPO DE UN EDIFICIO DE DOS PISOS

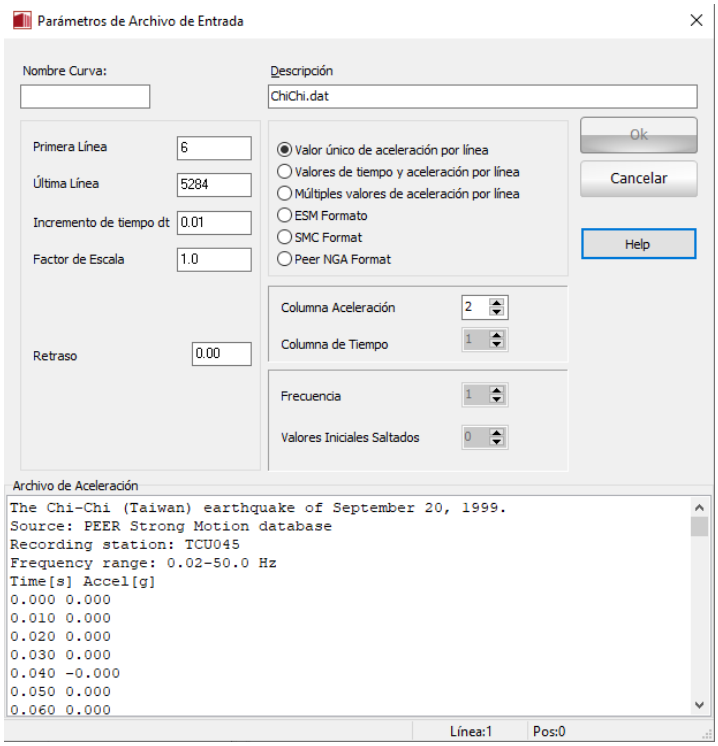
Descripción del Problema

Utilizaremos el mismo modelo que fue creado para los tutoriales n.1 y modificado en el n.2.

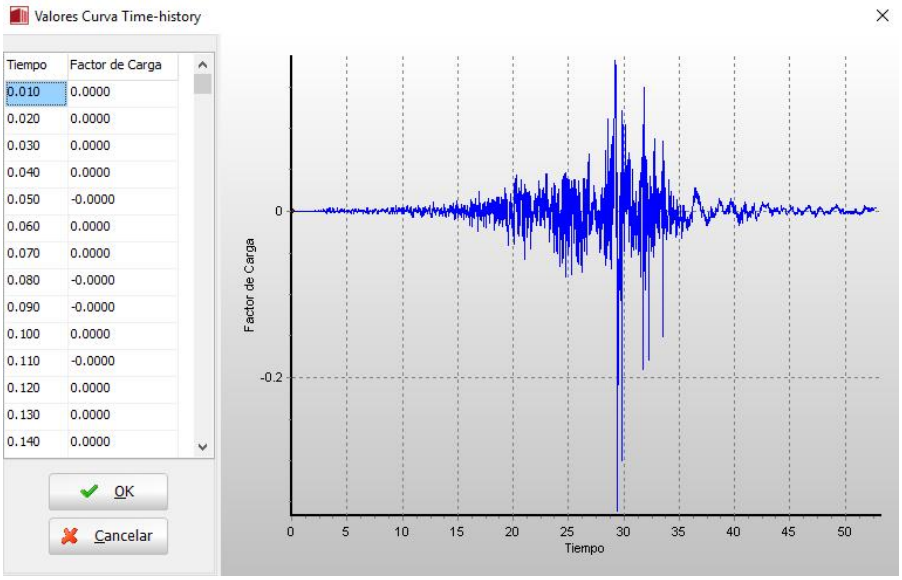
Comenzando: abriendo un proyecto existente

Vaya al Modelador de Edificio luego de dar clic en el icono de la barra de herramientas. Haga clic en Abrir Proyecto de Edificio Existente y seleccione el archivo previo del Modelador de Edificio (Tutorial.bmf). Una vez abierto, guarde el proyecto con un nuevo nombre utilizando el comando de menú *Guardar como…* En este punto seleccione el *Análisis Dinámico en Historia del Tiempo* desde los *Ajustes de Modelador de Edificio* y presione el botón de Salir y Crearpara poder crear el modelo de SeismoStruct. Un mensaje para la selección de acelerograma aparecerá y deberá:

1. Cargar un acelerograma a través del botón de *Seleccionar Archivo* (por simplicidad selecciones una de las curvas del folder de instalación del programa *(C:\ Program Files\ Seismosoft\ SeismoStruct\2026\ Accelerograms \ ChiChi.dat*);
2. Especifique el multiplicador de la curva (predeterminadamente ➔ 9.81) y los otros Parámetros de Archivo de Entrada;

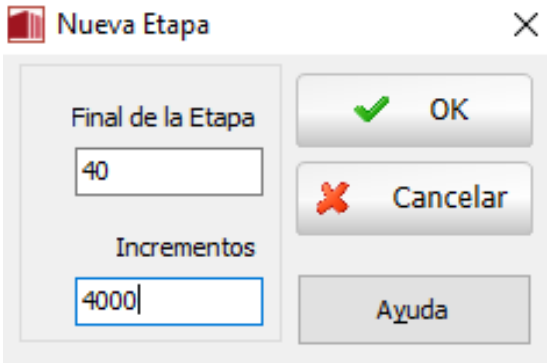


Parámetros de Archivo de Entrada –Cargar Curva



Acelerograma –Valores de Curva de Time History

Luego de cargar la curva, puede modificar las etapas de Time History, donde los intervalos de tiempo del análisis pueden definirse. En la sección de *etapas de Time History*presione el botón de *Editar,* y en la ventana de diálogo que se abre defina (i) el tiempo de *Fin de Etapa* (que en este ejemplo se selecciona 40 segundos), (ii) el número de *pasos* (-> 4000).

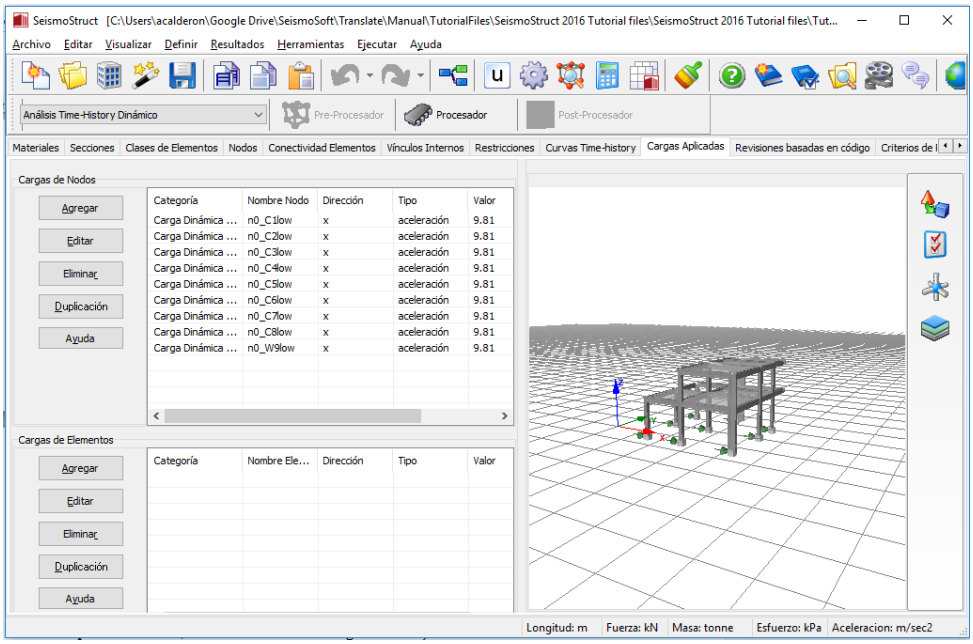


Etapa de Time History

NOTA: el programa calcula internamente el intervalo de tiempo dt. En este caso es 40/4000 = 0.01.

Pre-Procesador – Cargas Aplicadas

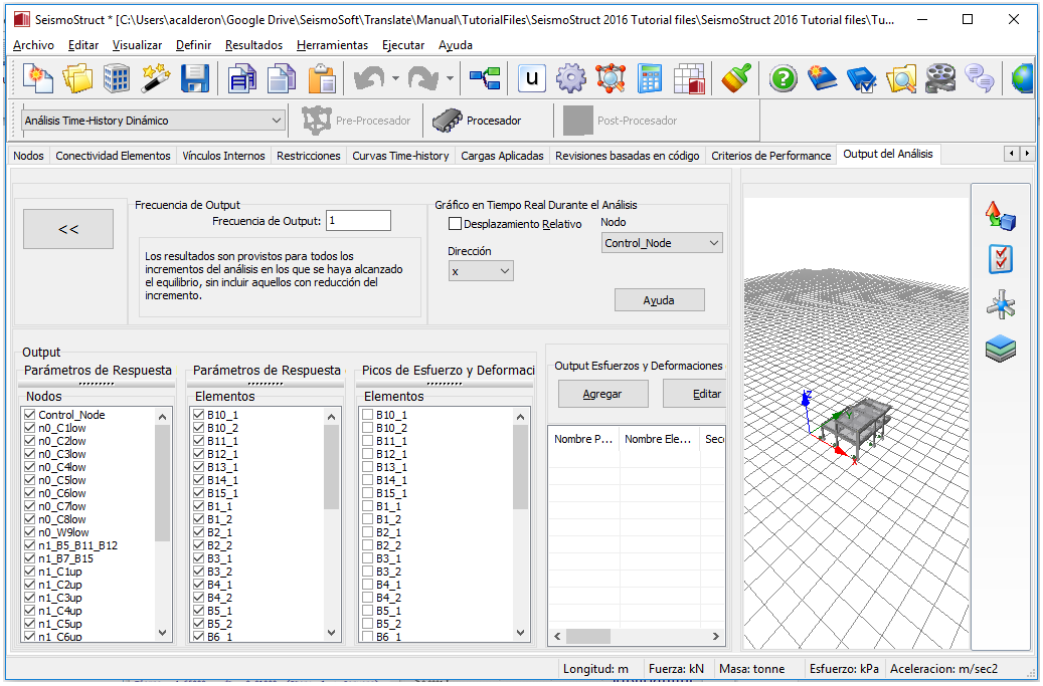
El programa aplica automaticamente la carga de dinámica de Time History a los nodos de la base en dirección X.



Cargas Dinámicas de Time History

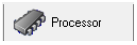
Pre-Procesador – Output de Análisis

Finalmente, antes de entrar en el **Procesador**, debe establecer sus preferencias de salida en módulo de **Output de Análisis**, como se muestra en la figura de abajo.



Módulo de Output de Análisis

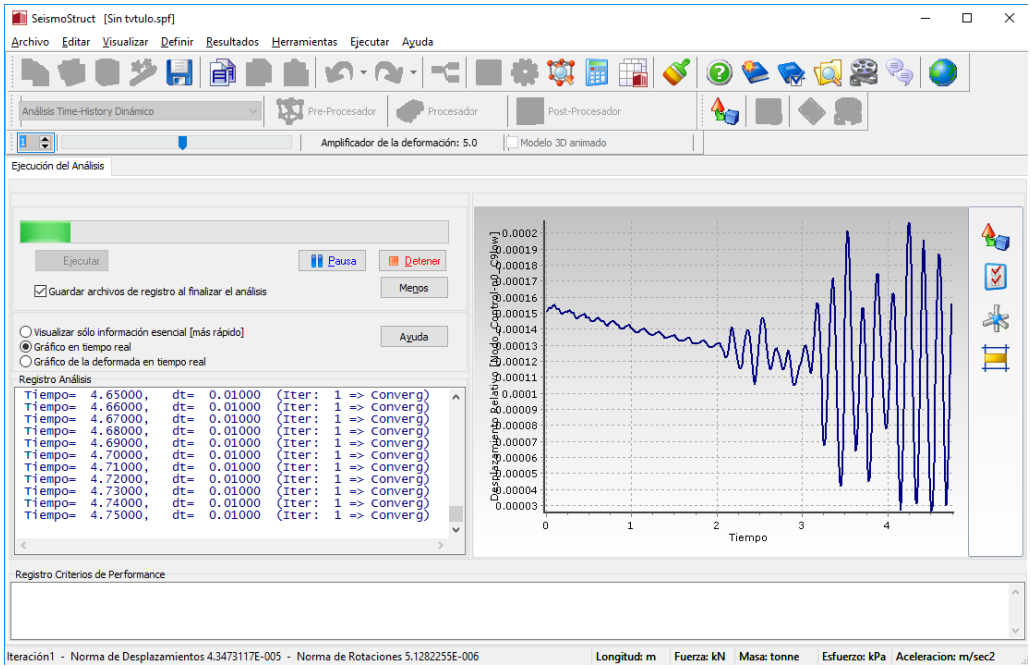
NOTA: A diferencia del tutorial 1, en este ejemplo se solicita visualizar, en tiempo real, el desplazamiento total relativo del nodo tope Nodo_Control con respecto al nodo base n0_C5low.

En este punto, puede hacer clic en el botón de la barra de herramientas 

o seleccionar *Correr* > *Procesador* desde el menú principal para llevar a cabo el análisis de Time History.

Procesador

Presione el botón de *Correr*.



Corriendo el análisis

Una vez el análisis ha llegado al final, haga clic en el botón de la barra de herramientas 

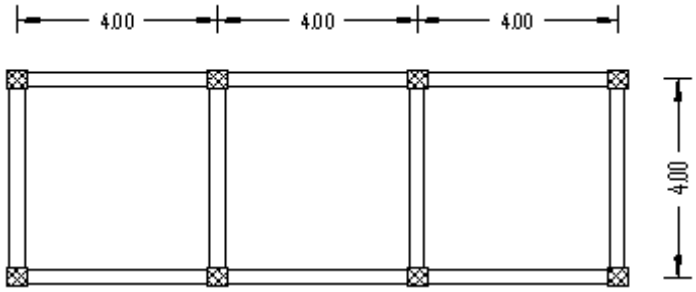
para obtener resultados. Como se ha visto en el Tutorial n.1, en el **Post-Procesador**podrá ver la deformada de la estructura a cada paso del análisis dinámico (*Visualizador de Deformada*)así como extraer la respuesta de desplazamiento en la historia del tiempo de la estructura, entre otros.

TUTORIAL N.4 – ANÁLISIS DE PUSHOVER DE UN EDIFICIO DE DOS PISOS

NOTA: En este Tutorial n.4 no usará el Asistente o el Modelador de Edificio sino que se creará el modelo enteramente nuevo, paso a paso.

Descripción del Problema

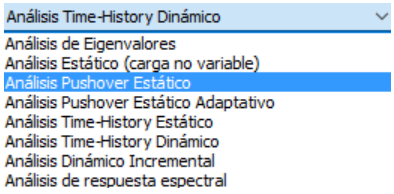
La estructura a modelar consiste en un edificio tridimensional de hormigón armado de dos pisos, que será sometido a un análisis de pushover. Se asumirá que la estructura es regular, tiene tres vanos y dos pórticos en paralelo. La longitud de los vanos es 4 metros, la altura de pisos es 3 metros y la distancia entre los dos pórticos es 4 metros, como puede observarse en la figura siguiente:



Vista en planta del edificio

Comenzando: un nuevo proyecto

Para abrir la ventana inicial del programa, seleccione el comando *Archivo > Nuevo...* o haga clic sobre el ícono en la barra de herramientas. Luego, seleccione *Análisis pushover estático* en el menú desplegable que se encuentra en la esquina superior izquierda de la ventana del *Pre-Procesador* (ver imagen siguiente).



Selección del tipo de análisis

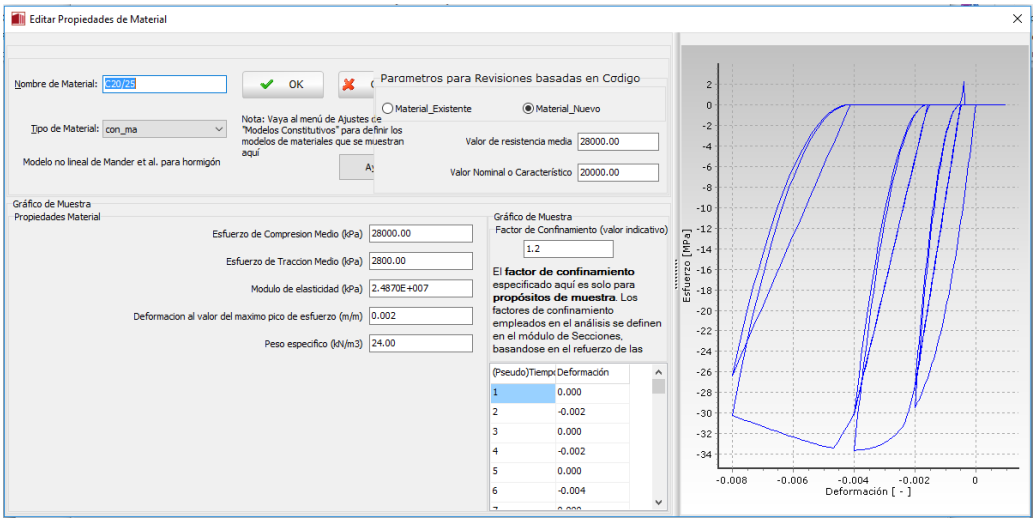
Una vez que el tipo de análisis ha sido seleccionado, pueden empezar a crear el modelo.

Pre-Procesador – Materiales

El primer módulo a completar es el módulo **Materiales**. Es posible insertar un nuevo material (i) haciendo clic en el botón *Agregar Clase de Material*, lo cual permite seleccionar una clase de material predefinida o (ii) haciendo clic en el botón *Agregar Material General* y definiendo todos los parámetros del material.

En este tutorial se definirán tres materiales para caracterizar las secciones del modelo. Por lo tanto, luego de seleccionar la opción *Agregar Material General* (botón a la izquierda de la pantalla), deberá:

1. Asignar el nombre del material (➔ Concreto);
2. Seleccionar el tipo de material en el menú desplegable (➔con_ma);
3. Definir las propiedades del material (➔ valores por defecto -> Apéndice C - Materiales).
4. Definir los Parámetros requeridos por las Revisiones Basadas en Código (➔Material_Existente).



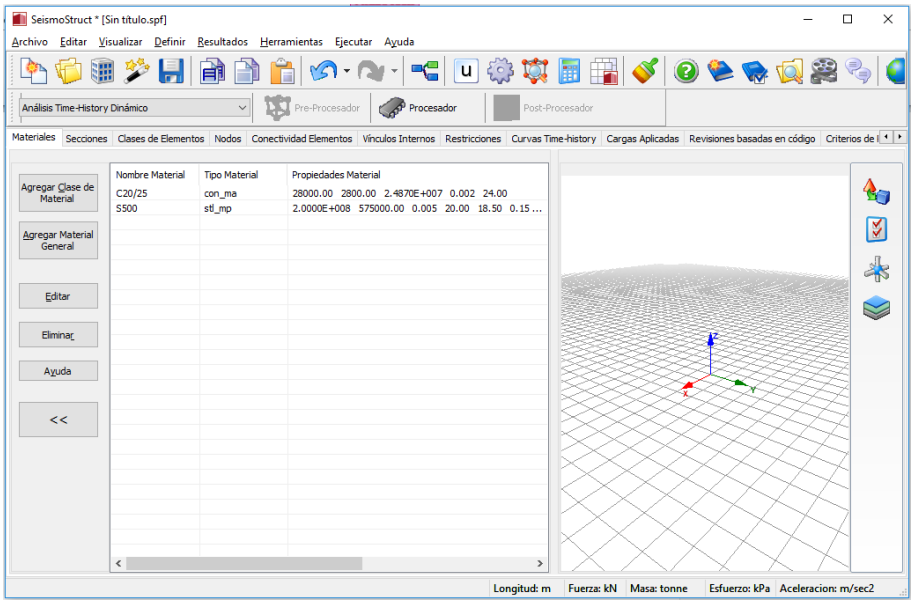
Material Concreto

Repita el mismo procedimiento para agregar el material “acero”:

1. Asigne el nombre al material (➔ Acero);
2. Seleccione el tipo de material en el menú desplegable (➔ stl_mp);
3. Defina las propiedades del material (➔ valores por defecto ->Apéndice C Materiales).
4. Definir los Parámetros requeridos por las Revisiones Basadas en Código (➔Material_Existente).

Note que desde SeismoStruct v7.0 en adelante, ya no hay necesidad de definir un tercer material para el concreto no confinado, ya que el usuario tiene la posibilidad de definirlo a través del módulo de Secciones, al introducir el refuerzo transversal.

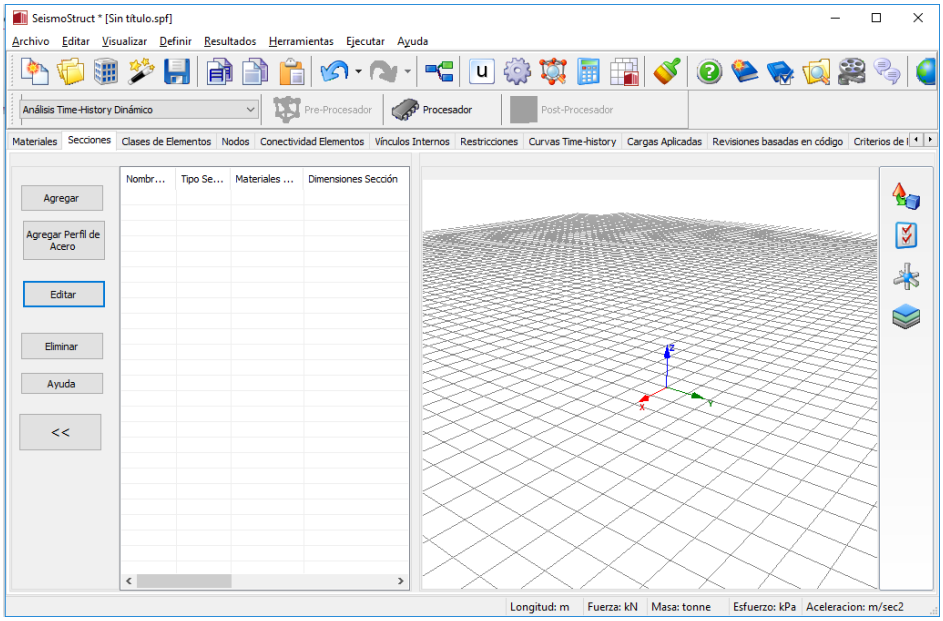
Al finalizar, el módulo **Materiales** debe presentar el siguiente aspecto:



Módulo de Materiales

Pre-Procesador - Secciones

Una vez definidos los materiales, diríjase al módulo **Secciones** y haga clic sobre el botón **Agregar** para definir las propiedades de las secciones transversales de los elementos estructurales.

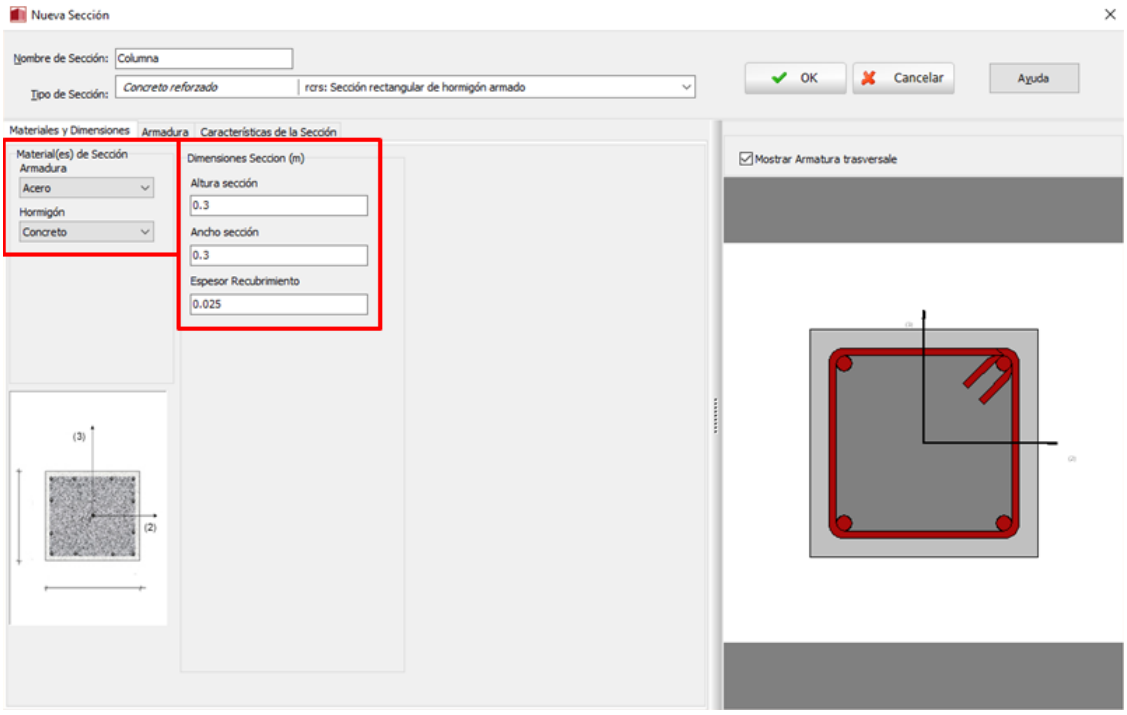


Módulo Secciones

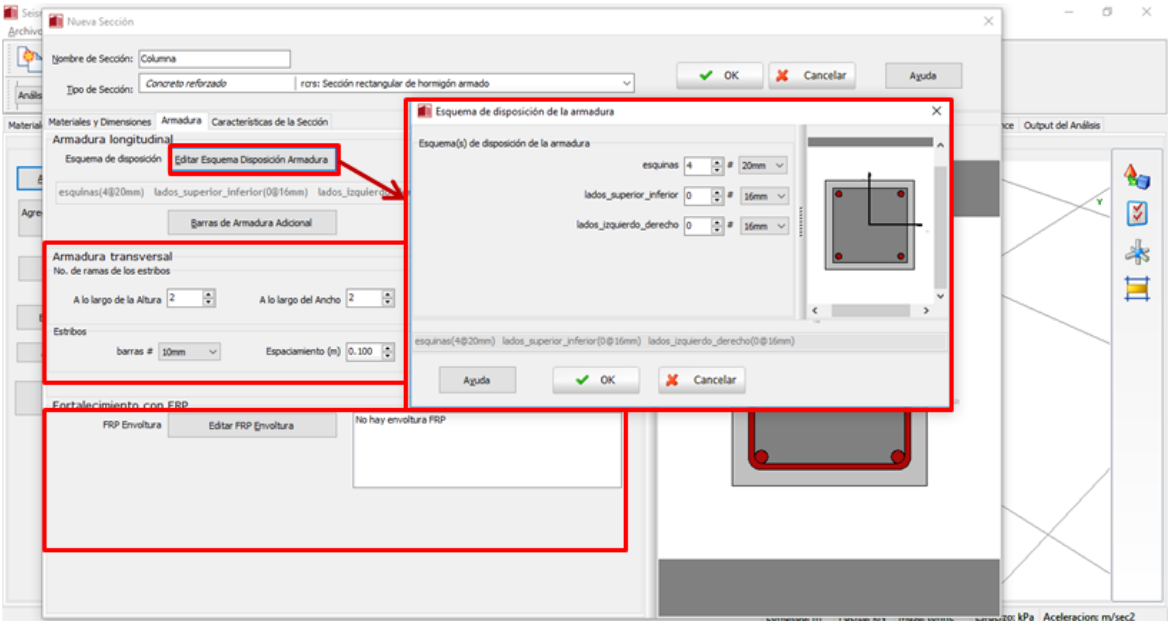
En este ejemplo se definirán dos secciones diferentes, una para las columnas (llamada Columna) y otra para las vigas (llamada Viga), y se utilizará para ambas el mismo tipo de sección (sección rectangular de hormigón armado (rcrs)). Para cada sección deberá:

1. Indicar el nombre de la sección;
2. Seleccionar el tipo de sección en el menú desplegable;
3. Seleccionar los materiales con los cuales crear la sección en los menúes correspondientes;
4. Establecer las dimensiones de la sección;
5. Editar el esquema de disposición de la armadura.
6. Asignar la envoltura FRP
7. En la tabla siguiente se resumen las propiedades (dimensiones y armaduras) de las secciones:

Propiedades Sección	Valores para la columna	Valores para la viga
Altura	0.3 (m)	0.4
Ancho	0.3 (m)	0.3
Espesor de Recubrimiento	0.025 (m)	0.025 (m)
Refuerzo Longitudinal	4 ϕ 16	8 ϕ 16
Refuerzo Transversal	ϕ 10/10	ϕ 10/10
Reforzamiento FRP	Sin Envoltura FRP	Sin Envoltura FRP

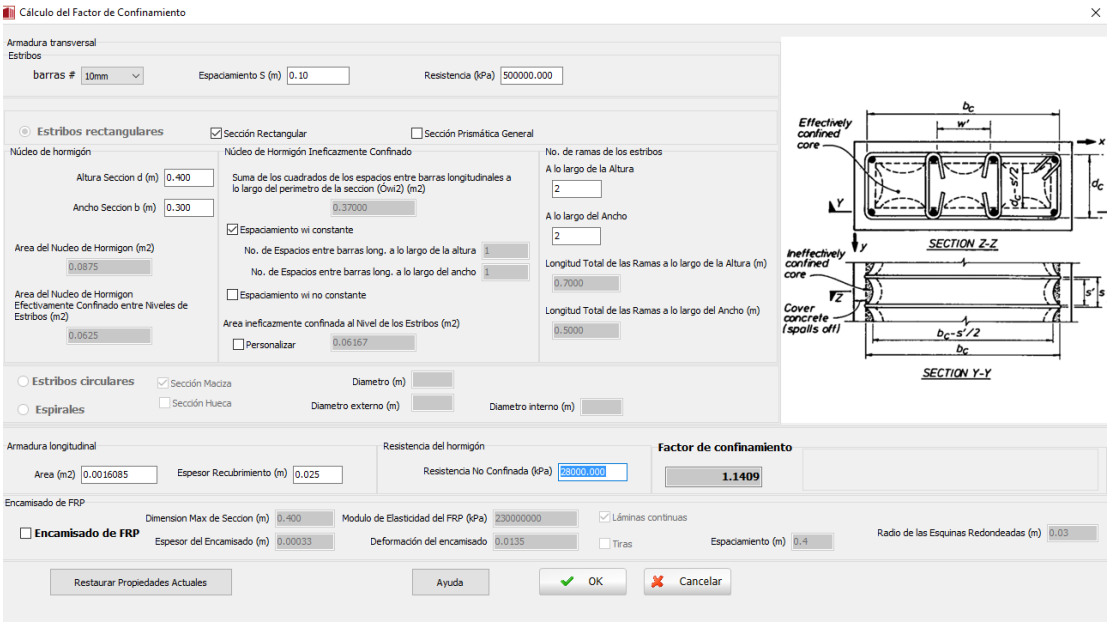


Sección Columna (materiales y dimensiones)

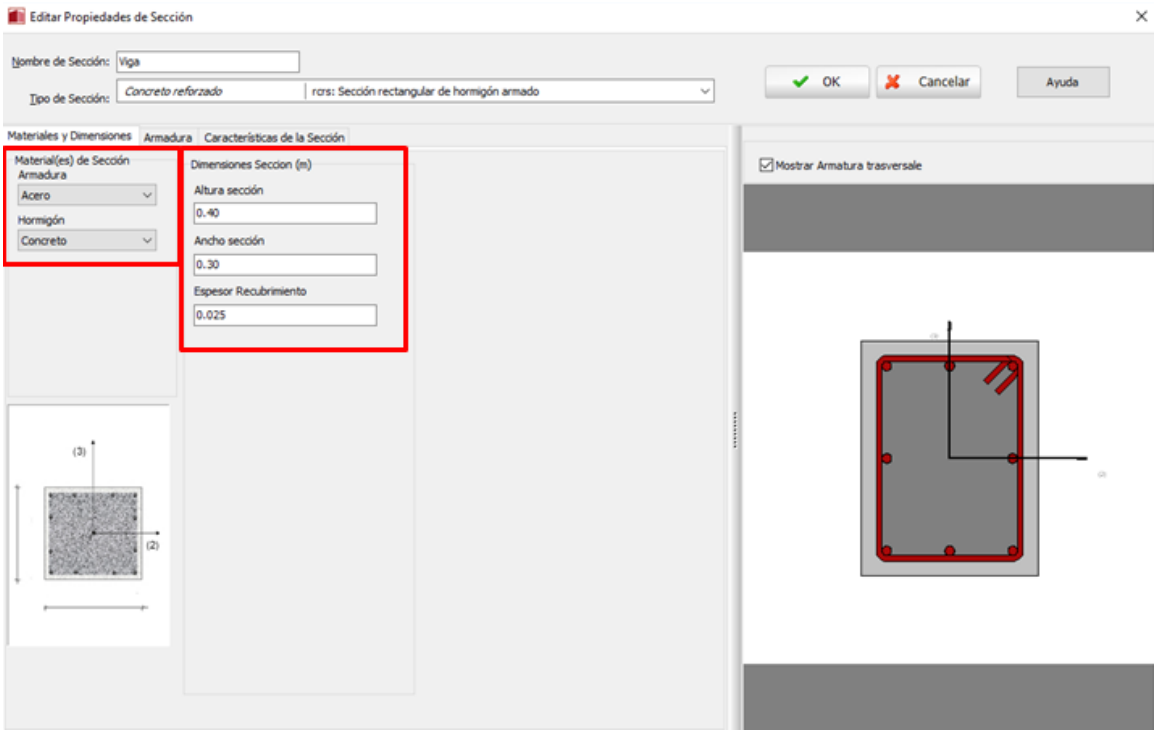


Material Columna (esquema de disposición de la armadura)

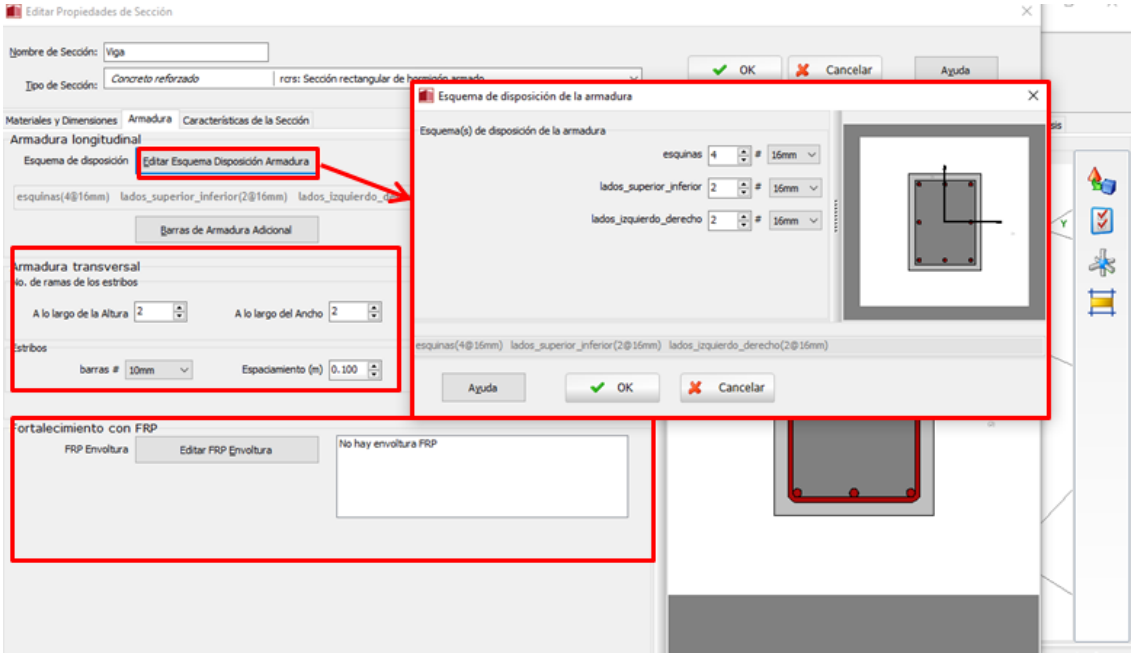
Los usuarios pueden seleccionar desde las Características de Sección si el factor de confinamiento debe calcularse automáticamente o se calculará con más detalle.



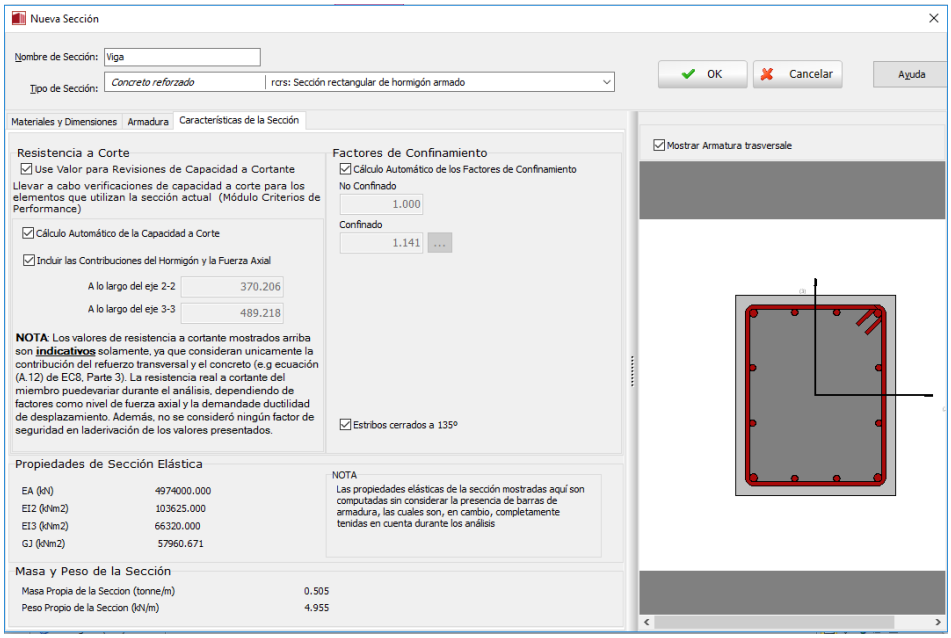
Patrón de Cálculo para el Factor de Confinamiento



Sección Viga (materiales y dimensiones)



Sección Viga (esquema de disposición de la armadura)



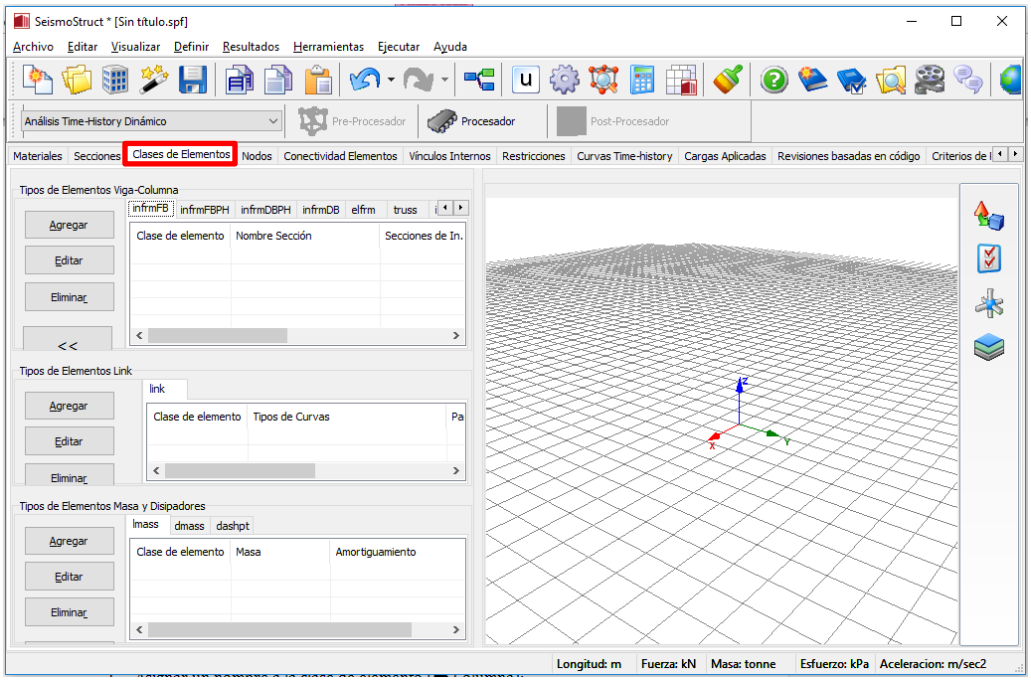
Sección Viga (materiales y dimensiones)

NOTA 1: La capacidad de cortante en el módulo de Secciones se calcula usando la expresión de EC8-Parte 3. Notese que este valor es solamente indicativo, ya que considera solamente la contribución del refuerzo transversal, pero ningún otro factor como la fuerza axial o la demanda de ductilidad por desplazamiento. El radio Lv de la ecuación se calcula usando una longitud de elemento asumida como el menor de 6*(MaxDim) y 12*(MinDim), donde (MaxDim) y (MinDim) son las dimensiones máximas y mínimas de la sección respectivamente.

NOTA 2: Los valores EA, EI & GJ mostrados en este módulo son meramente indicativos. (p. ej. no usados en el análisis) y calculados usando las propiedades del material elástico de la sección principal del material (p. ej. concreto en secciones R/C). Ninguna discretización de la sección en el monitorea de los puntos se lleva a cabo en el Pre-Procesador (como sí sucede en el análisis).

Pre-Procesador – Clases de Elementos

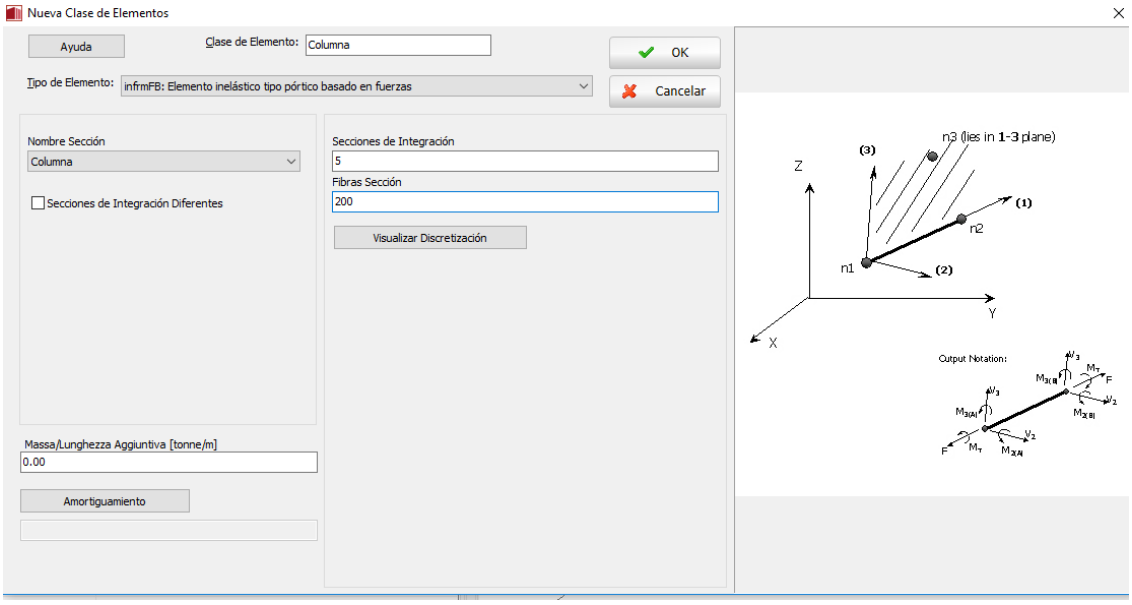
Por cada sección previamente descrita es necesario definir una clase de elemento en el módulo **Clases de Elementos**. Diríjase a este módulo y haga clic sobre el botón *Agregar* relativo a la sección *Tipos de Elementos Viga-Columna*; se abrirá una ventana de diálogo.



Módulo de clases de elementos

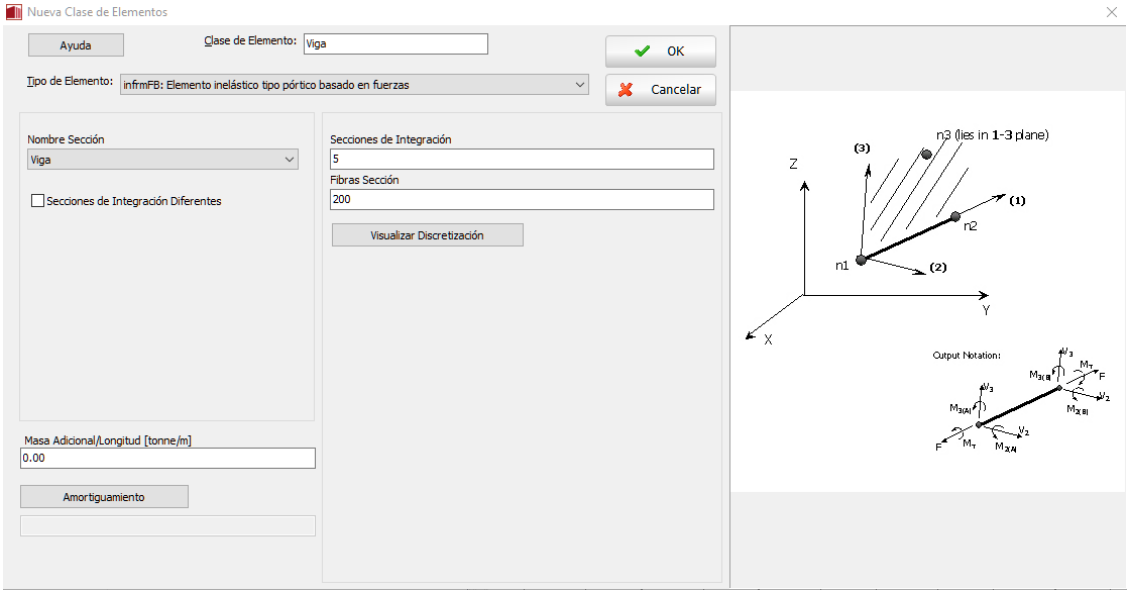
En la ventana de diálogo debe:

1. Asignar un nombre a la clase de elemento (➔ Columna);
2. Seleccionar el tipo de elemento en el menú desplegable (➔ infrmFB);
3. Seleccionar el nombre de la sección correspondiente en el menú desplegable (➔ Columna); Indicar el número de secciones de integración (➔ 5) y fibras de la sección(➔ 200).
4. Asignar masa/longitud adicional (➔ ninguna masa/longitud se asigna);
5. Defina el amortiguamiento especifico del material (ningún amortiguamiento específico se aplica, los que significa que se usará el amortiguamiento definido en los Ajustes de Proyecto)



Definición de las Clases de Elementos (Columna)

Repita el mismo procedimiento para crear una clase correspondiente al elemento viga.

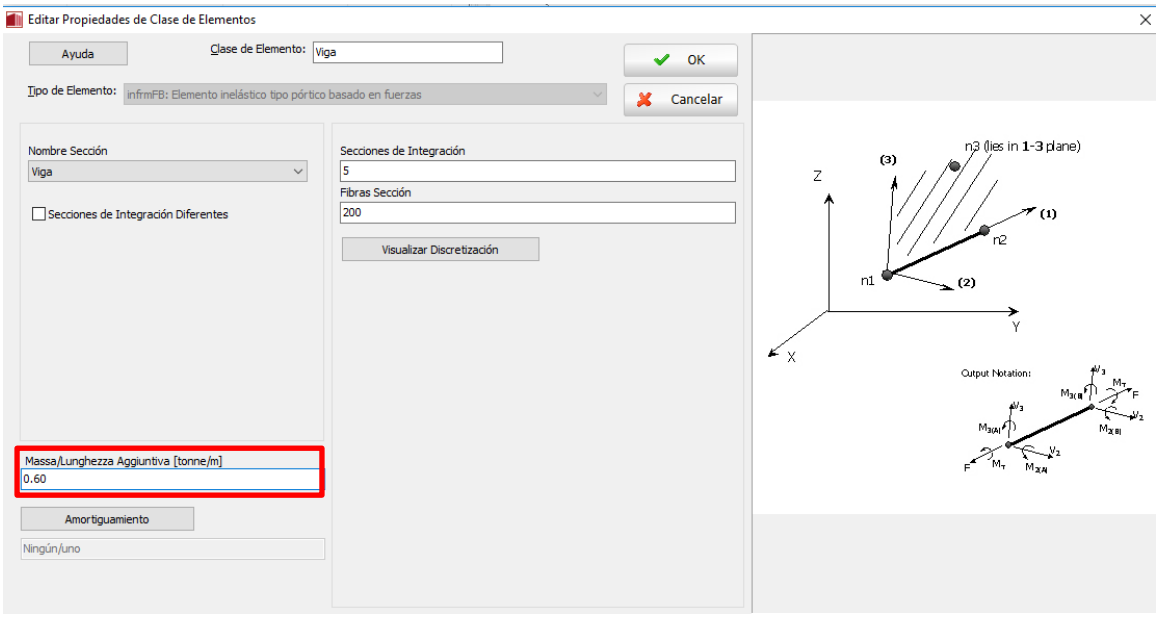


Definición de las Clases de Elementos (Viga)

Para tomar en cuenta la carga vertical actuando en los elementos de viga, puede asignar una masa/longitud adicional a la clase de elemento viga. Para este tutorial asumamos un valor de 0.6 ton/m.

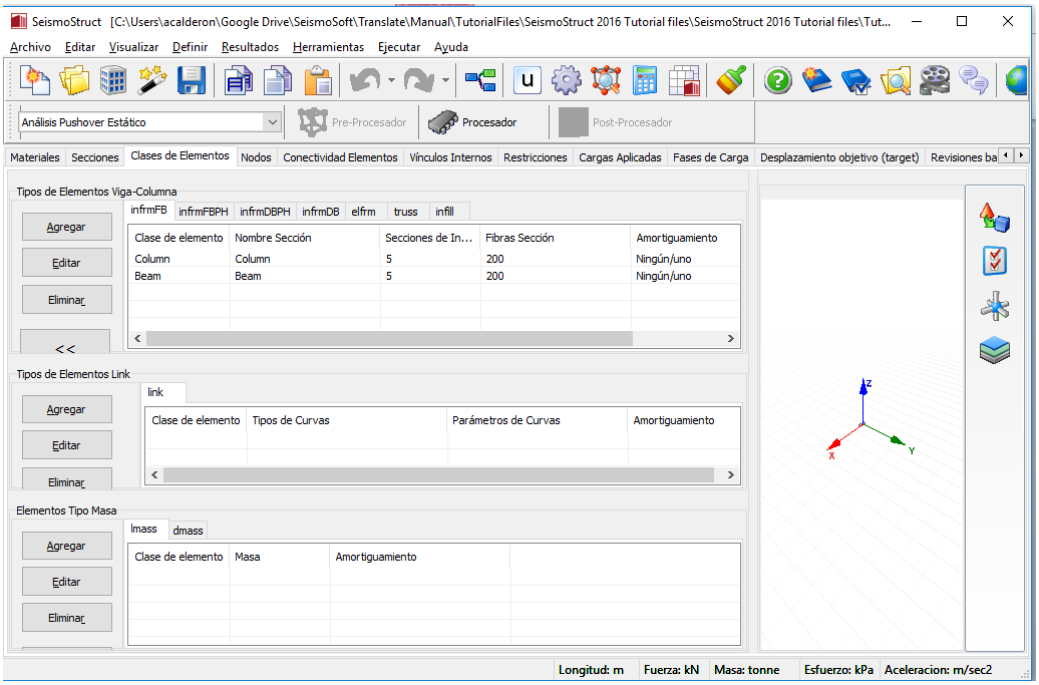
NOTA 1: La masa adicional por unidad de longitud sólo será convertida en cargas si se ha seleccionado la opción "*Transformar Automáticamente las Masas en Cargas Gravitatorias*" en el panel de Ajustes de Proyecto (Ajustes de Proyecto -> Gravedad & Masa). Debe notarse que, actualmente, estas cargas derivadas de la asignación de masas son transformadas internamente en fuerzas/momentos puntuales equivalentes aplicadas/os en los nodos extremos del elemento.

NOTA 2: La masa adicional por unidad de longitud también puede ser definida mediante un *elemento de masa distribuida*(dmass).



Clase de Elemento Viga (masa adicional)

Al finalizar, el módulo **Clases de Elementos** debe presentar el siguiente aspecto:



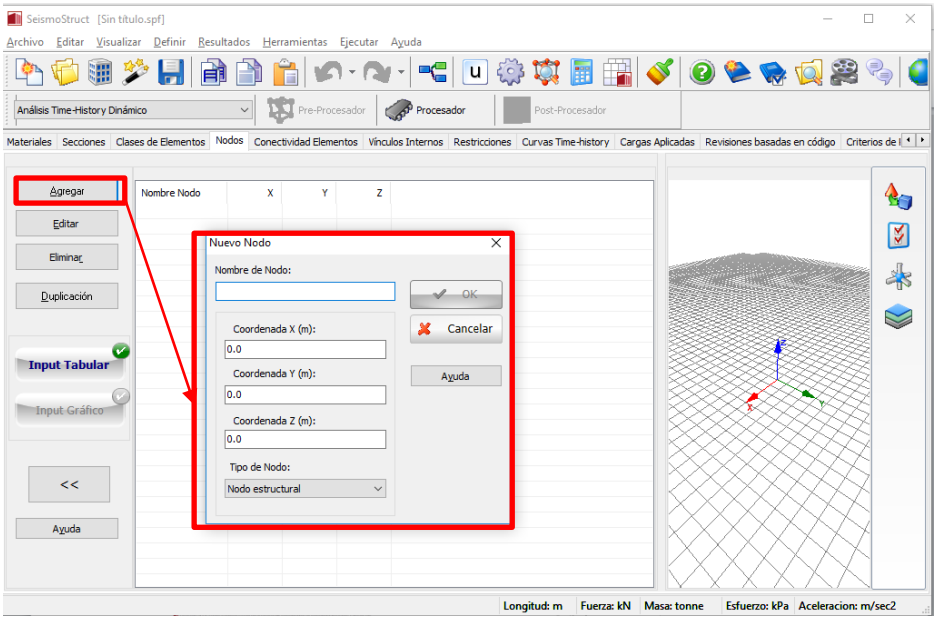
Módulo de Clases de Elementos

Pre-Procesador – Nodos

A esta altura es necesario definir la geometría de la estructura. Por lo tanto, diríjase al módulo **Nodos** para definir éstos.

NOTA: En este tutorial se definirá sólo un nodo estructural. Los nodos restantes serán generados mediante la función de *Duplicación*.

El primer nodo a definir será un **nodo estructural**. Haga clic sobre el botón *Agregar*. Luego, en la nueva ventana de diálogo (i) asigne el nombre del nodo (➔ N1), (ii) introduzca las coordenadas (➔ x=0, y=0, z=0) y (iii) seleccione el tipo de nodo en el menú desplegable (➔ nodo estructural).

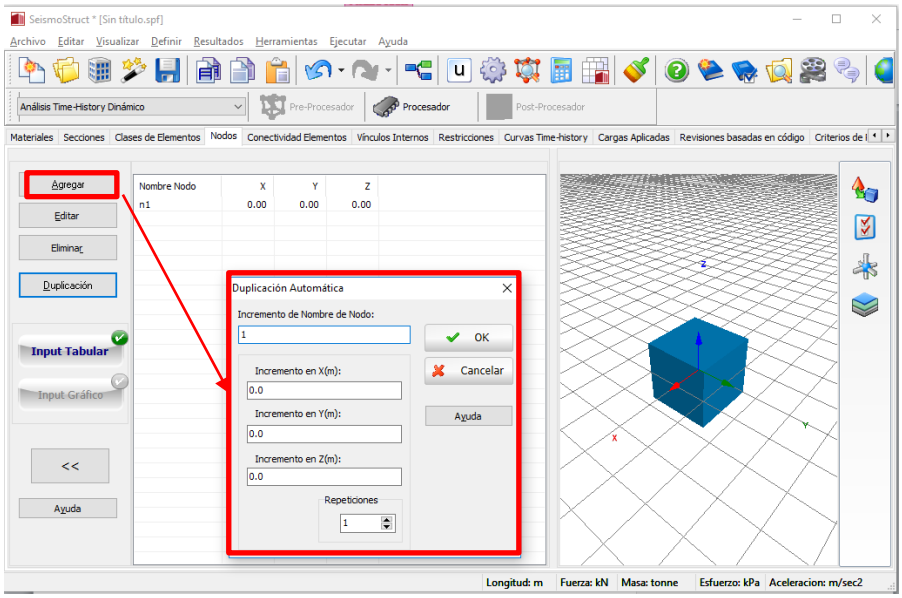


Módulo de Nodos y definición de nuevo nodo

Para crear los nodos restantes utilizando la función de *Duplicación*, deberá:

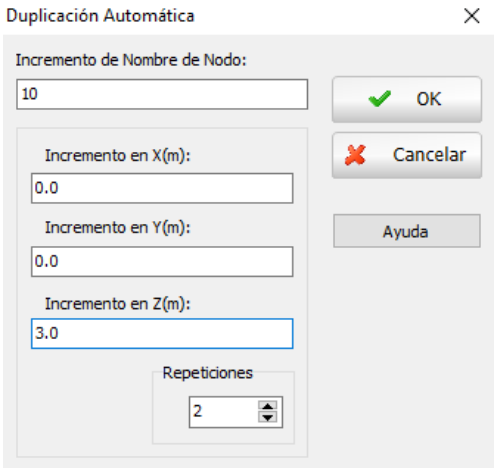
1. Seleccionar el nodo que acaba de definir (➔ 1);
2. Hacer clic sobre el botón *Duplicación*;
3. Especificar el incremento para el nombre de los nodos (➔ 1);
4. Indicar el incremento (➔ 4) en la dirección correcta (➔ incremento en X);
5. Definir el número de repeticiones (➔ 3).

Al finalizar este procedimiento habrá obtenido todos los nodos de la base con Y = 0 (ver imagen siguiente).



Herramienta de Incremento

Ahora, con el fin de duplicar los nodos en la dirección Z, (i) seleccione los nodos que acaba de definir, (ii) haga clic nuevamente sobre el botón *Duplicación*, (iii) especifique el incremento para el nombre de los nodos (➔ 10), (iv) indique el incremento (➔ 3) en la dirección Z, (v) defina el número de repeticiones (➔ 2).

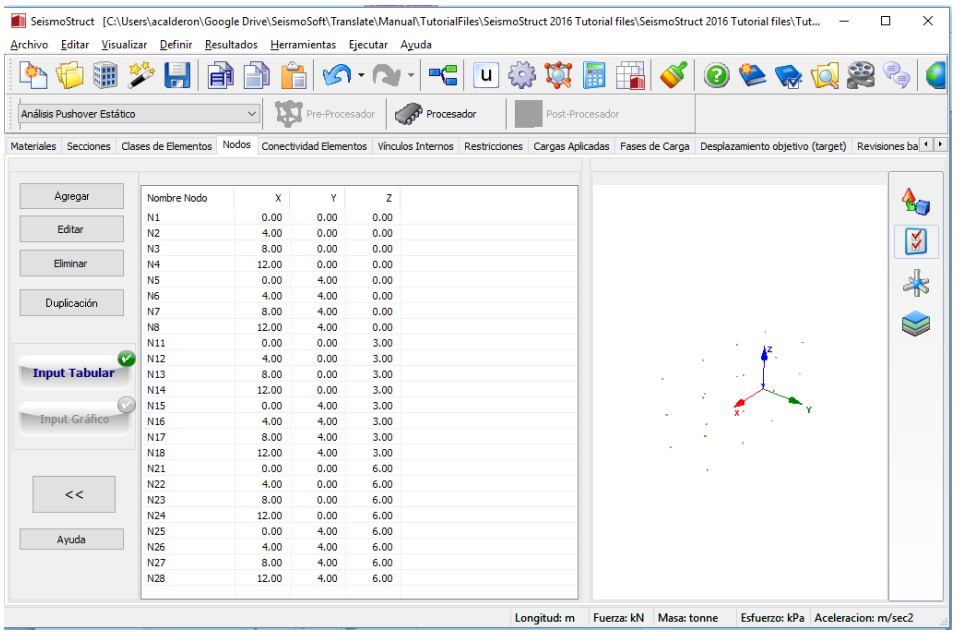


Incremento en la dirección Z

Repita los pasos anteriores para definir los nodos restantes. La tabla siguiente resume las coordenadas de todos los nodos estructurales:

Nombre Nodo	X	Y	Z	Tipo
N1	0	0	0	estructural
N2	4	0	0	estructural
N3	8	0	0	estructural
N4	12	0	0	estructural
N11	0	0	3	estructural
N12	4	0	3	estructural

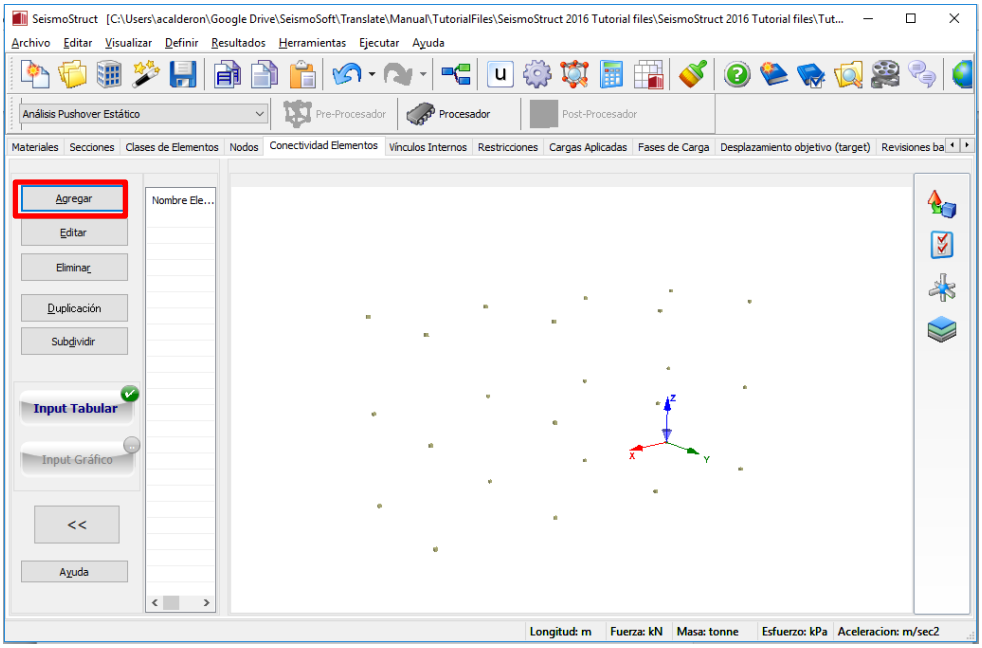
Nombre Nodo	X	Y	Z	Tipo
N13	8	0	3	estructural
N14	12	0	3	estructural
N21	0	0	6	estructural
N22	4	0	6	estructural
N23	8	0	6	estructural
N24	12	0	6	estructural
N5	0	4	0	estructural
N6	4	4	0	estructural
N7	8	4	0	estructural
N8	12	4	0	estructural
N15	0	4	3	estructural
N16	4	4	3	estructural
N17	8	4	3	estructural
N18	12	4	3	estructural
N25	0	4	6	estructural
N26	4	4	6	estructural
N27	8	4	6	estructural
N28	12	4	6	estructural



Nodos estructurales

Pre-Procesador – Conectividad Elementos

Ahora, diríjase al módulo **Conectividad Elementos** para agregar los elementos estructurales (columnas y vigas). Haga clic sobre el botón *Agregar* para definir una columna.

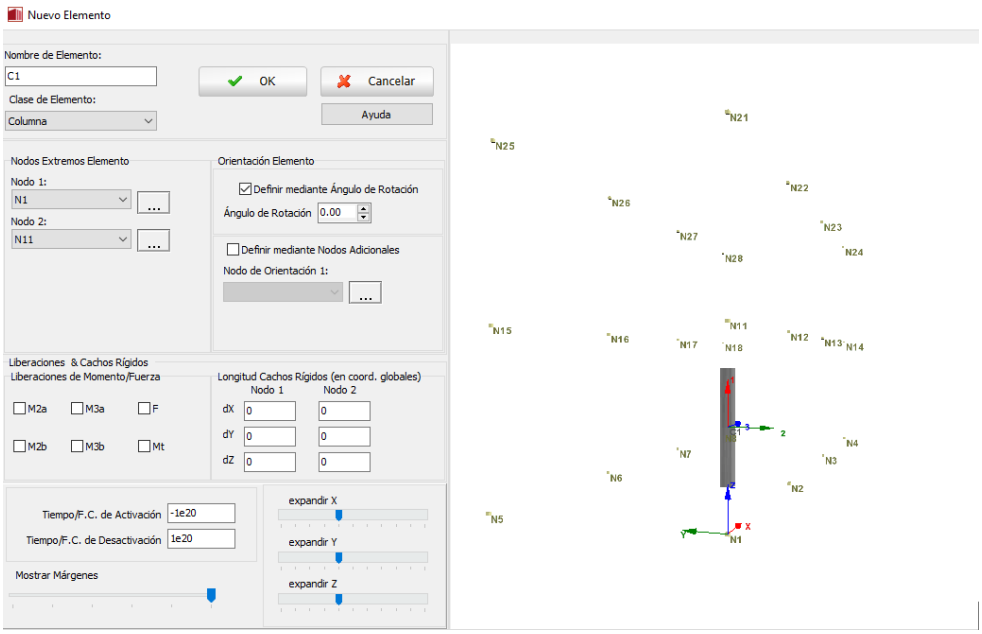


Módulo Conectividad Elementos

En la ventana de diálogo *Nuevo Elemento* debe:

1. Asignar el nombre del elemento (➔ C1);
2. Seleccionar la clase de elemento en el menú desplegable (➔ Columna);
3. Seleccionar, respectivamente, el primer nodo (estructural) (➔ N1), el segundo nodo (estructural) (➔ N11) y la orientación del elemento (definiendo un ángulo de rotación igual a 0 ➔ opción por defecto), como se muestra en la siguiente imagen.

NOTA: En este tutorial hará uso del modo *Input Tabular* en lugar del modo *Input Gráfico* para generar los elementos.



Definición de un nuevo elemento

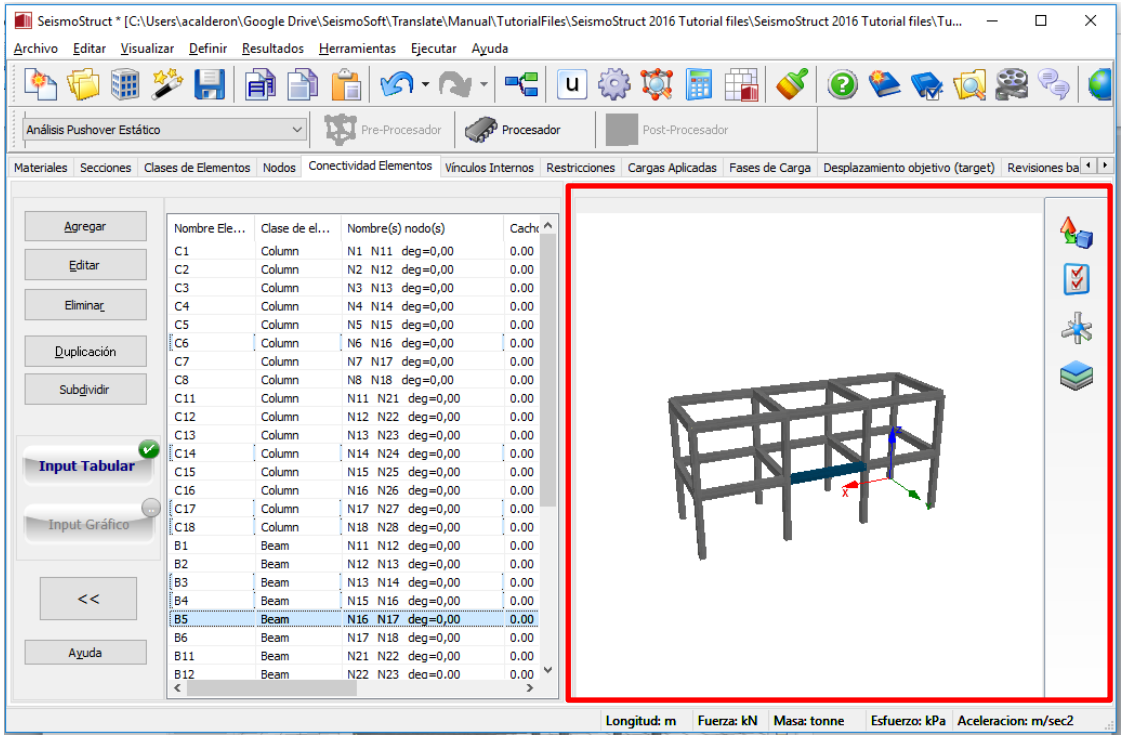
Repita el procedimiento descrito anteriormente para definir todos los elementos restantes.

NOTA: Como para el caso de los nodos, puede hacer uso de la función de *Duplicación* para generar los nuevos elementos.

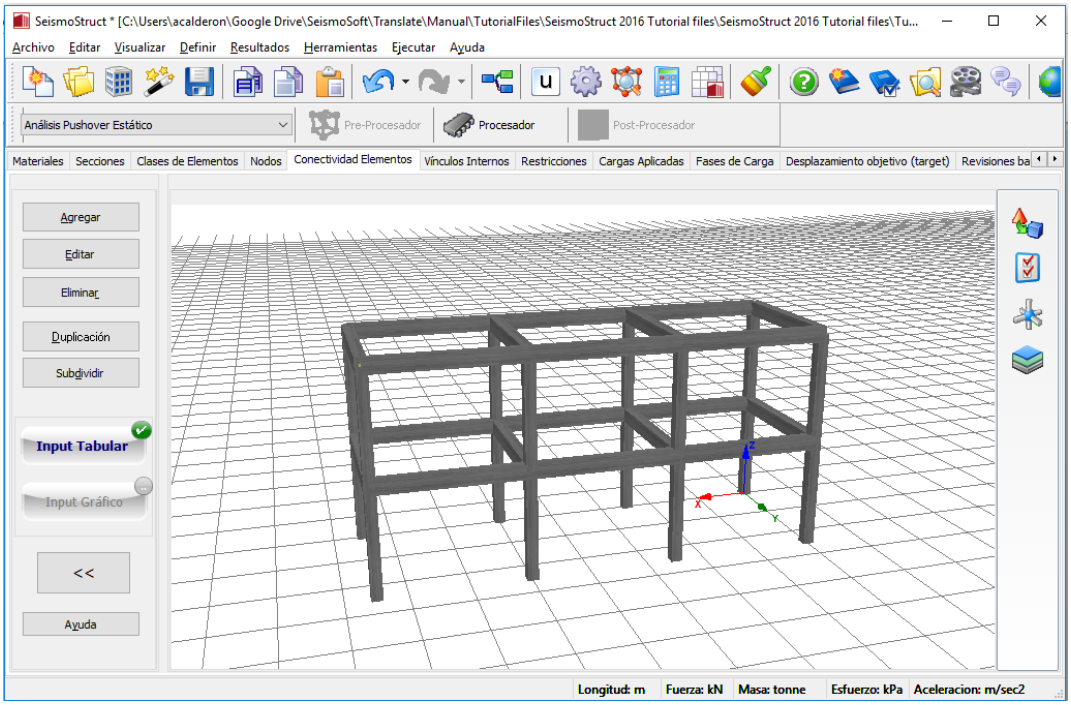
La siguiente tabla contiene un resumen de todos los elementos utilizados en el modelo:

Nombre Elemento	Clase Elemento	Nodos
C1	Columna	N1 N11 rot=0.0
C2	Columna	N2 N12 rot=0.0
C3	Columna	N3 N13 rot=0.0
C4	Columna	N4 N14 rot=0.0
C5	Columna	N5 N15 rot=0.0
C6	Columna	N6 N16 rot=0.0
C7	Columna	N7 N17 rot=0.0
C8	Columna	N8 N18 rot=0.0
C11	Columna	N11 N21 rot=0.0
C12	Columna	N12 N22 rot=0.0
C13	Columna	N13 N23 rot=0.0
C14	Columna	N14 N24 rot=0.0
C15	Columna	N15 N25 rot=0.0
C16	Columna	N16 N26 rot=0.0
C17	Columna	N17 N27 rot=0.0
C18	Columna	N18 N28 rot=0.0
B1	Viga	N11 N12 rot=0.0
B2	Viga	N12 N13 rot=0.0
B3	Viga	N13 N14 rot=0.0
B4	Viga	N15 N16 rot=0.0
B5	Viga	N16 N17 rot=0.0
B6	Viga	N17 N18 rot=0.0
B11	Viga	N21 N22 rot=0.0
B12	Viga	N22 N23 rot=0.0
B13	Viga	N23 N24 rot=0.0
B14	Viga	N25 N26 rot=0.0
B15	Viga	N26 N27 rot=0.0
B16	Viga	N27 N28 rot=0.0
B7	Viga	N11 N15 rot=0.0
B8	Viga	N12 N16 rot=0.0
B9	Viga	N13 N17 rot=0.0
B10	Viga	N14 N18 rot=0.0
B17	Viga	N21 N25 rot=0.0
B18	Viga	N22 N26 rot=0.0
B19	Viga	N23 N27 rot=0.0
B20	Viga	N24 N28 rot=0.0

A esta altura, toda la estructura ha sido definida y es posible visualizarla en la ventana del *Modelo 3D* (sobre la derecha de la pantalla). El modelo puede ahora ser verificado utilizando el zoom, rotándolo, moviéndolo, etc.



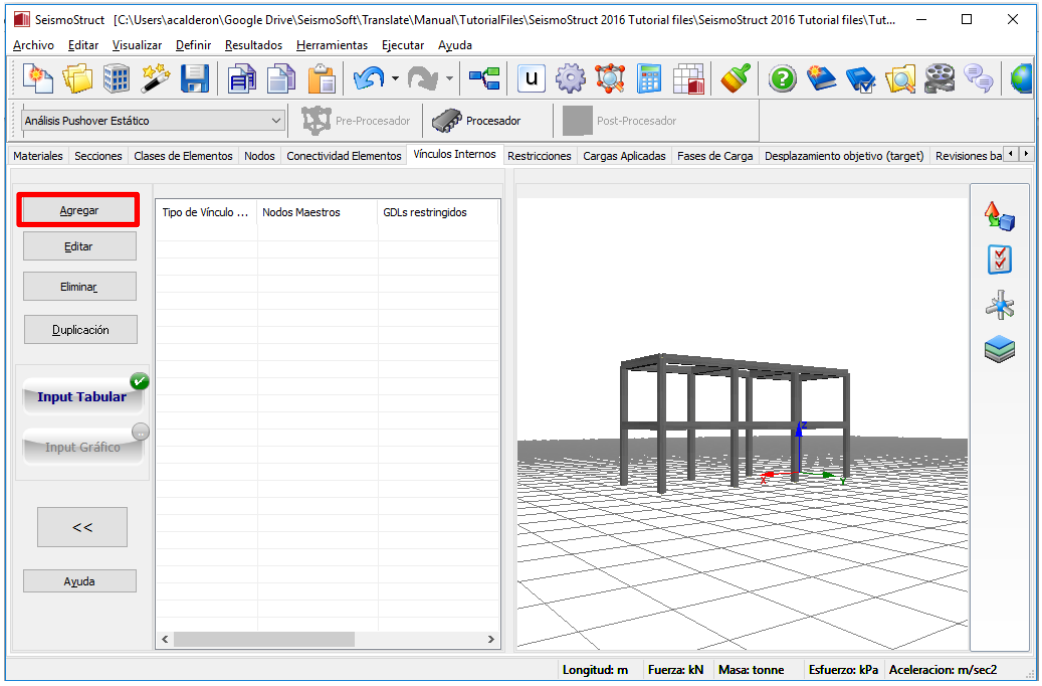
Ventana de Modelo 3D



Ventana del Modelo 3D (pantalla completa)

Pre-Procesador –Vínculos Internos

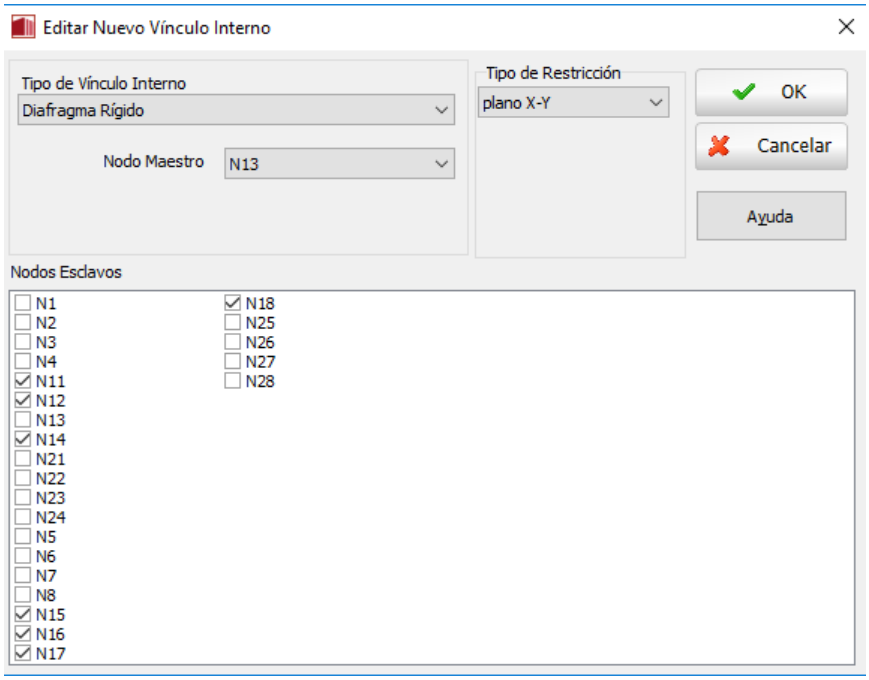
A continuación es necesario definir las condiciones de vínculo interno de la estructura, para lo cual serán creados dos diafragmas rígidos. Para ello, diríjase al módulo Vínculos Internos y haga clic sobre el botón Agregar.



Módulo de Vínculos Internos

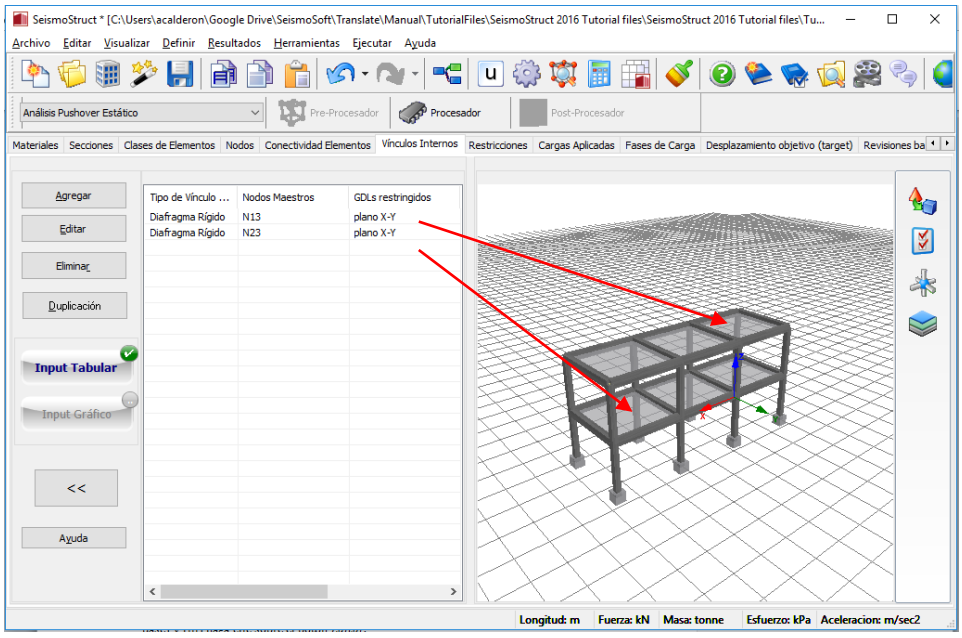
Aparecerá una ventana de diálogo, en la cual deberá:

1. Seleccionar el tipo de vínculo en el menú desplegable (➔ diafragma rígido);
2. Seleccionar la condición de vínculo (➔ plan X-Y);
3. Escoger el nodo maestro asociado en el menú desplegable (➔ N13);
4. Seleccionar los nodos esclavos marcando las casillas correspondientes.



Ventana Nueva Restricción Interna de Vínculo

Repita el mismo procedimiento para definir el diafragma rígido del segundo nivel. Al finalizar, el módulo **Vínculos Internos** tendrá la siguiente apariencia:

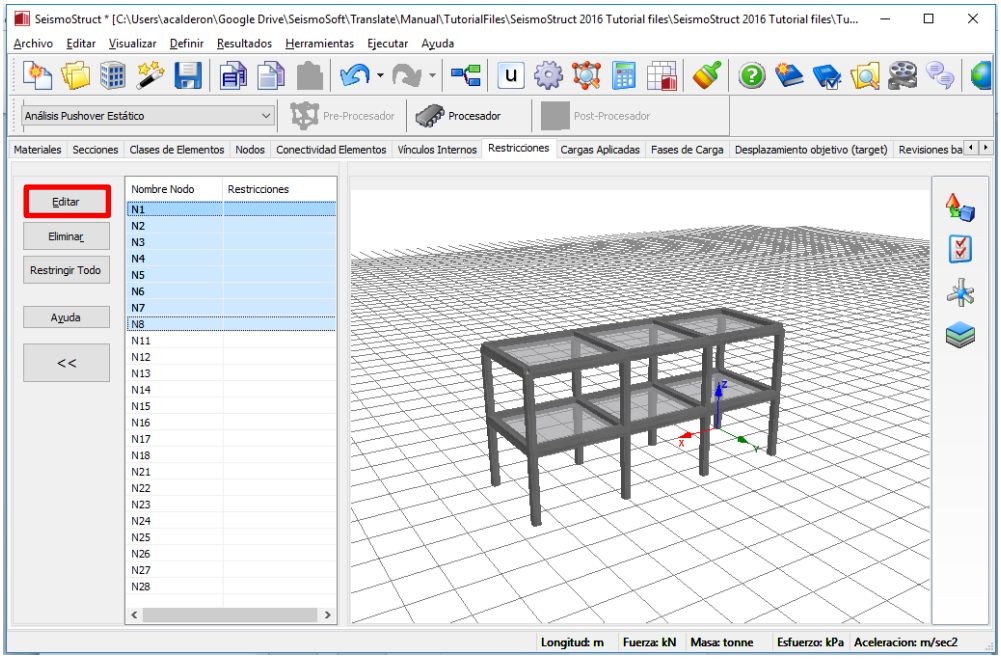


Vínculos Internos

NOTA: Al igual que para el caso de los nodos y elementos, puede hacer uso de la función de *Duplicación* para generar el nuevo diafragma rígido.

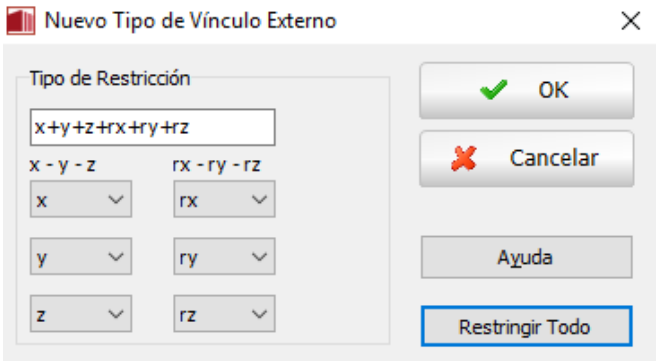
Pre-Procesador –Vínculos Externos

El último paso relacionado con la "geometría estructural" es la definición de las condiciones de vínculo externo. En este tutorial se requiere fijar por completo los nodos de la base de la estructura. Para esto, (i) diríjase al módulo **Vínculos Externos**, (ii) seleccione los nodos que desea restringir (-> nodos de la base) y (iii) haga clic sobre el botón *Editar*.



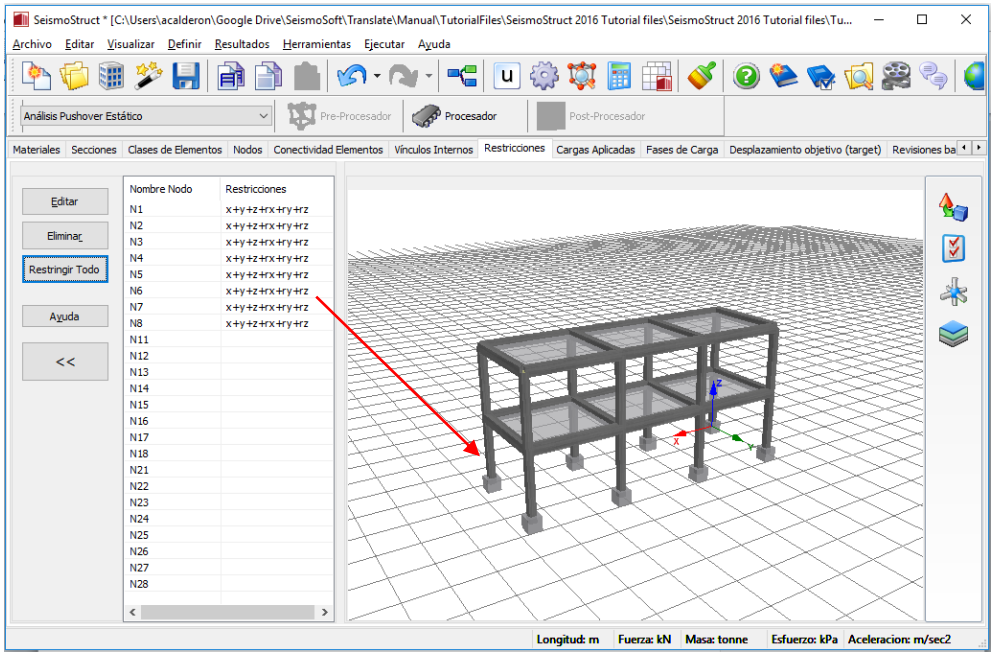
Módulo de Vínculos Externos

En la nueva ventana, haga clic sobre el botón *Restringir Todo*.



Ventana Nueva Restricción Externa de Vínculo

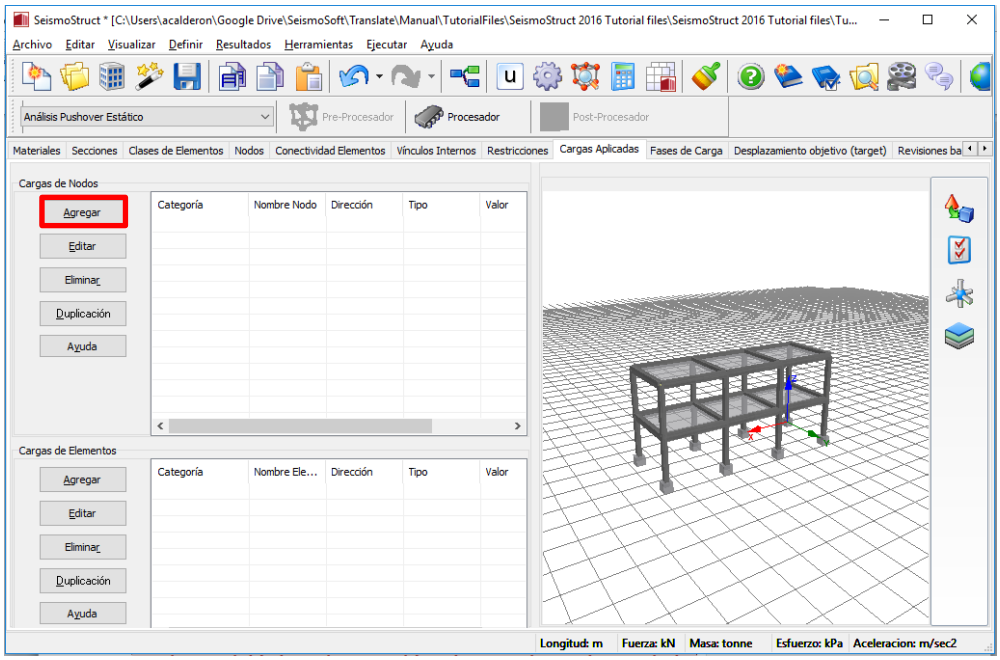
El módulo **Vínculos Externos** se verá de la siguiente forma:



Vínculos Externos

Pre-Procesador – Cargas Aplicadas

Dado que en este tutorial se requiere llevar a cabo un análisis de pushover, es necesario aplicar las cargas apropiadas. Para ello, diríjase al módulo **Condiciones de Carga** y haga clic sobre el botón *Agregar*.

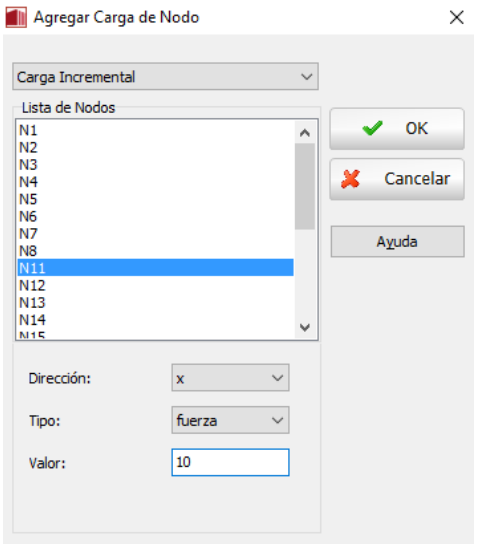


Módulo de Cargas Aplicadas

En la nueva ventana de diálogo debe:

1. Seleccionar la categoría de carga en el menú desplegable (➔ Carga Incremental);
2. Especificar el nodo sobre el cual se desea aplicar la carga (➔ N11);

3. Seleccionar la dirección de la carga en el menú desplegable (➔ X);
4. Seleccionar el tipo de carga en el menú desplegable (➔ fuerza);
5. Especificar el valor nominal (➔ 10).



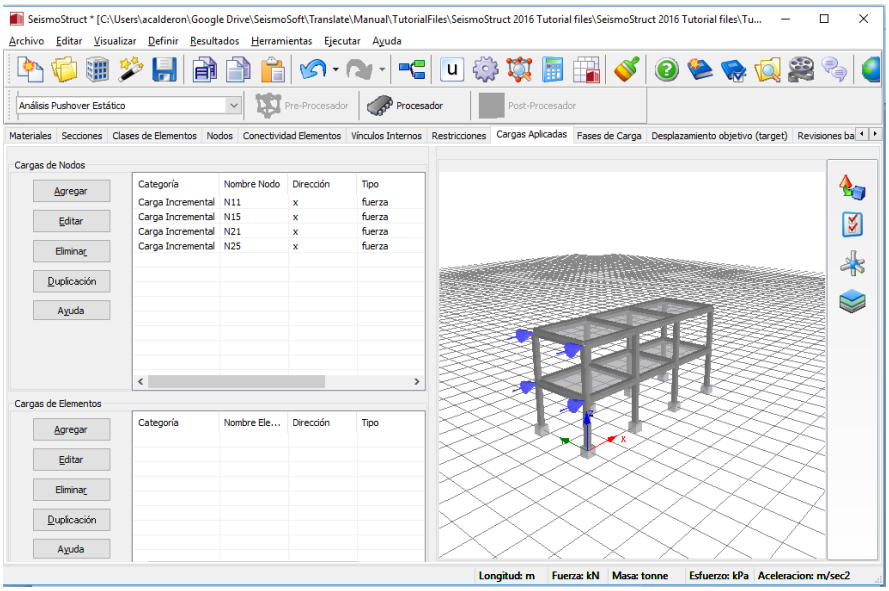
Ventana de carga nodal aplicada

Repita el mismo procedimiento para aplicar las cargas incrementales restantes.

¡RECUERDE! La magnitud de la carga en cualquier incremento del análisis está dada por el producto de su valor nominal, definido por el usuario, y el factor de carga actual, que puede ser actualizado automáticamente o según una distribución definida por el usuario.

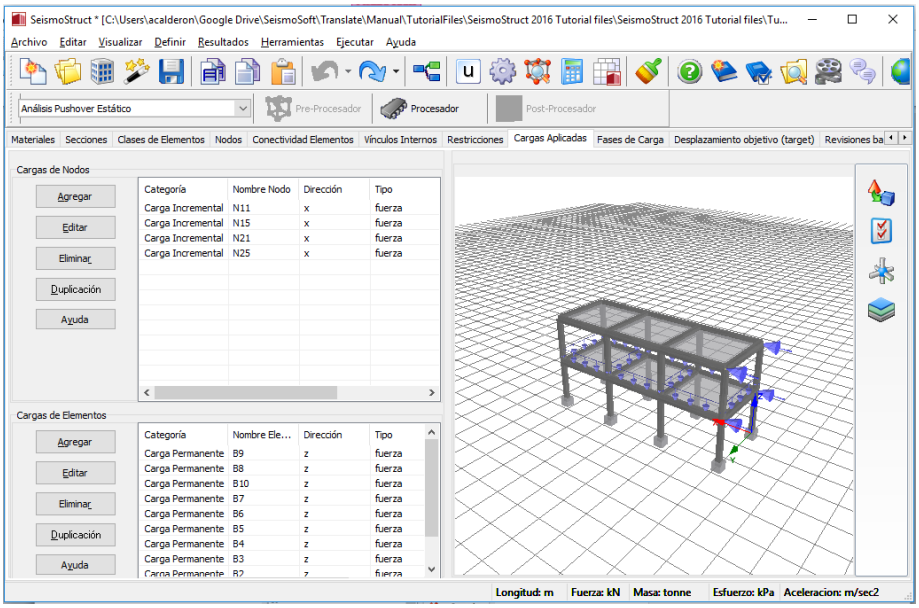
La siguiente tabla resume las cargas incrementales aplicadas sobre la estructura:

Categoría	Nombre Nodo	Dirección	Tipo	Valor
Carga Incremental	N11	x	fuerza	10
Carga Incremental	N15	x	fuerza	10
Carga Incremental	N21	x	fuerza	20
Carga Incremental	N25	x	fuerza	20



Cargas Incrementales

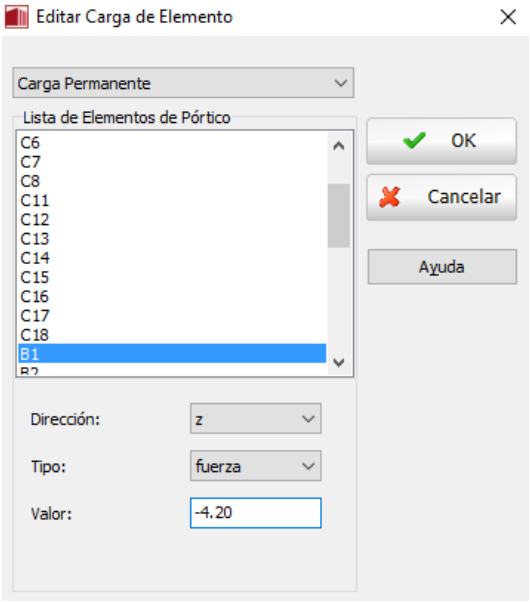
A partir de SeismoStruct v7.0 en adelante el usuario puede aplicar la carga distribuida en elementos en el módulo de **Cargas Aplicadas** haciendo clic en el botón*Agregar* para Cargas de Elementos.



Módulo de Cargas Aplicadas

El usuario debe:

1. Especificar el elemento asociado (➔ B1);
2. Seleccionar la dirección de la carga del menú desplegable (➔ Z);
3. Seleccionar el tipo de carga del menú desplegable (➔fuerza);
4. Especifique el valor nominal (➔ -4.2).

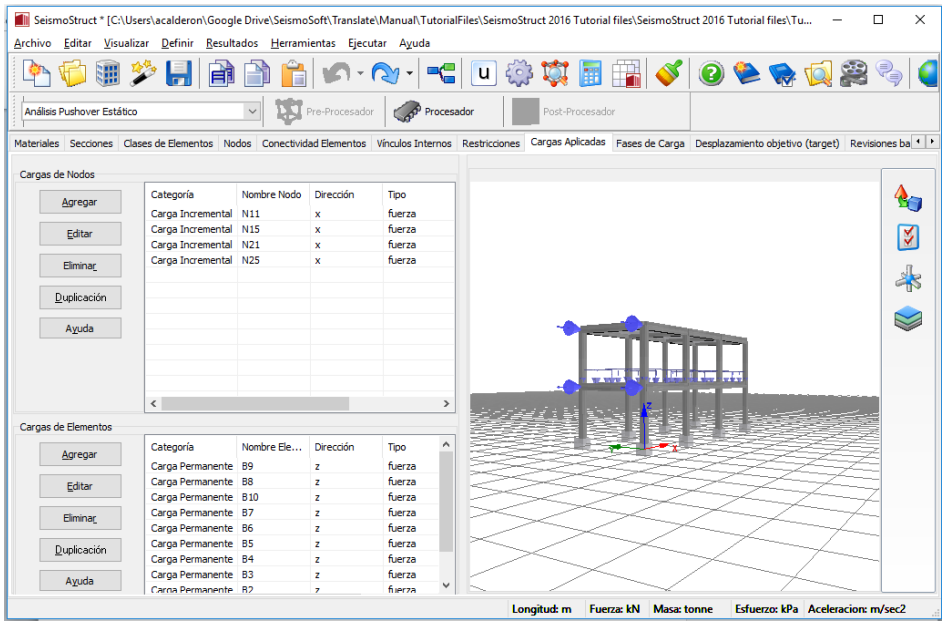


Ventana de Carga Aplicada en Elemento

Repita el mismo procedimiento para aplicar otras cargas en elementos.

En la tabla siguiente se resumen todas las cargas:

Nombre de Elemento	Dirección	Tipo	Valor
B1	z	fuerza	-4.2
B2	z	fuerza	-4.2
B3	z	fuerza	-4.2
B4	z	fuerza	-4.2
B5	z	fuerza	-4.2
B6	z	fuerza	-4.2
B7	z	fuerza	-4.2
B10	z	fuerza	-4.2
B8	z	fuerza	-2.1
B9	z	fuerza	-2.1

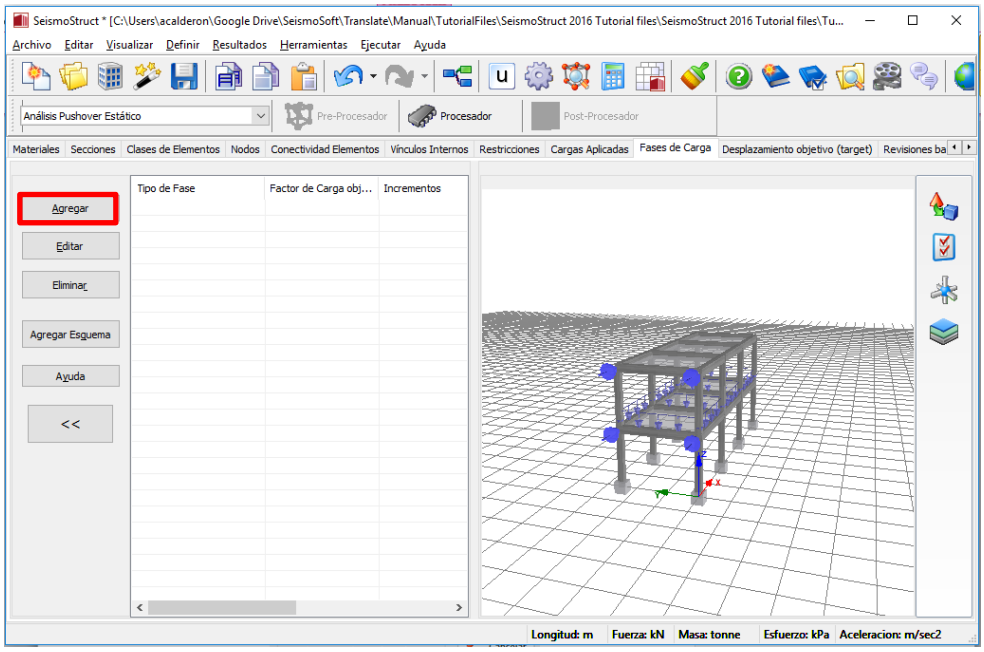


Cargas Aplicadas

NOTA: Debe recordarse que si ha sido seleccionado en los ajustes de Gravedad y Masa (Ajustes de proyecto -> Gravedad & Masa) transformar masas en cargas, la masa distribuida del elemento marco se transformará en cargas distribuidas del elemento.

Pre-Procesador – Fases de Carga

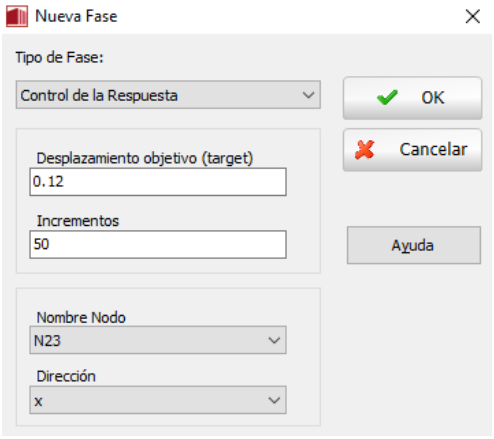
La estrategia de carga adoptada en el análisis de pushover es definida por completo en el módulo Fases de Carga. En este tutorial se definirá una fase del tipo Control de la Respuesta. Para ello, haga clic sobre el botón Agregar.



Módulo de Fases de Carga

Luego, en la nueva ventana de diálogo debe:

1. Seleccionar el tipo de fase del menú desplegable (➔ Control de la Respuesta);
2. Especificar el desplazamiento objetivo (target) (➔ 0.12);
3. Asignar el número de incrementos (➔ valor por defecto (50));
4. Seleccionar el nombre del nodo de control en el menú desplegable (➔ N23);
5. Seleccionar la dirección en el menú desplegable (➔ X).



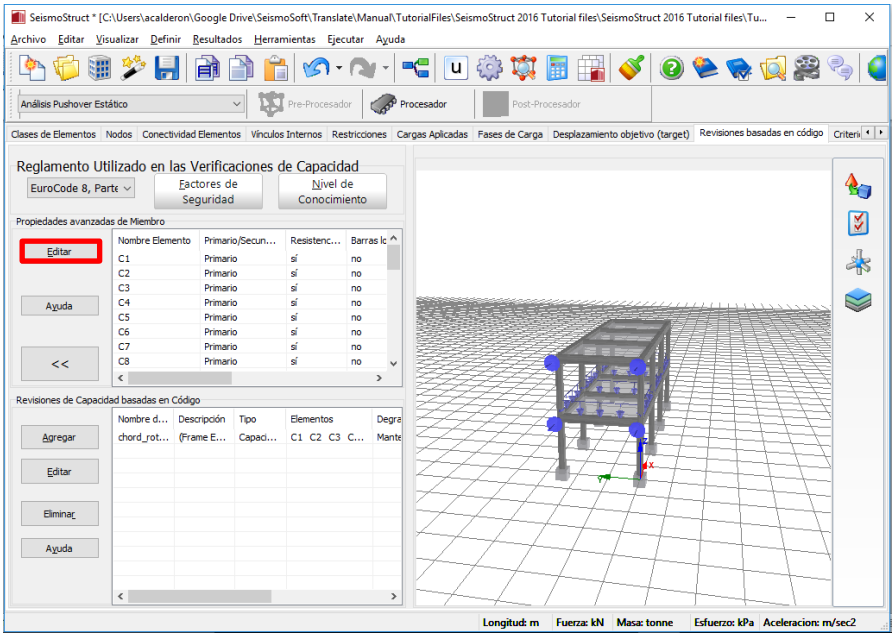
Ventana de Nueva Fase

Pre-Procesador – Desplazamiento Objetivo

En este tutorial no se seleccionará la opción del cálculo de Desplazamiento Objetivo.

Pre-Procesador – Revisiones Basadas en Código

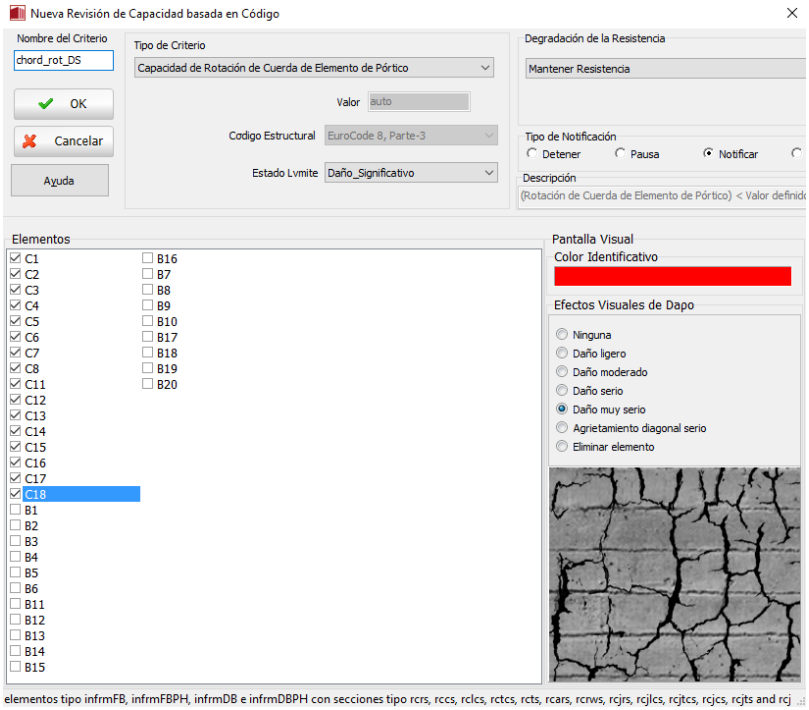
Una revisión basada en código relacionada a la capacidad de rotación de cuerda de todos los elementos para el límite de Daño Significativo se llevará a cabo. Para poder hacerlo, debe ir al módulo de **Revisiones Basadas en Código,** seleccionar el código a utilizar, definir los Factores de Seguridad y el Nivel de Conocimiento alcanzado, modificar las Propiedades Avanzadas de Miembro y hacer clic en el botón de *Agregar* para agregar la revisión.



Módulo de Revisiones Basadas en Código

Luego, en la nueva ventana debe:

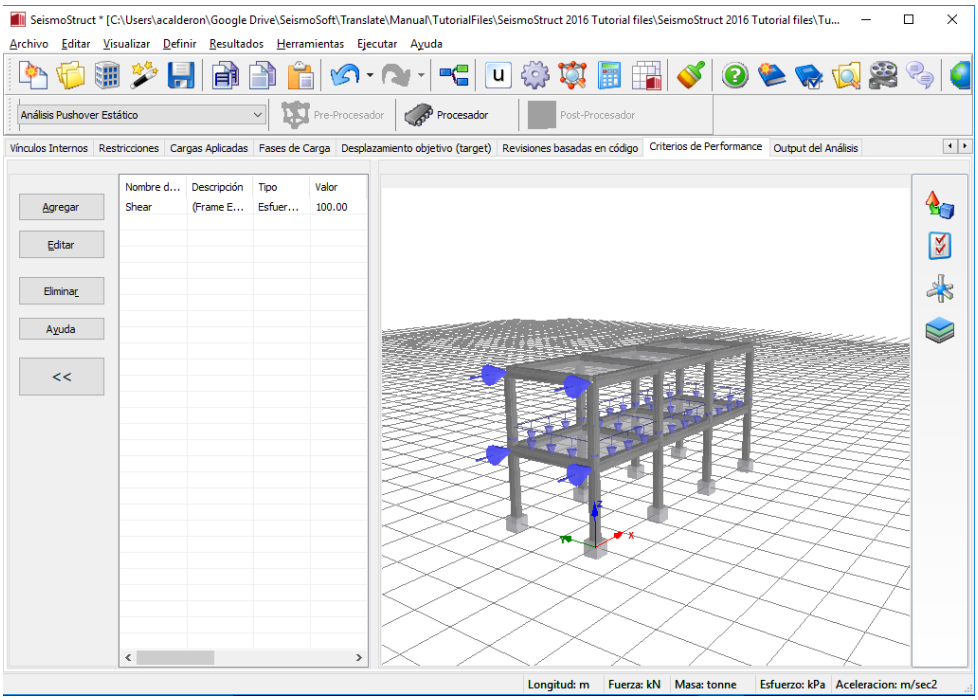
1. Asignar el nombre de la Revisión Basada en Código (➔ chord_rot_SD);
2. Seleccionar el tipo de Revisión Basada en Código (➔Capacidad de Rotación de Cuerda de Elemento Marco) del menú desplegable;
3. Especificar el estado límite (➔Daño_Significativo);
4. Seleccionar, marcado los checkboxes correspondientes, los elementos que deberán revisarse;
5. Definir la Degradación de Capacidad o Resistencia para la cual se alcanzará el criterio(➔Mantener Resistencia);
6. Indicar el tipo de acción (➔Notificar);
7. Seleccione el Identificador de Color y los efectos Visuales de Daño para permitir la visualización gráfica en el módulo de **Visualizador de Deformada** en el Post-Procesador.



Nueva ventana de Revisión de Capacidad Basada en Código

Pre-Procesador – Criterios de Desempeño

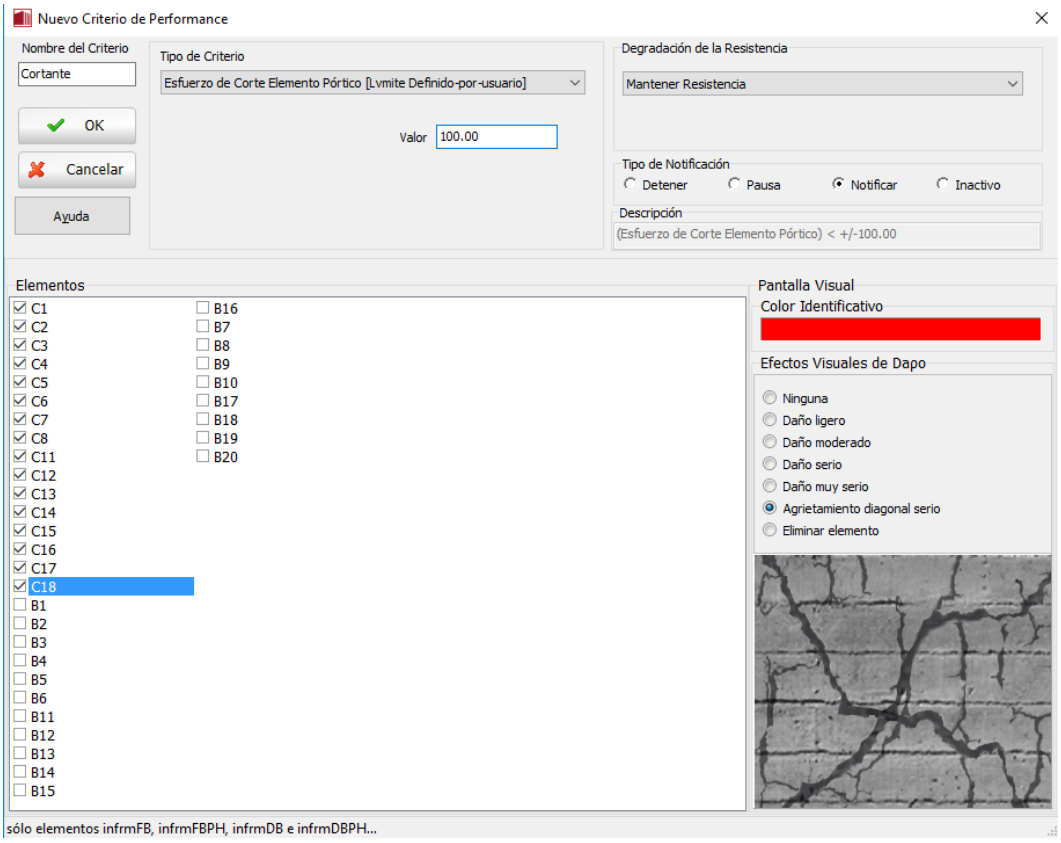
En este tutorial se desea también definir un criterio de performance basado en el corte de las columnas. Para ello, diríjase al módulo **Criterios de Desempeño** y haga clic sobre el botón *Agregar*.



Módulo de Criterios de Desempeño

En la nueva ventana debe:

1. Asignar un nombre al criterio (➔ Corte);
2. Seleccionar el tipo de criterio (➔ esfuerzo de corte elemento pórtico) en el menú desplegable;
3. Especificar el valor para el cual el criterio es alcanzado (➔ 100);
4. Seleccionar los elementos sobre los cuales el criterio debe ser aplicado, marcando las casillas correspondientes;
5. Definir el valor para el cual la Degradación de Resistencia es alcanzado (➔ Keep Strength);
6. Indicar el tipo de acción (➔ Notificar).
7. Seleccionar el identificador por color y el efecto visual de año para permitir la visualización gráfica en el módulo de **Visualizador de Deformada del** Post-Procesador.

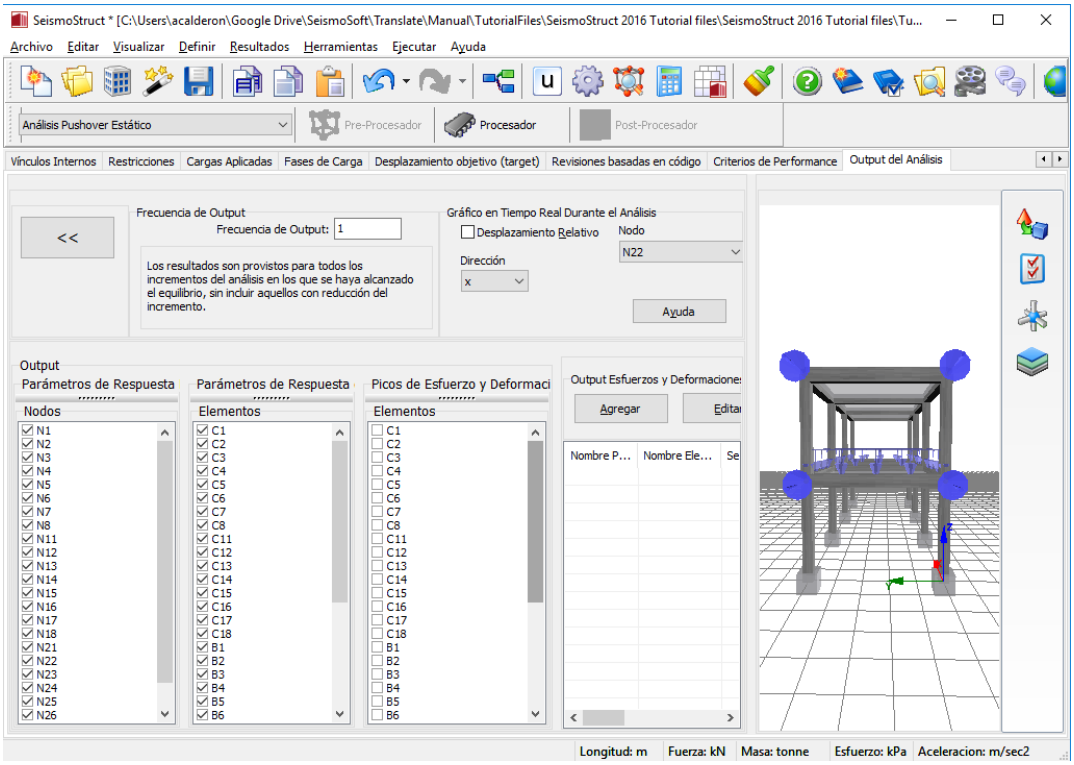


Ventana de Nuevo Criterio de Desempeño

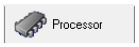
NOTA: Notese que una gran variedad de criterios de desempeño puede definirse, incluyendo criterios de deformación de materiales (agrietamiento y desmoronamiento del recubrimiento de concrento, aplastamiento del núcleo, o cedencia y fractura del acero), criterios de curvatura de sección y rotaciones de cuerda y rotación de cuerda y revisiónes por cortante.

Pre-Procesador – Output de Análisis

Finalmente, antes de acceder al área de **Procesador,** debe definirse las preferencias de salida en el módulo de **Output de Análisis,** como se muestra en la siguiente figura.



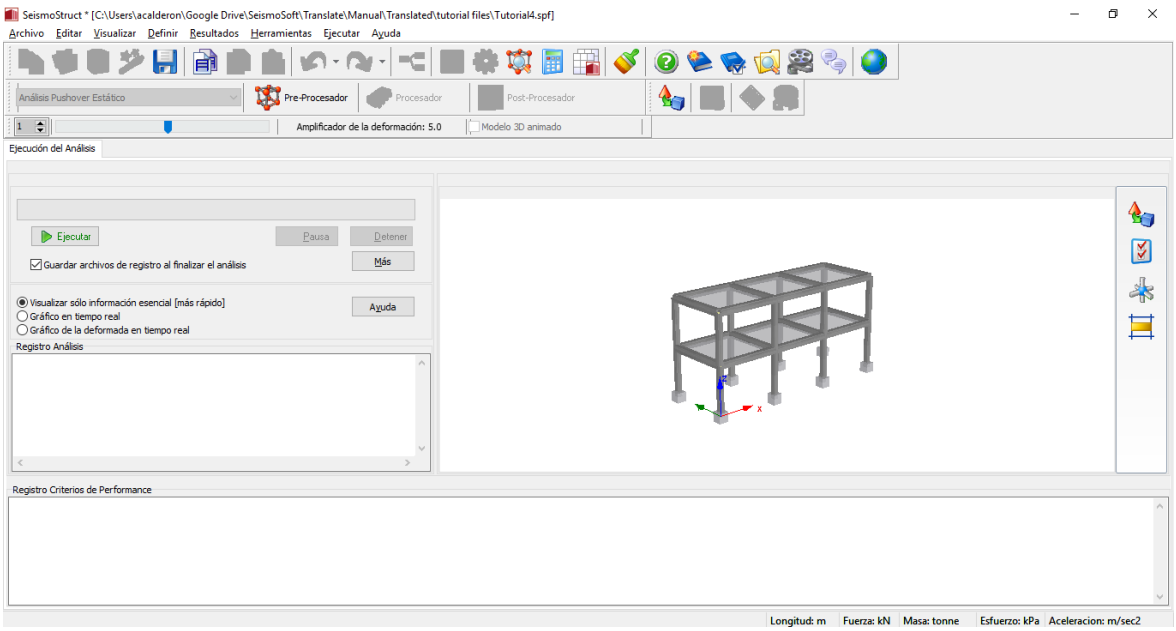
Módulo de Output de Análisis

Luego, haga clic en el botón 

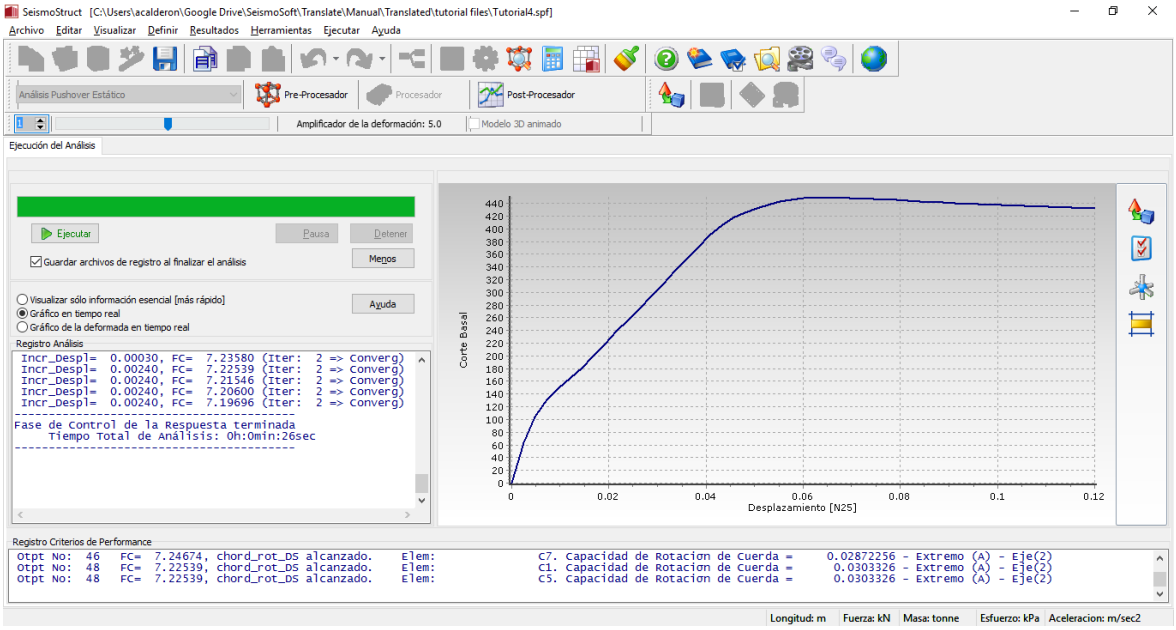
de la barra de herramientas o selección *Correr/Procesador* del menú principal.

Procesador

En el área del **Procesador** es posible comenzar el análisis. Para ello, haga clic sobre el botón *Ejecutar*.



Área del Procesador



Ejecución del Análisis

> **NOTA: Puede elegir una de las siguientes opciones gráficas: (i) visualizar sólo información esencial, (ii) gráfico en tiempo real (para este caso, corte basal vs. desplazamiento en la cima) y (iii) gráfico de la deformada en tiempo real. La primera es la opción más rápida.**

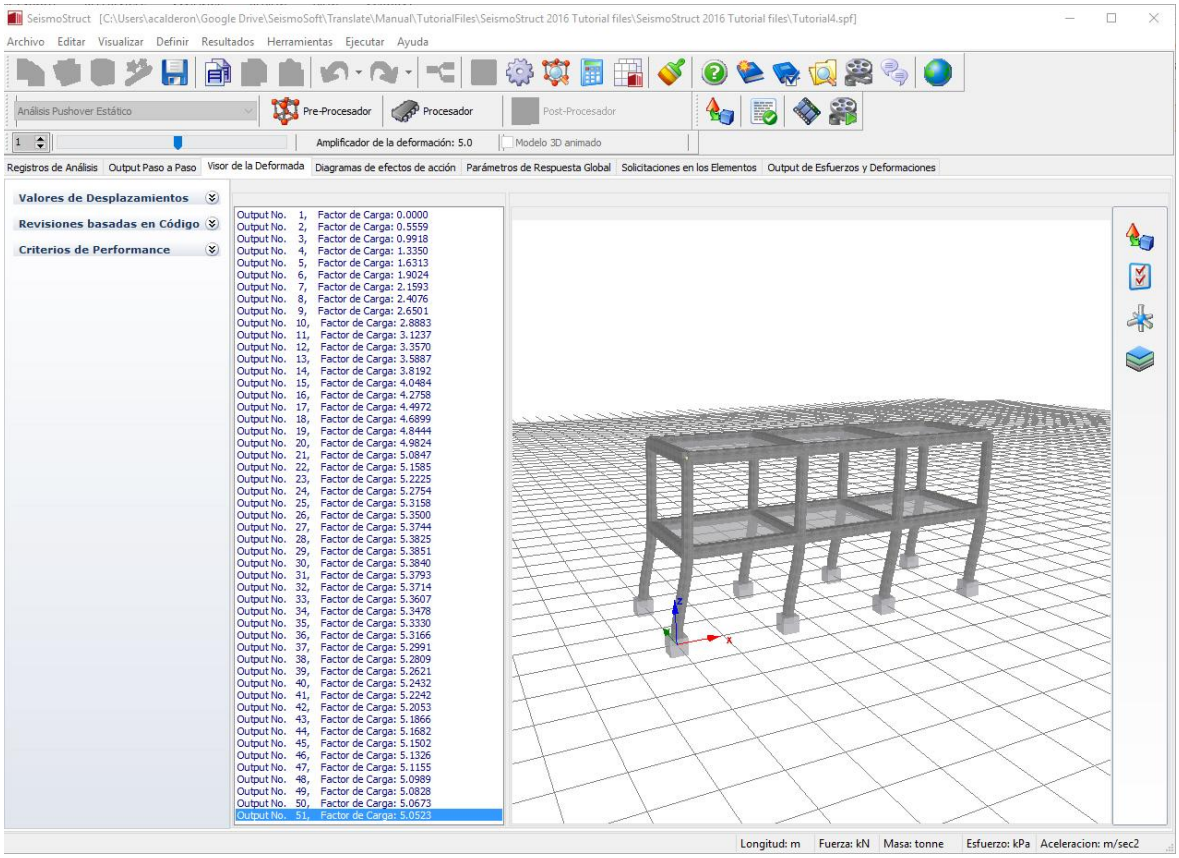
Una vez finalizado el análisis, haga clic sobre el botón 

de la barra de herramientas o seleccione *Ejecutar* > *Post-Procesador* en el menú principal.

Post-Procesador – Visor de la Deformada

El área del **Post-Procesador** se compone de una serie de módulos en los cuales es posible visualizar los resultados, ya sea en formato tabular o gráfico, y copiarlos a cualquier otra aplicación de Windows.

En el módulo **Visor de la Deformada** es posible visualizar la forma deformada del modelo en cada paso del análisis. Haga doble-clic sobre el identificador del output deseado para actualizar la imagen de la deformada (ver figura siguiente).



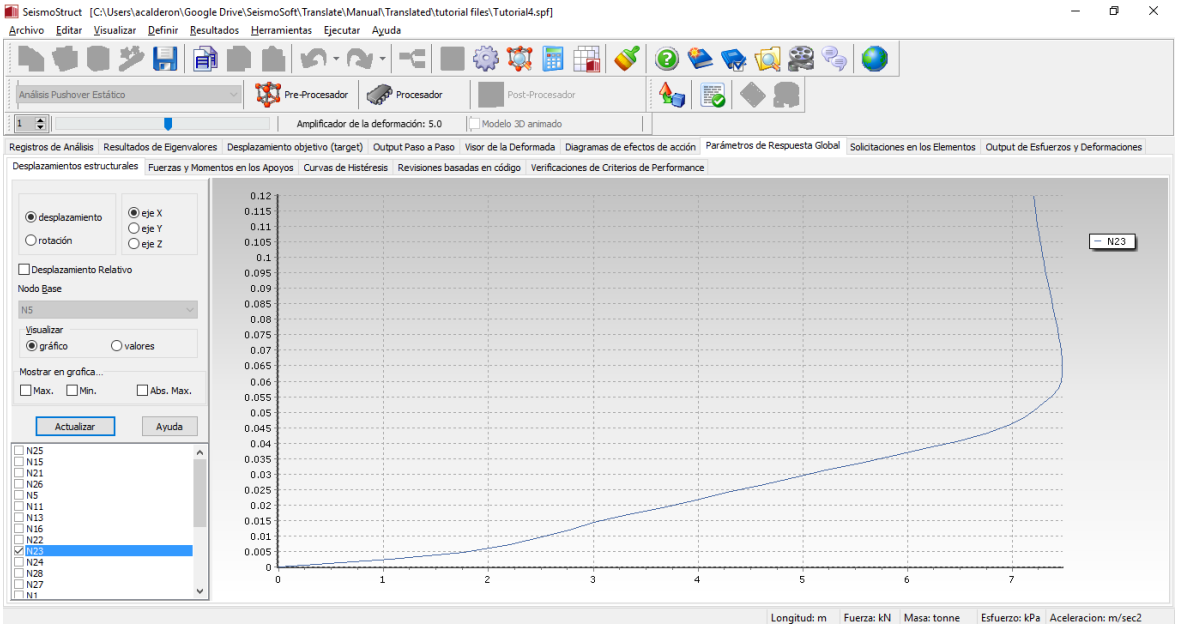
Módulo Visor de la Deformada

Post-Procesador – Parámetros de Respuesta Global

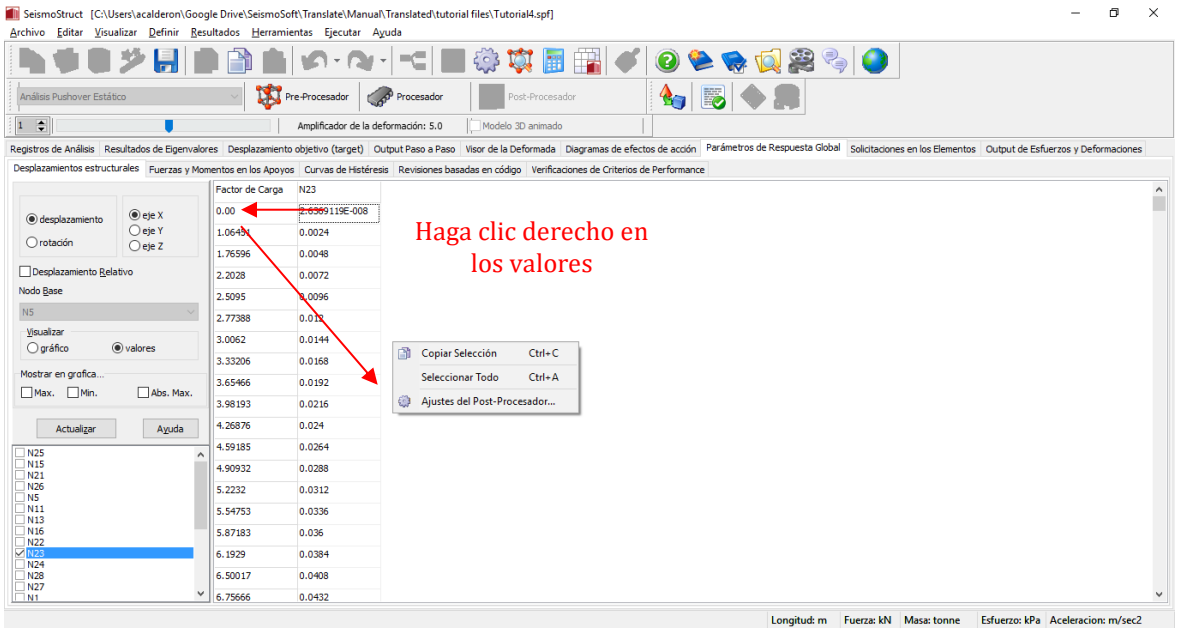
En el módulo **Parámetros de Respuesta Global** es posible obtener el output de los siguientes resultados: (i) desplazamientos estructurales, (ii) fuerzas y momentos en los apoyos y (iii) curvas histeréticas.

Primero, para visualizar los desplazamientos en la dirección X de un nodo en particular en la cima de la estructura, (i) haga clic sobre la pestaña *Desplazamientos Estructurales*, (ii) seleccione, respectivamente, *desplazamiento* y *eje x*, (iii) seleccione el nodo correspondiente de la lista (-> N23) marcando la casilla correspondiente, (iv) seleccione la forma de visualización de los resultados (*gráfico* o *valores*) y, finalmente, (v) haga clic sobre el botón *Actualizar*.

NOTA: Los resultados están definidos en el sistema de coordenadas globales y pueden ser exportados a una planilla de Excel (o similar) como se muestra a continuación.

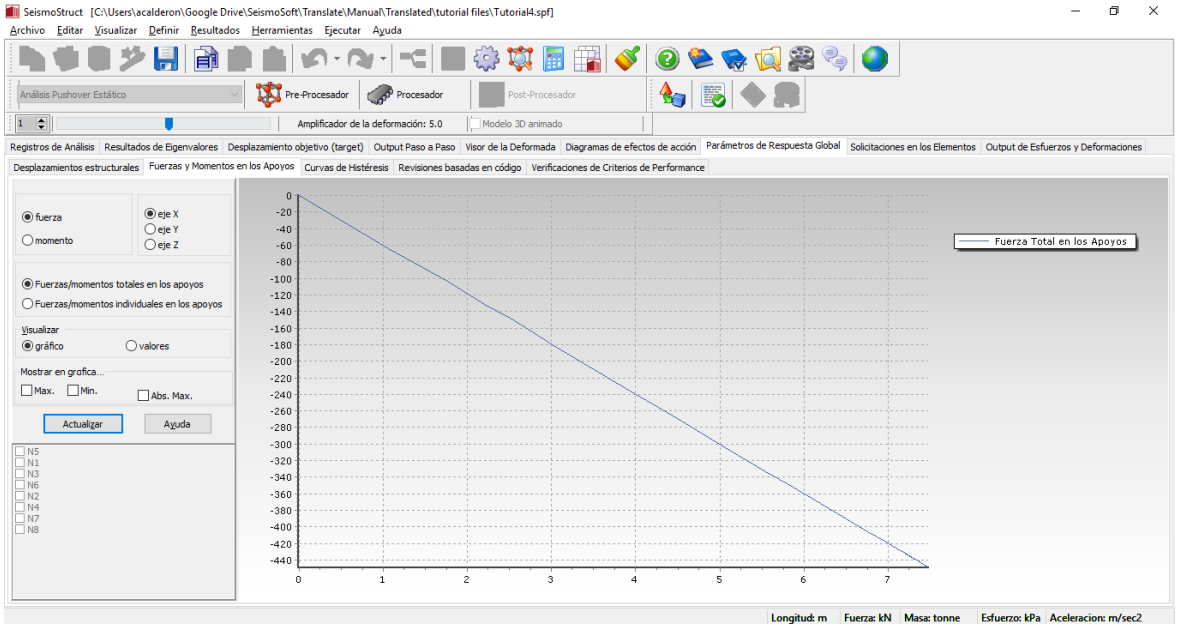


Módulo Parámetros de Respuesta Global (Desplazamientos Estructurales – modo gráfico)



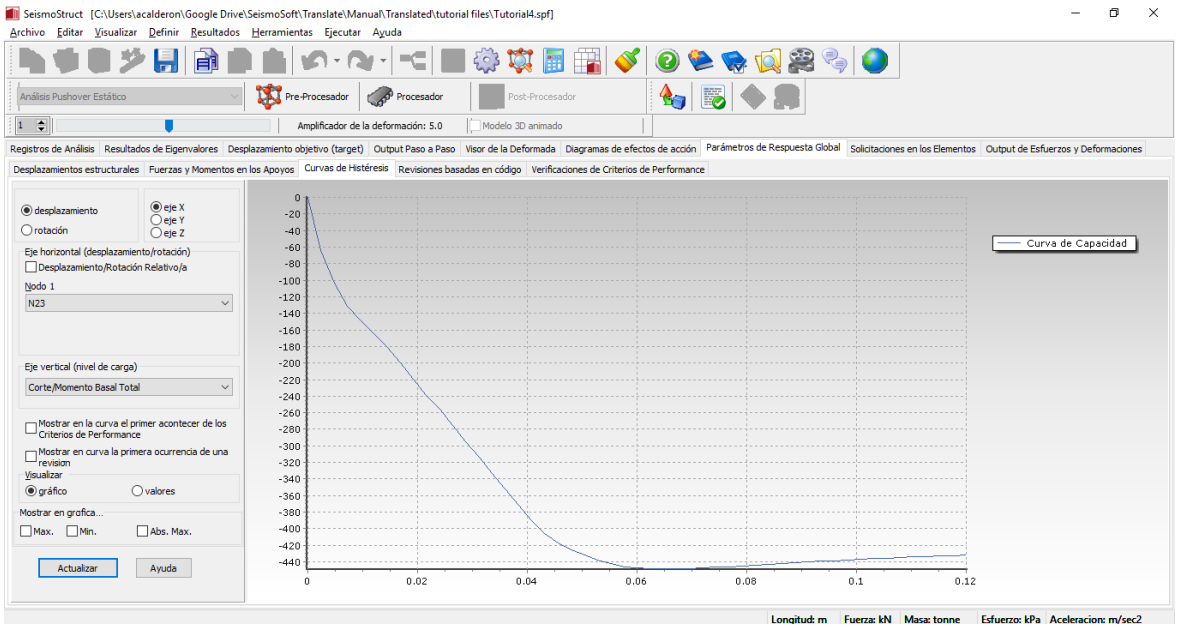
Módulo Parámetros de Respuesta Global (Desplazamientos Estructurales – modo valores)

Luego, para obtener las fuerzas totales en los apoyos (por ej., el corte basal total), (i) haga clic sobre la pestaña *Fuerzas y Momentos en los Apoyos*, (ii) seleccione, respectivamente, *fuerza*, *eje x* y *Fuerzas/momentos totales en los apoyos*, (iii) seleccione la forma de visualización de los resultados (*gráfico* o *valores*) y, finalmente, (iv) haga clic sobre el botón *Actualizar*.



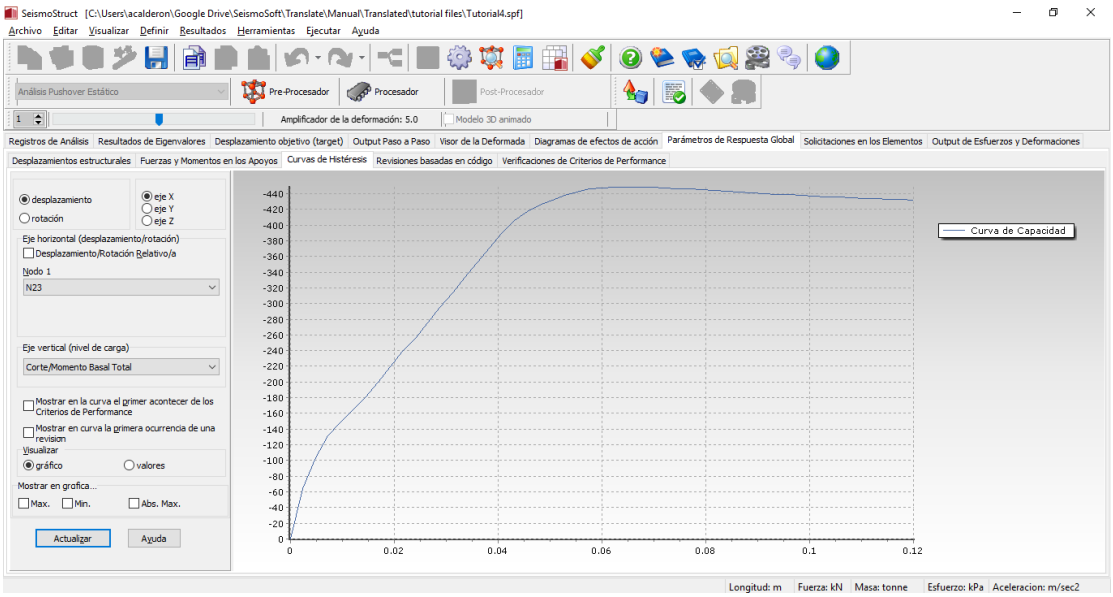
Módulo Parámetros de Respuesta Global (Fuerzas y Momentos en los Apoyos – modo gráfico)

Para obtener la curva de capacidad de la estructura (es decir, corte basal total vs. desplazamiento en la cima), (i) haga clic sobre la pestaña *Curvas Histeréticas*, (ii) seleccione, respectivamente, *desplazamiento* y *eje x*, (iii) seleccione el nodo correspondiente en el menú desplegable (por ej., N23) para el eje horizontal, (iv) seleccione la opción *Corte/Momento Basal Total* para el eje vertical, (v) seleccione la forma de visualización de los resultados (*gráfico* o *valores*) y, finalmente, (vi) haga clic sobre el botón *Actualizar*.



Módulo Parámetros de Respuesta Global (Curvas Histeréticas – modo gráfico)

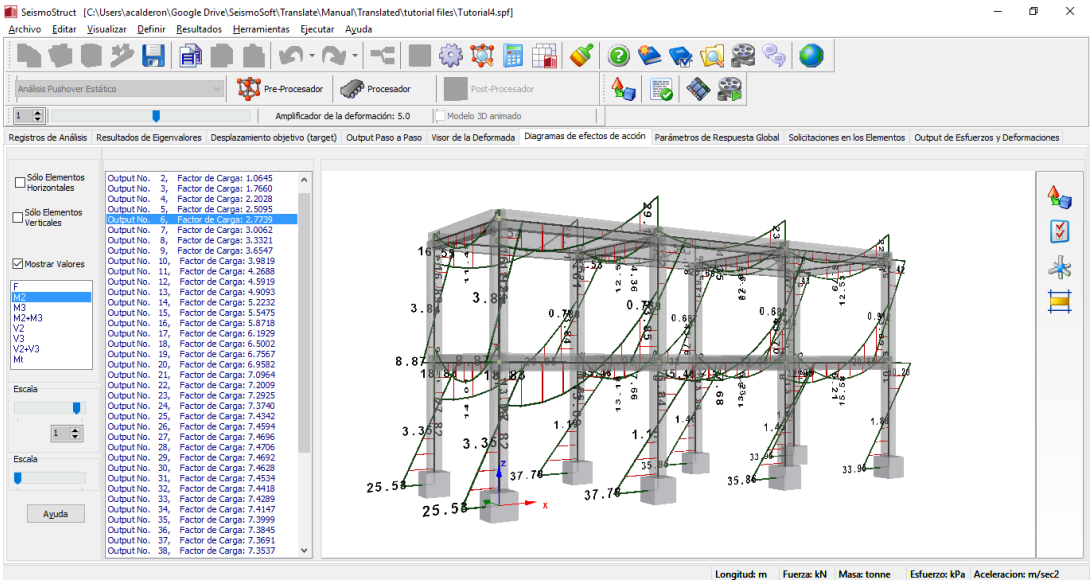
Para que las fuerzas de corte sean graficadas con valores positivos, (i) haga clic derecho sobre la ventana del gráfico, (ii) seleccione *Ajustes del Post-Procesador* e (iii) inserte el valor "-1" como multiplicador del eje Y.



Módulo de Parámetros de Respuesta Global(Curvas Histeréticas – modo de gráfico)

Post-Procesador –Diagramas de Fuerzas Internas

En el módulo **Fuerzas Internas** o **Solicitaciones en los Elementos**, es posible visualizar los diagramas de fuerzas internas y momentos para cada paso del análisis. A modo de ejemplo, la siguiente figura muestra los diagramas de momento:

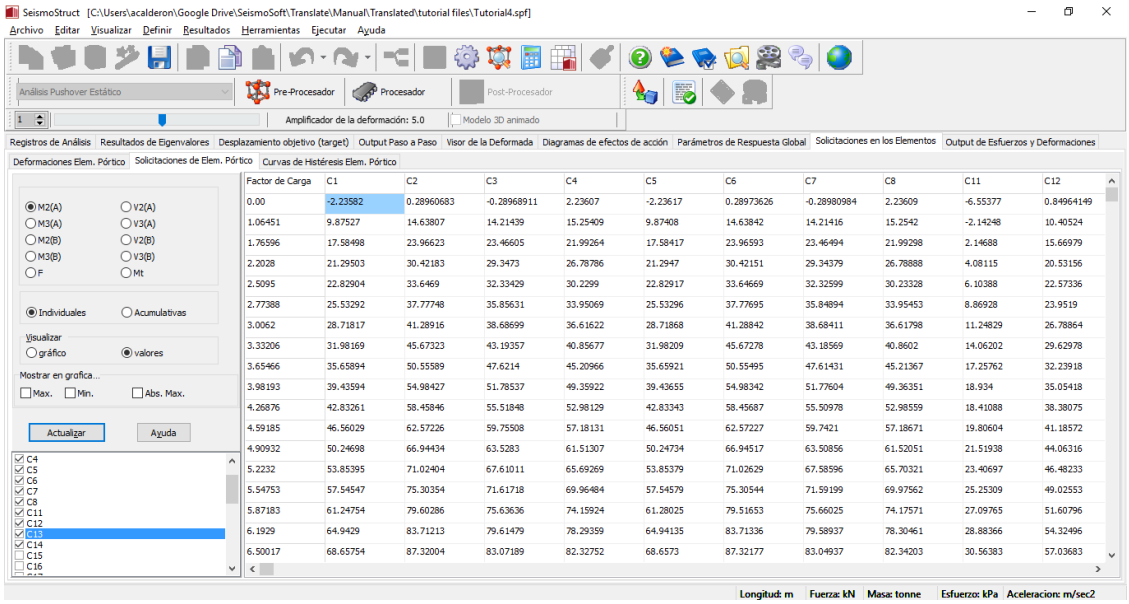


Módulo Solicitaciones en los Elementos

Post-Procesador– Fuerzas Internas en los Elementos

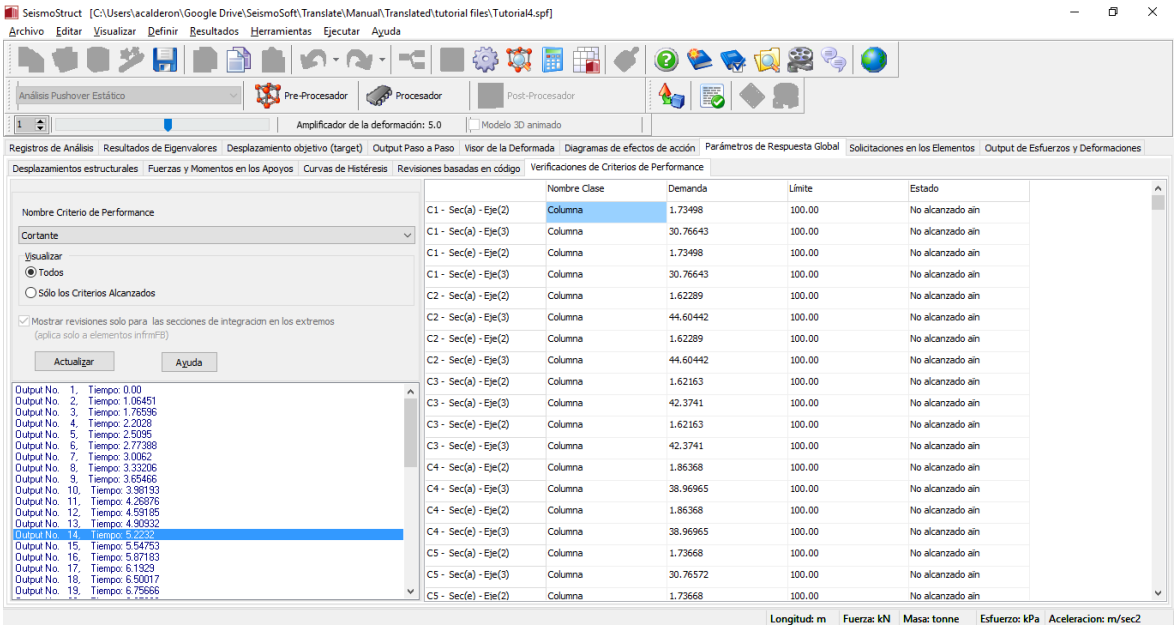
Con el fin de proceder con las verificaciones sísmicas prescritas en varias normativas (por ej., Eurocode 8, KANEPE, ASCE/SEI 7-05, etc.) es necesario verificar las **rotaciones de cuerda** y **fuerzas de corte de los elementos**. Por esta razón, las pestañas *Deformaciones Elementos de Pórtico* y *Fuerzas Elementos de Pórtico* pueden resultar de gran utilidad. Comencemos con la primera. Dado que ha utilizado elementos inelásticos con formulación basada sobre fuerzas (infrmFB) para definir los elementos estructurales, las rotaciones de cuerda de los elementos pueden ser obtenidas directamente (i) haciendo clic sobre la

pestaña *Deformaciones Elementos de Pórtico*, (ii) seleccionando *rotación de cuerda* en la dirección de interés (es decir, R2), (iii) seleccionando los elementos de la lista, marcando las casillas correspondientes, (iv) seleccionando la forma de visualización de los resultados (*gráfico* o *valores*) y, finalmente, (v) haciendo clic sobre el botón *Actualizar*.



Módulo Solicitaciones en los Elementos (Elementos tipo marco – modo valores)

Para poder evitar la necesidad de que los usuarios lleven a cabo cálculos a mano para la estimación de la capacidad estructural de los miembros, SeismoStruct provee una opción para realizar automáticamente revisiones de capacidad a cortante y rotación de cuerda, de acuerdo con expresiones basadas en los códigos respaldados (Eurocode 8, ASCE 41, NTC-18, KANEPE y TBDY) para los estados límite seleccionados. Esto puede hacerse en la pestaña de *Revisiones Basadas en Código* de la página de *Parámetros de Respuesta Global* del Post-Procesador.



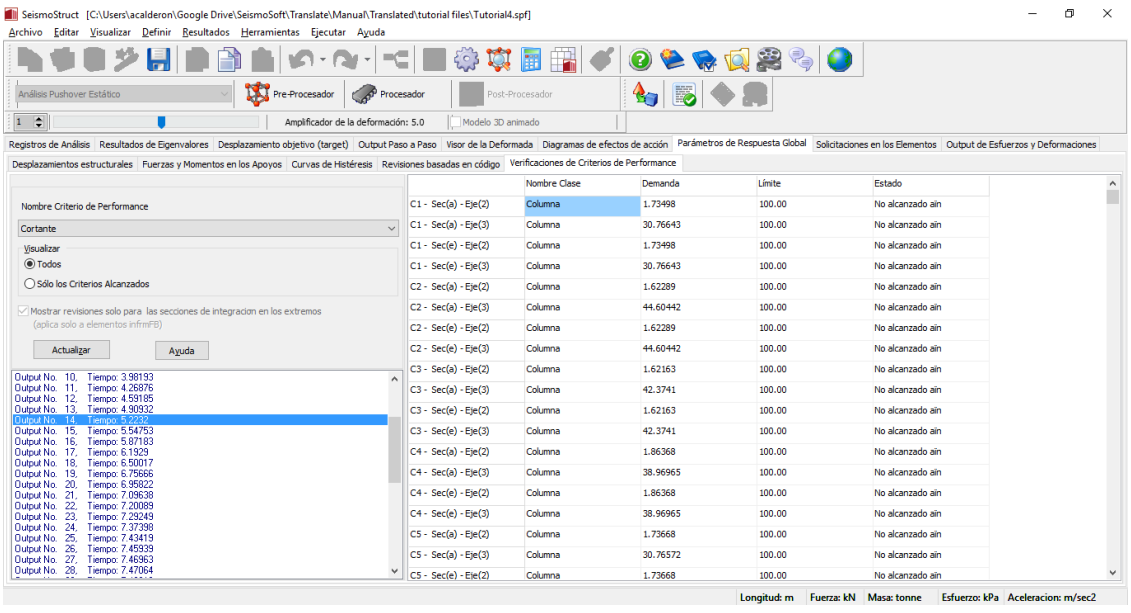
Revisiones Basadas en Código

El usuario puede seleccionar ya sea una revisión de código específica o todas las revisiones del mismo tipo. Hay dos tipos de revisiones basadas en código están disponibles, que son las de rotación de cuerda y capacidad a cortante.

Cuando el usuario hace clic en cada step del análisis, una lista de todas las revisiones estructurales efectuadas en los miembros aparece. Los datos incluyendo la demanda, la capacidad y si una revisión en particular ha sido alcanzada en esa localidad particular, mientras que los resultados para cada sección de integración y para ambos ejes locales (2) y (3).

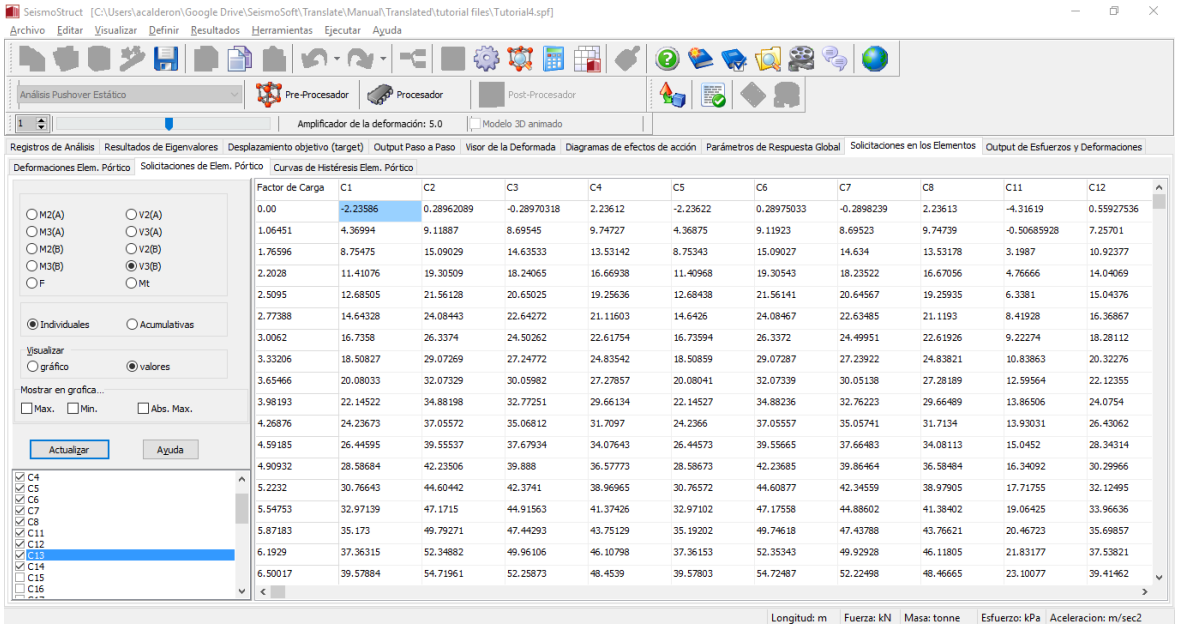
Adicional a las revisiones basadas en código, los usuarios también son capaces de ajustar criterios de desempeño identificando instantes del análisis, en los cuales los diferentes estados límite de desempeño (identificados por deformaciones en los materiales, curvatura de secciones, rotación de cuerda de los elementos y valores de fuerza cortante) se estima que serán alcanzados. Esto puede hacerse en la pestaña de *Revisiones de Criterios por Desempeño* de la página de *Parámetros de Respuesta Global* del Post-Procesador. De forma predeterminada el modelador de edificio define dos tipos de criterio (i) uno por capacidad de rotación de cuerda llamado *chord_rot* y (ii) criterio por capacidad de fuerza cortante llamado *shear.*

NOTA: La diferencia principal entre las Revisiones Basadas en Código y los Criterios de Desempeño es que los primeros se revisan contra valores "esperados" de las cantidades de respuesta, mientras que los últimos siguen metodologías de evaluación conservativa como se define en los correspondientes Códigos y Estandares. Por tanto, en Revisiones Basadas en Código las expresiones usadas en el cálculo de valores límite, cuando los diferentes límites de desempeño son alcanzados, utilizan resistencia de materiales conservadoras (p. ej. caracterítica o nominal) y se basan en factores de confianza y seguridad, según especificado en los Códigos. Por el contrario, se utilizan los valores promedio de los materiales o ningún factor de seguridad o de confianza en los cálculos de Criterios de Desempeño.



Revisiones de Criterios por Desempeño

Luego, para visualizar las fuerzas internas de los elementos (por ej., fuerzas de corte), (i) haga clic sobre la pestaña *Solicitaciones Elementos de Pórtico*, (ii) seleccione el tipo de solicitación (por ej., V3), (iii) seleccione los elementos de la lista, marcando las casillas correspondientes, (iv) seleccione la forma de visualización de los resultados (*gráfico* o *valores*) y, finalmente, (v) haga clic sobre el botón *Actualizar*.



Módulo de Fuerzas de Acción (Fuerzas en Marco – modo de valores)

> **NOTA: Los resultados pueden ser exportados a una planilla de Excel (o similar).**

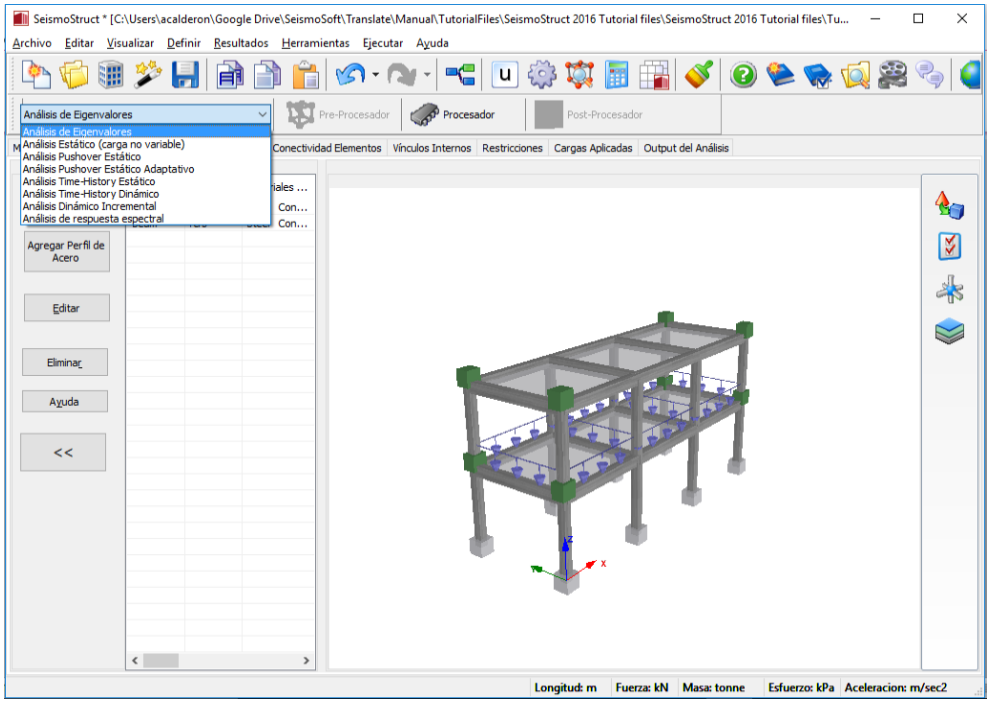
TUTORIAL N.5 – ANÁLISIS DE EIGENVALORES DE UN EDIFICIO DE DOS PISOS

Descripción del Problema

Se utilizará el mismo modelo ya creado para el Tutorial 1.

Comenzando: abriendo un proyecto existente

Para comenzar este nuevo tutorial, (i) abra la ventana inicial de SeismoStruct, (ii) seleccione el proyecto de SeismoStruct creado anteriormente (Tutorial 4.spf) a través del comando *Archivo > Abrir…*, o haciendo clic enel icono, (iii) guarde el proyecto con un nombre nuevo a través del comando *Archivo > Guardar como…* y luego (iv) seleccione *Análisis de Eigenvalores* en el menú desplegable ubicado en la esquina superior izquierda del área del **Pre-Procesador**.



Selección del tipo de análisis

NOTA 1: Tres módulos desaparecerán (*Condiciones de Carga*, *Fases de Carga* y *Criterios de Performance*) con respecto al caso del análisis de pushover. De hecho, para el análisis de Eigenvalores no es necesario aplicar cargas externas.

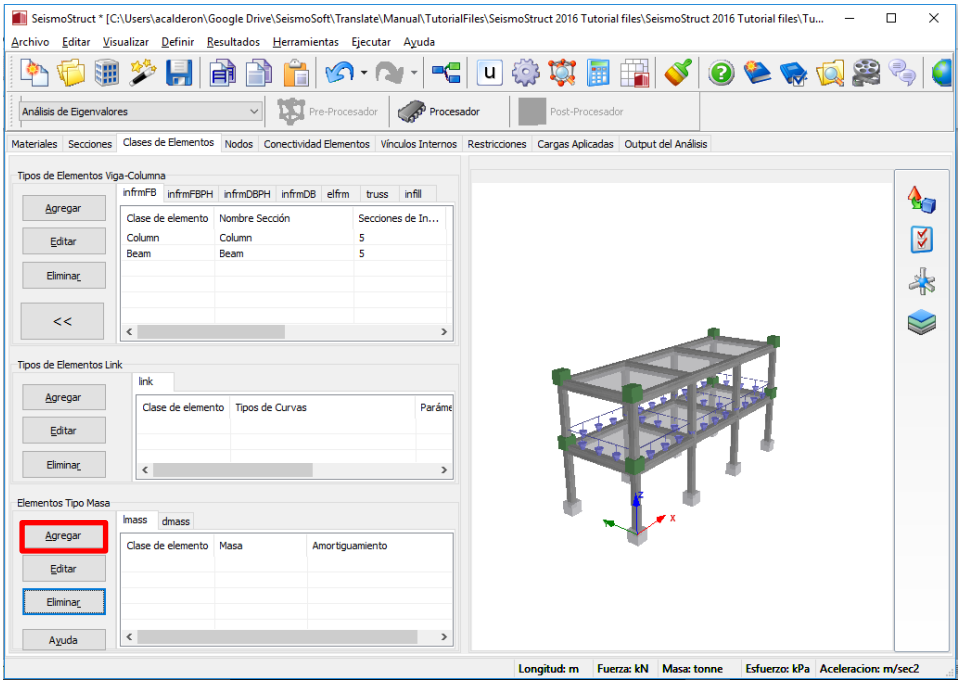
NOTA 2: Las cargas permanents del Turorial 4, no se toman en consideración en el análisis de eigenvalores, a menos que la opción Definir Masa de ambos Elementos Marco/Masa y Cargas sea seleccionada en los Ajustes de Proyecto > módulo de Gravedad & Masa.

Una vez seleccionado el tipo de análisis, diríjase al módulo **Clases de Elementos** para definir los elementos tipo masa.

IMPORTANTE: Ya fue definido, durante el Tutorial 4, el peso específico de cada material en el módulo *Materiales*, por lo que el software calculará, por defecto, las masas de los elementos a partir de estos valores (ver *Ajustes de Proyecto > Gravedad & Masa*).

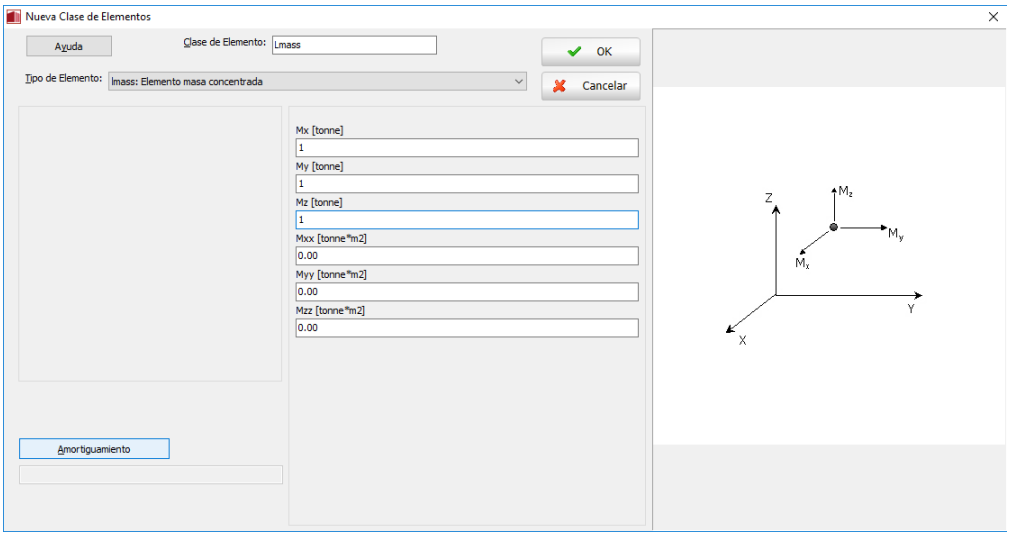
Pre-Procesador – Clases de Elementos

Haga clic sobre el botón *Agregar* relativo a los *Elementos Tipo Masa*.



Módulo Clases de Elementos

1. Asignar un nombre al elemento de masa (➔ Lmasa);
2. Seleccionar el tipo de elemento en el menú desplegable (➔ lmass);
3. Indique el valor de la masa (se asumirá 1 ton) en las direcciones de interés (es decir, sólo direcciones traslacionales);
4. Defina un amortiguamiento específico del elemento (➔**no se aplica ningún amortiguamiento especifico del elemento)**.



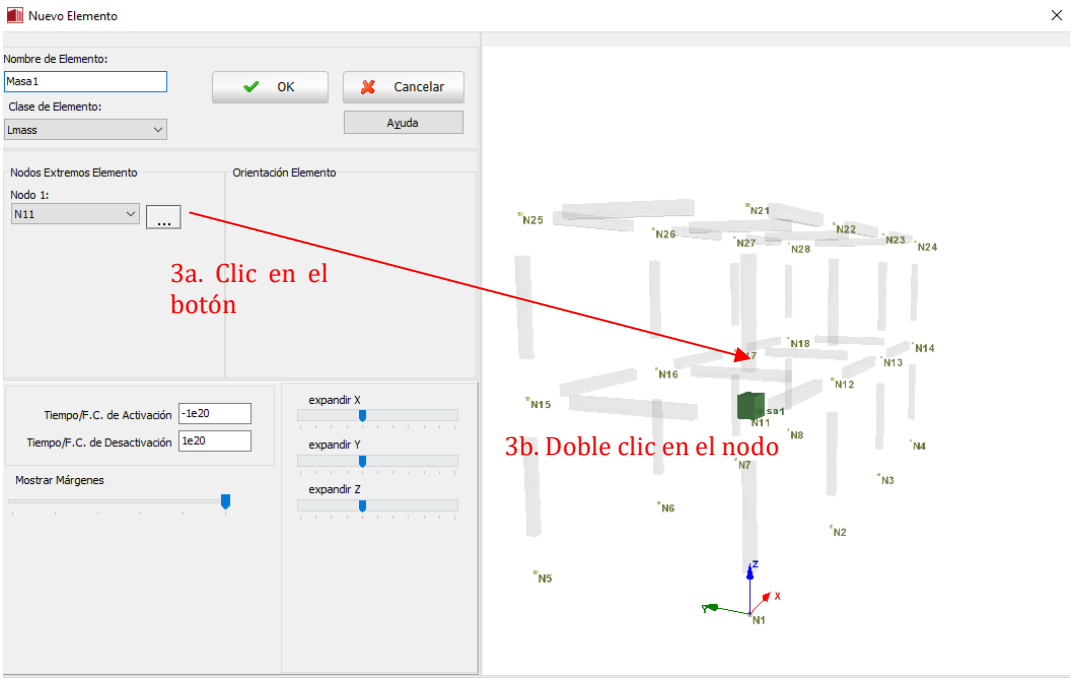
Definición de las Clases de Elementos (concentrada)

Pre-Procesador – Conectividad Elementos

Ahora, diríjase al módulo **Conectividad Elementos** para asignar el elemento de masa concentrada definido, por ejemplo, a los nodos de esquina de la estructura.

Haga clic sobre el botón *Agregar*. En la nueva ventana debe:

1. Asignar un nombre al elemento (➔ Masa1);
2. Seleccionar la clase de elemento en el menú desplegable;
3. Seleccionar el nodo estructural (ver figura siguiente por mayores detalles).

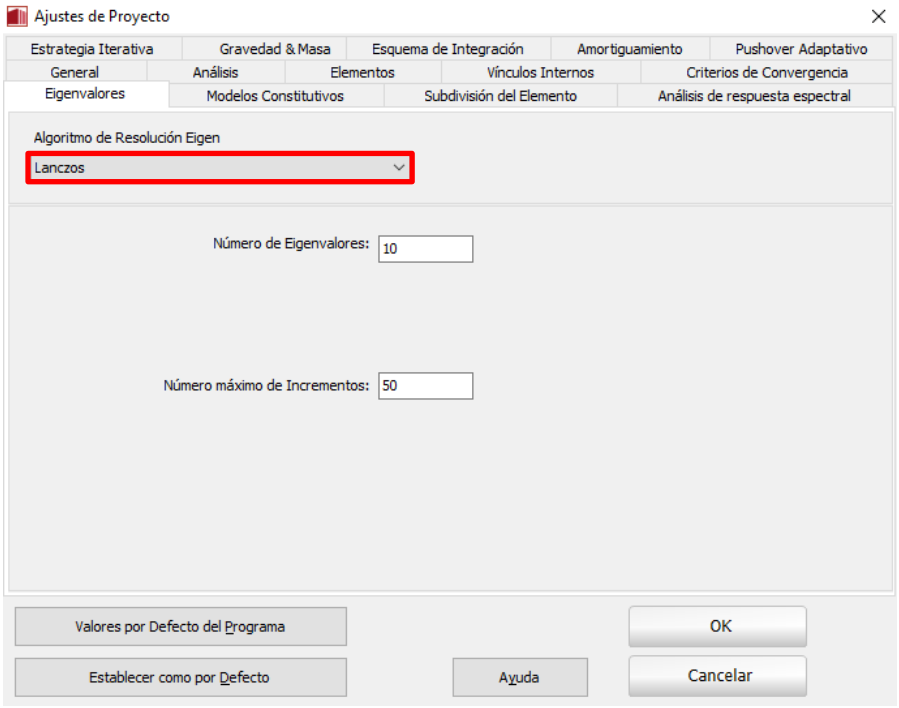


Ventana de Nuevo Elemento

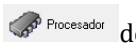
Repita el procedimiento descrito anteriormente para definir los restantes elementos de masa concentrada. La siguiente tabla resume los datos relativos a dichos elementos:

Nombre Elemento	Clase Elemento	Nodos
Masa1	Lmasa	N11
Masa2	Lmasa	N14
Masa3	Lmasa	N15
Masa4	Lmasa	N18
Masa5	Lmasa	N21
Masa6	Lmasa	N24
Masa7	Lmasa	N25
Masa8	Lmasa	N28

Antes de ejecutar el análisis, es posible elegir entre dos algoritmos de resolución, que son el **algoritmo de Lanczos** y el **algoritmo de Jacobi con transformación de Ritz**, para determinar los modos de vibración de la estructura (*Herramientas > Ajustes de Proyecto…*). Para este tutorial se ha seleccionado el algoritmo de Lanczos.



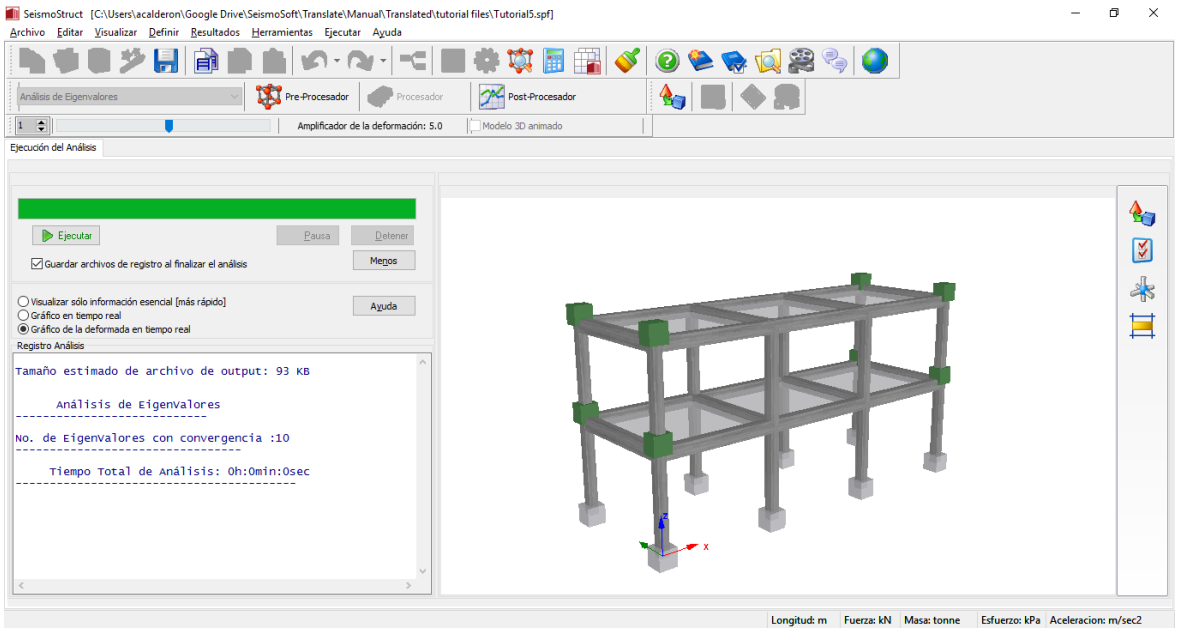
Ajustes para el Análisis de Eigenvalores

Ahora, puede hacer clic sobre el botón 

de la barra de herramientas o seleccionar *Ejecutar* > *Procesador* en el menú principal para llevar a cabo el análisis de Eigenvalores.

Procesador

Haga clic sobre el botón *Ejecutar*.



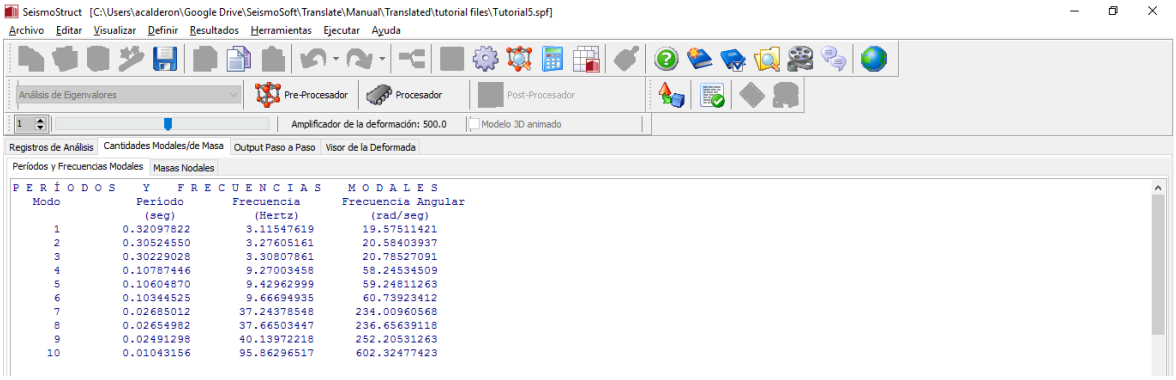
Área del Procesador

Una vez finalizado el análisis, haga clic sobre el botón 

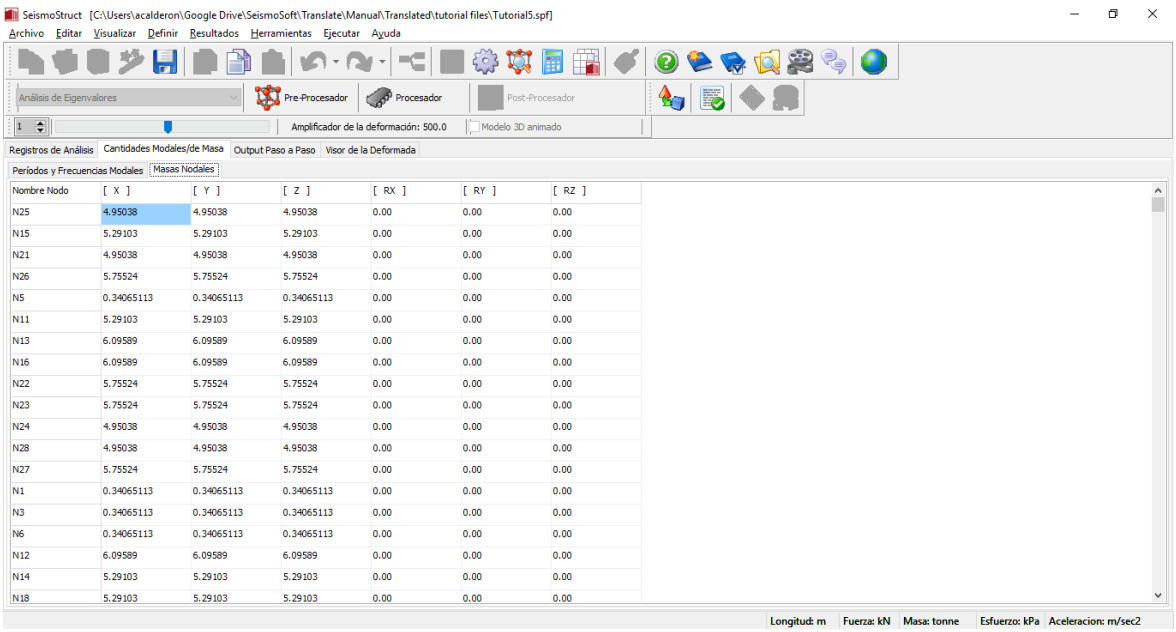
de la barra de herramientas o seleccione *Ejecutar > Post-Procesador* en el menú principal.

Post-Procesador – Cantidades Modales/de Masa

En el módulo **Cantidades Modales/de Masa** es posible visualizar una gran cantidad de información, tal como (i) los períodos y frecuencias naturales de la estructura, (ii) los factores de participación modal, (iii) las masas modales efectivas, (iv) los porcentajes de participación de masa y, finalmente, (v) las masas nodales.



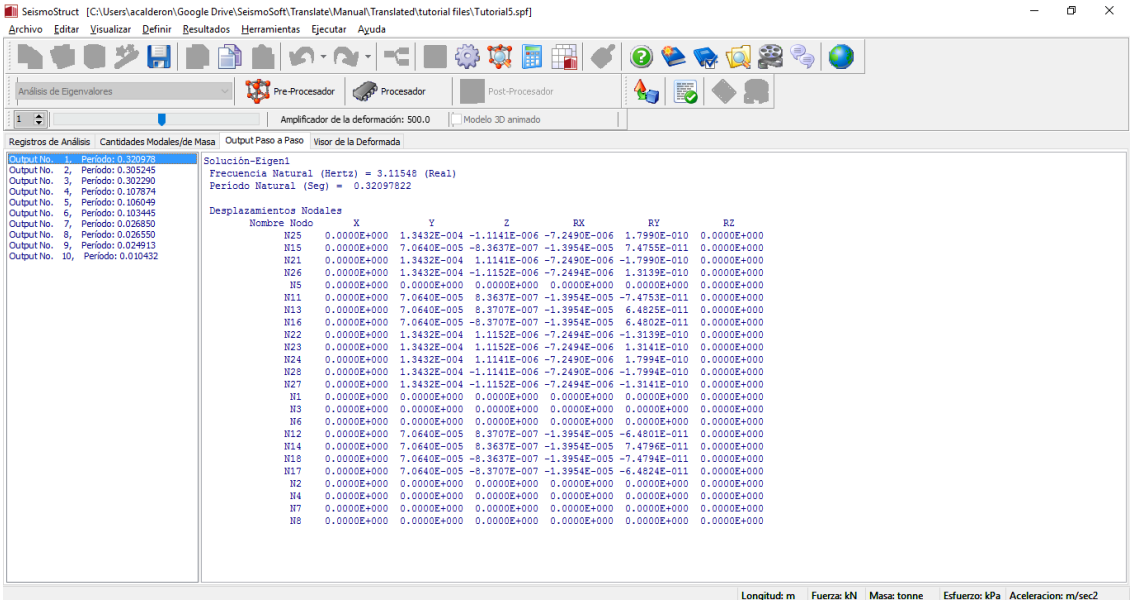
Módulo Cantidades Modales/de Masa – Períodos y Frecuencias Naturales



Módulo Cantidades Modales/de Masa – Masas Nodales

Post-Procesador – Output Paso a Paso

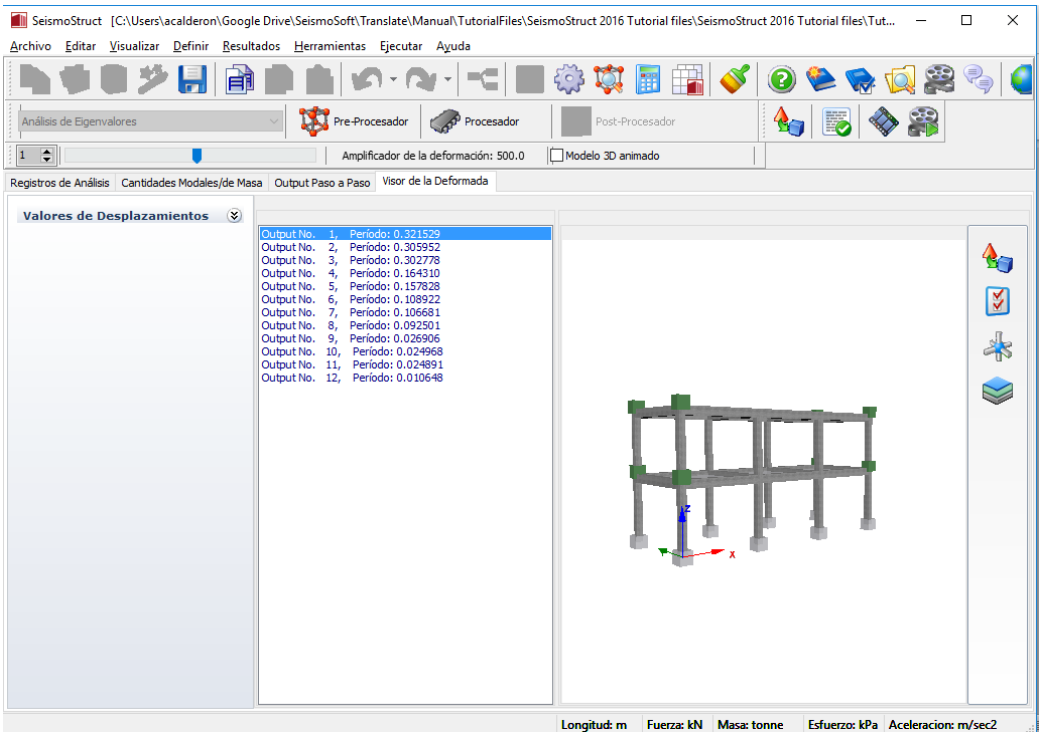
El módulo **Output Paso a Paso** provee, para cada solución eigen encontrada por el software, todos los desplazamientos nodales.



Módulo Output Paso a Paso

Post-Procesador – Visor de la Deformada

Finalmente, al igual que en tutoriales anteriores, en el módulo Visor de la Deformada es posible visualizar la deformada del modelo para cada paso del análisis. Haga doble-clic sobre el identificador del output deseado para actualizar la imagen de la deformada (ver figura siguiente).



Módulo Visor de la Deformada

Por otra parte, también es posible visualizar los valores de desplazamientos marcando la casilla *Mostrar Valores Desplazamientos* (ver figura anterior).

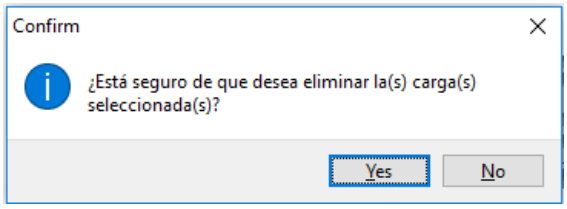
TUTORIAL N.6 – ANÁLISIS DINÁMICO DE TIME-HISTORY DE UN EDIFICIO DE DOS PISOS

Descripción del Problema

También en este caso, con el fin de agilizar el procedimiento, se utilizará el mismo modelo creado para el Tutorial 4 y modificado para el Tutorial 5.

Cómo comenzar: abrir un proyecto existente

Abra nuevamente la ventana inicial del software y, luego de hacer clic sobre el ícono de la barra de herramientas, seleccione el proyecto anterior de SeismoStruct (Tutorial 5.spf). Una vez abierto, guarde el proyecto con un nombre nuevo a través del comando *Archivo > Guardar como...* Luego, seleccione *Análisis Dinámico Time-history* en el menú desplegable ubicado en la esquina superior izquierda del área del **Pre-Procesador**. Dado que el programa mantuvo almacenadas las cargas incrementales del Tutorial 1, antes de continuar le será requerido que confirme su eliminación (ver figura siguiente).

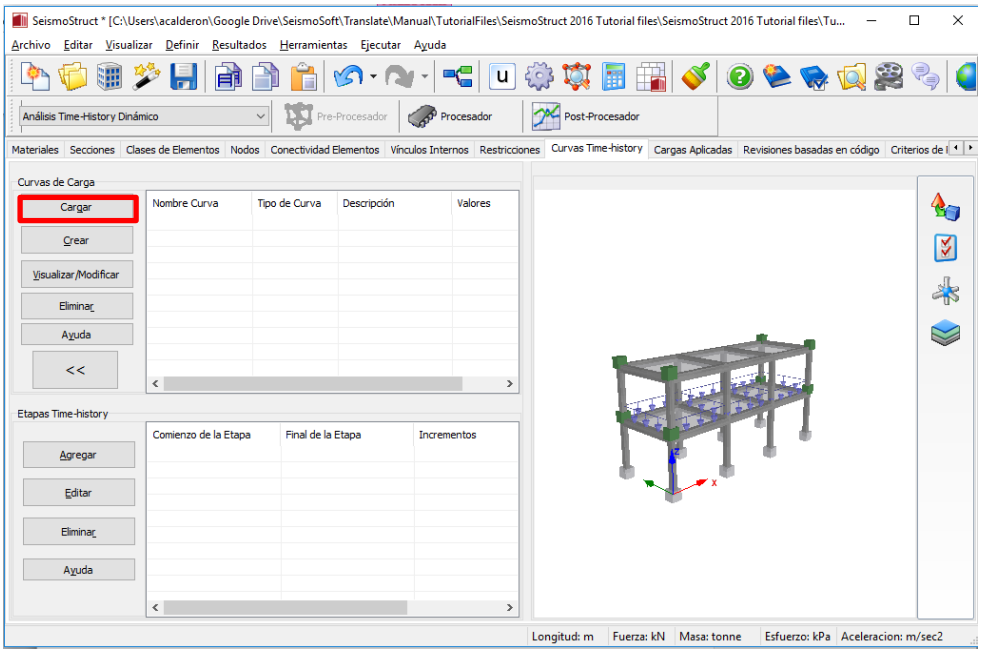


Mensaje de Advertencia

Luego de hacer clic sobre el botón *Sí*, diríjase al módulo **Curvas Time-history**.

Pre-Procesador – Curvas Time-history

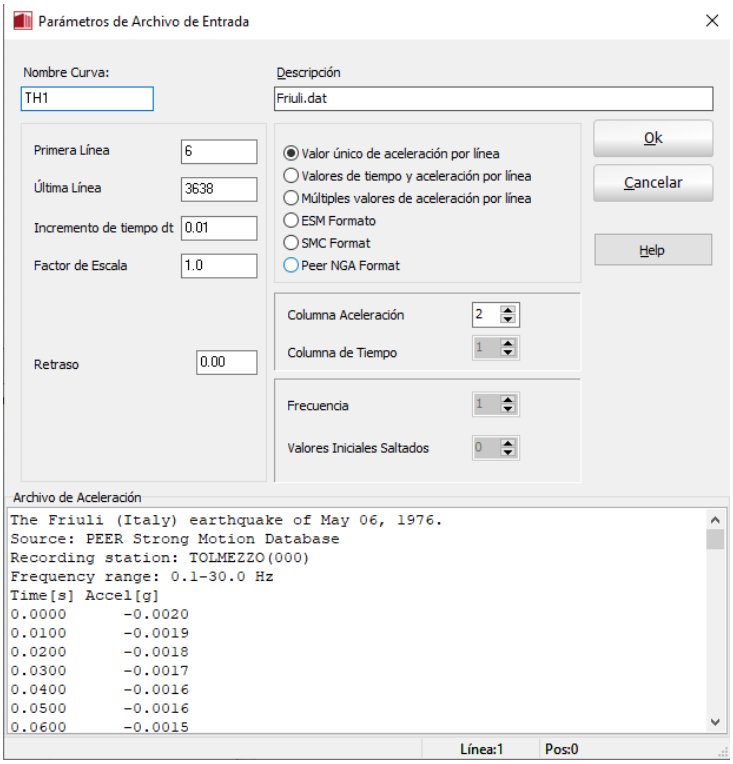
Haga clic sobre el botón *Cargar* de la sección *Curvas de Carga*.



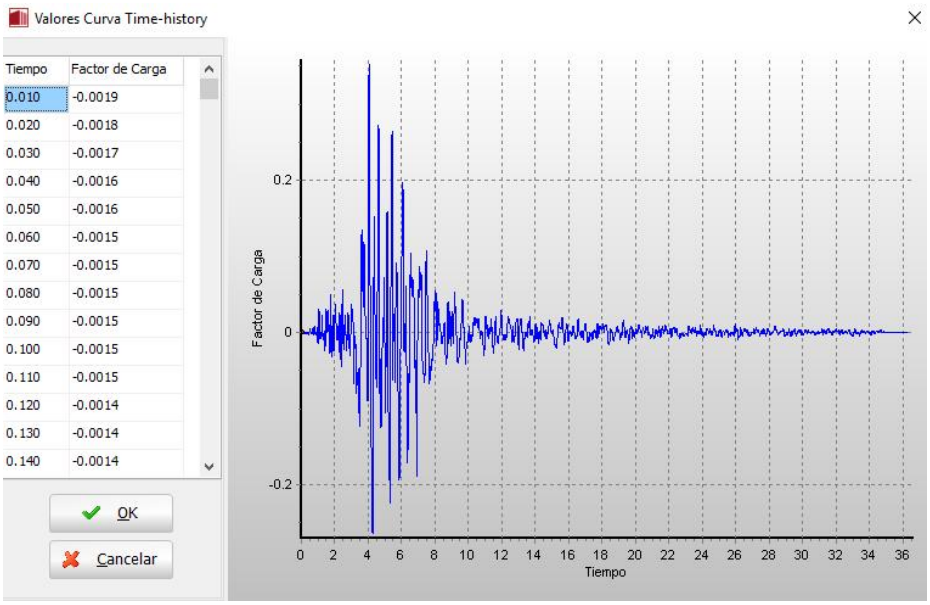
Módulo Curvas Time-history

En la nueva ventana debe:

1. Cargar un acelerograma a través del botón *Seleccionar Archivo* (por simplicidad, se utilizará una de las curvas que se encuentra en la carpeta de instalación del programa*(C:\ Program Files\ Seismosoft\ SeismoStruct\2026\ Accelerograms \ Friuli.dat*);
2. Asignar un nombre a la curva (➔ TH1).

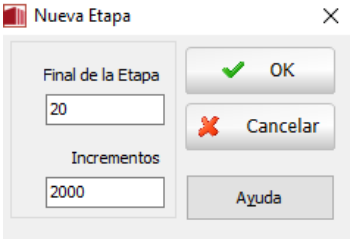


Cargar Curva – Parámetros de Archivo de Entrada



Cargar Curva–Valores de Curva Time-history

Una vez cargada la curva, es necesario definir una etapa de análisis. En la sección *Etapas Time-history* haga clic sobre el botón *Agregar*. En la nueva ventana, indique (i) el tiempo de *Final de la Etapa* (el cual, en este ejemplo, coincide con el tiempo final del acelerograma, es decir, 20 segundos) y (ii) el número de incrementos (-> 2000).

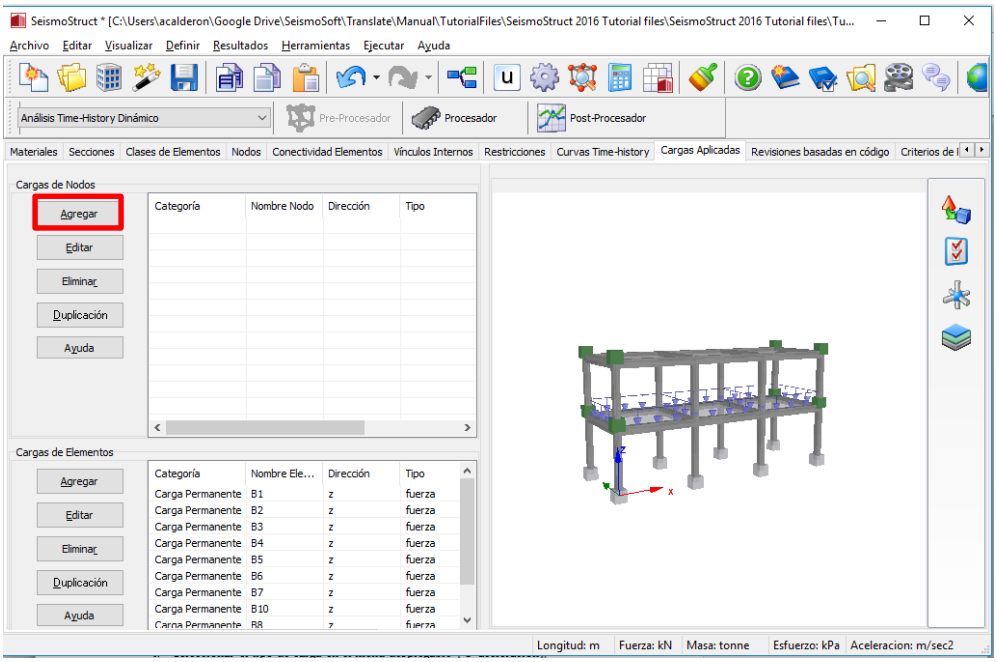


Etapa Time-History

NOTA: El programa calcula internamente el incremento de tiempo dt. En este caso es 20/2000 = 0.01.

Pre-Procesador – Condiciones de Carga

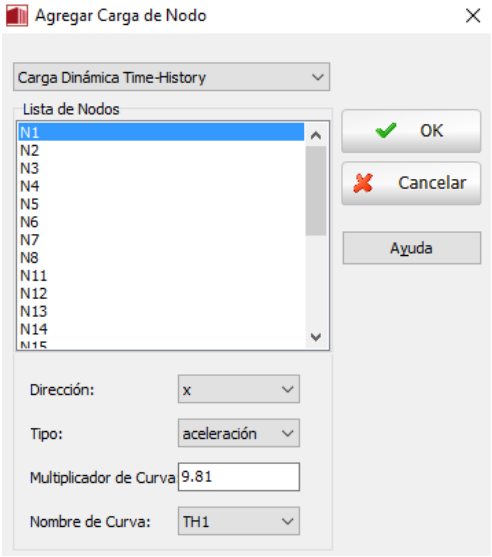
En este punto es necesario aplicar la curva al modelo estructural. Para ello, diríjase al módulo Cargas Aplicadas y haga clic sobre el botón Agregar.



Módulo de Cargas Aplicadas

En la nueva ventana debe:

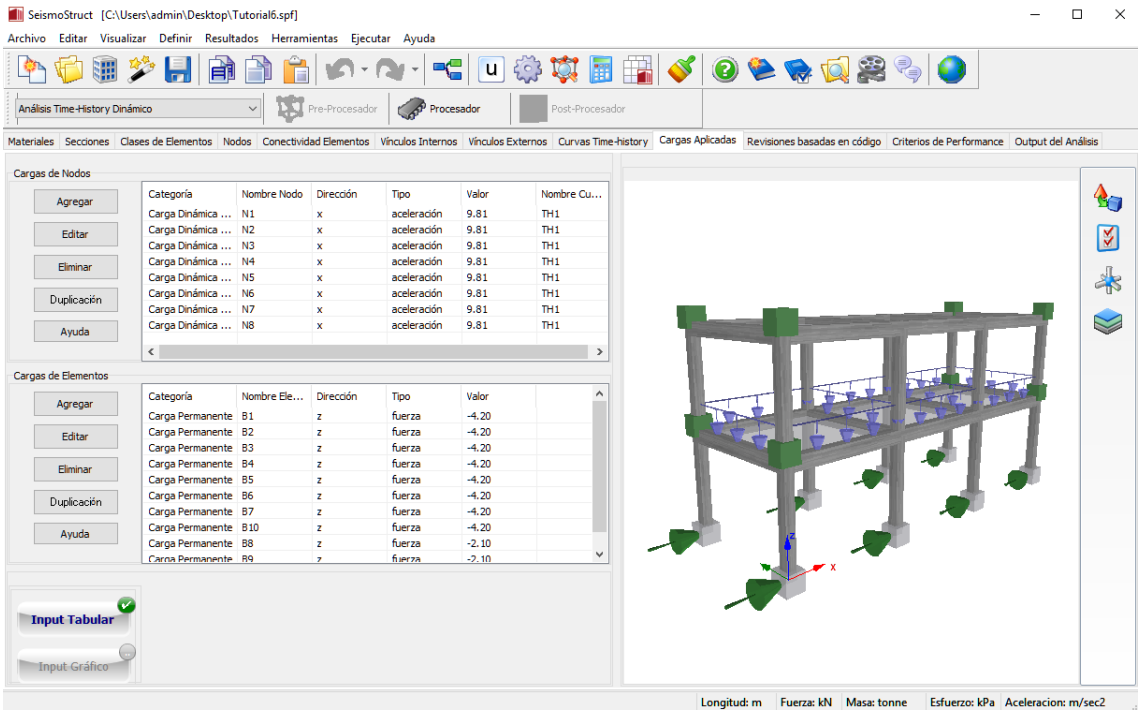
1. Seleccionar la categoría de la carga en el menú desplegable (➔ Carga Dinámica Time-history);
2. Especificar el nodo sobre el cual se desea aplicar la carga (➔ N1);
3. Seleccionar la dirección de la carga en el menú desplegable (➔ X);
4. Seleccionar el tipo de carga en el menú desplegable (➔ aceleración);
5. Especificar el multiplicador de curva (➔ 9.81);
6. Seleccionar el nombre de la curva en el menú desplegable (➔ TH1).



Ventana Nueva Carga Aplicada

Repita el mismo procedimiento para aplicar las cargas dinámicas time-history a todos los nodos de la base de la estructura. La siguiente tabla resume las cargas aplicadas:

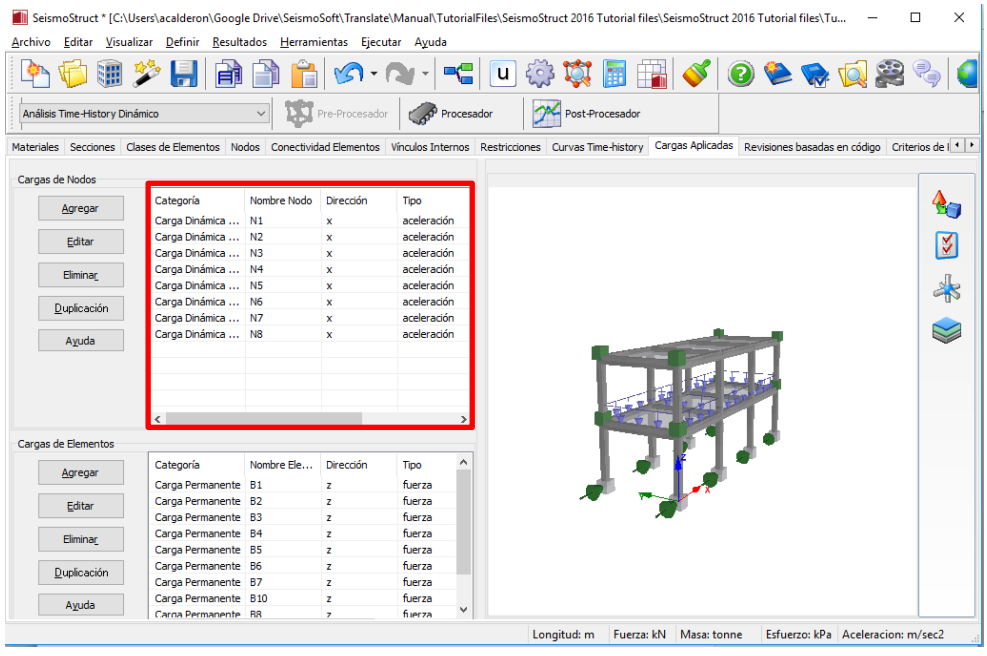
Categoría	Nombre Nodo	Dirección	Tipo	Multiplicador de Curva	Curva
Carga Dinámica Time-history	N1	x	aceleración	9.81	TH1
Carga Dinámica Time-history	N2	x	aceleración	9.81	TH1
Carga Dinámica Time-history	N3	x	aceleración	9.81	TH1
Carga Dinámica Time-history	N4	x	aceleración	9.81	TH1
Carga Dinámica Time-history	N5	x	aceleración	9.81	TH1
Carga Dinámica Time-history	N6	x	aceleración	9.81	TH1
Carga Dinámica Time-history	N7	x	aceleración	9.81	TH1
Carga Dinámica Time-history	N8	x	aceleración	9.81	TH1



Cargas Dinámicas Time-history

Pre-Procesador – Output del Análisis

Finalmente, antes de entrar en el **Procesador**, es necesario seleccionar las preferencias para el output en el módulo **Output del Análisis**, como se muestra en la figura siguiente.



Módulo Output del Análisis

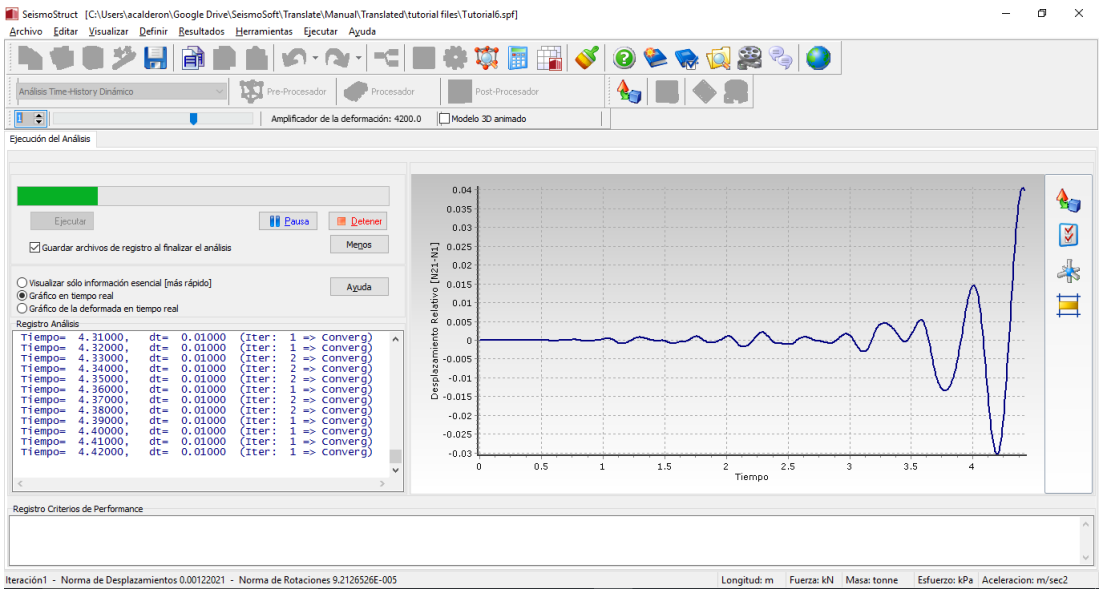
NOTA: A diferencia del Tutorial 1, en ese ejemplo se pide visualizar, en el gráfico en tiempo real, el desplazamiento total relativo del nodo de la cima N21 respecto del nodo de la base N1.

Luego de realizado esto, puede hacer clic en el botón 

de la barra de herramientas o seleccionar *Ejecutar > Procesador* en el menú principal, para ejecutar el análisis dinámico time-history.

Procesador

Haga clic sobre el botón *Ejecutar*.



Análisis en curso

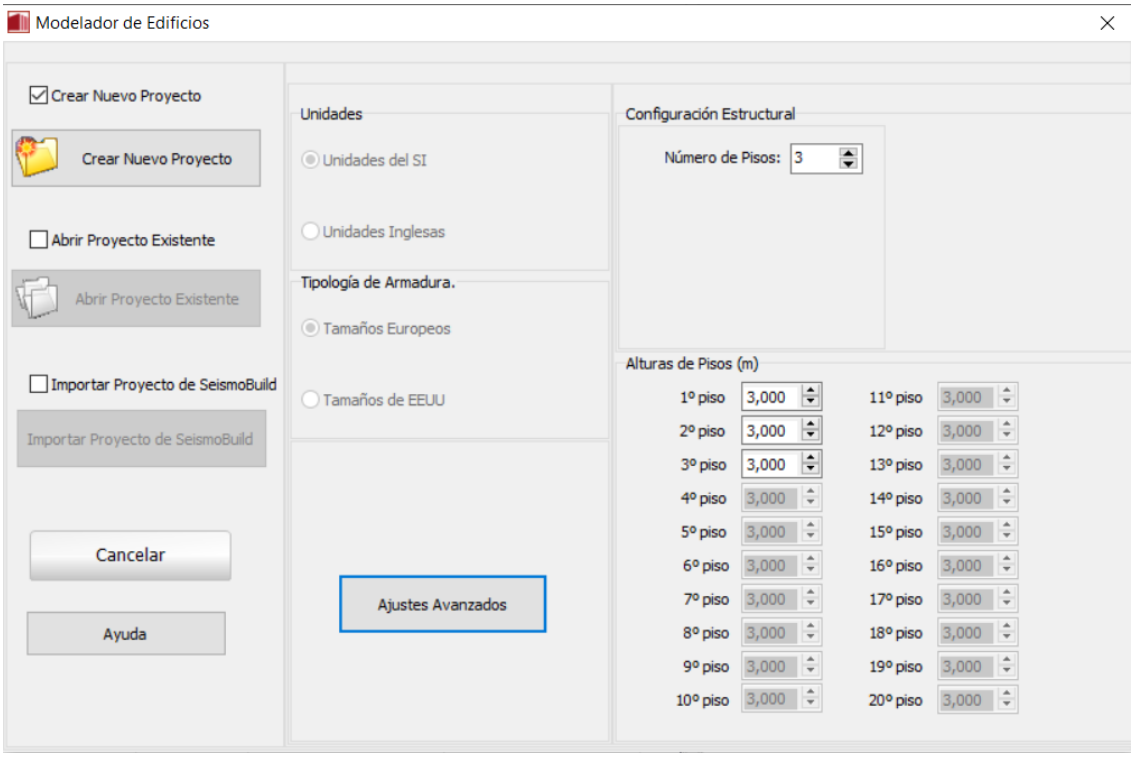
Una vez finalizado el análisis, haga clic sobre el botón 

de la barra de herramientas para obtener los resultados. Tal como se vio en los tutoriales anteriores, en el **Post-Procesador** es posible visualizar la deformada de la estructura para cada paso del análisis dinámico (*Visor de la Deformada*), así como también extraer el historial de desplazamientos de respuesta de la estructura, etc.

MODELADOR DE EDIFICIO

Una herramienta especial de modelaje ha sido desarrollada e introducida en el programa para poder facilitar la creación de modelos de edificios. Actualmente, solo edificios de concreto reforzado pueden ser creados; en versiones subsecuentes del programa los modelos de acero y elementos compuestos serán respaldados.

El Modelador de Edificio se accede desde el menú principal (*Archivo > Modelador de Edificio...*) o a través del botón correspondiente en la barra de herramientas  .



Ventana de la herramienta de Modelador de Edificio

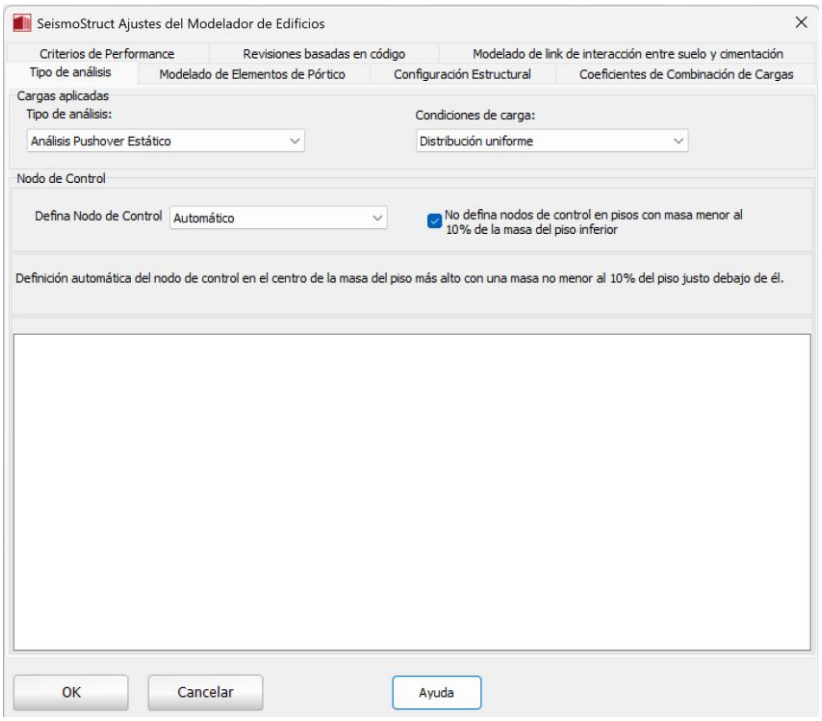
Ajustes Básicos y Configuración Estructural

Las unidades SI o unidades inglesas pueden seleccionarse, así como las europeas o americanas en la tipología de varilla de refuerzo. El número de pisos y sus alturas también pueden definirse; un número de 1 a 100 pisos, cada uno con altura diferente y la posibilidad de aplicar una altura común a un rango de pisos, también son parte de las selecciones. También se podrán definir hasta tres plantas subterráneas (sótanos) y sus alturas.

Ajustes Avanzados

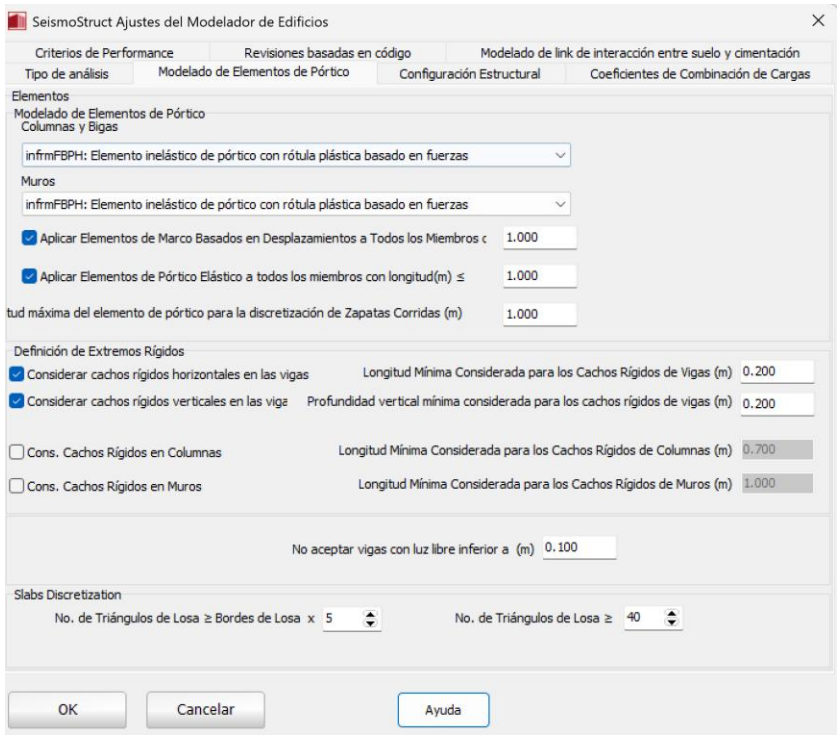
En los Ajustes Avanzados de la ventana de diálogo, accedida por el botón correspondiente, la siguiente información puede definirse:

- **Tipo de Análisis:** El tipo de análisis para el cual el modelo será creado. Todos los nueve tipos de análisis de SeismoStruct están respaldados.
  La definición del nodo de control se realiza dentro de este módulo. Los usuarios pueden seleccionar directamente el piso del nodo, o alternativamente elegir la definición automática, en la cual el control es Masa inferior al 10% del piso inferior).



Módulo de Ajustes Avanzados – Tipo de Análisis

- **Modelaje de Elementos Marco:** La clase de elemento a usarse en los miembros estructurales del modelo se define aquí. Diferentes tipos de elementos marco pueden utilizarse para columnas vigas y muros. Además es posible asignar elementos inelásticos del tipo marco basado en desplazamiento (infrmDB) para los miembros cortos, una opción que mejora la precisión y estabilidad del análisis. Los usuarios pueden determinar la longitud máxima de los elementos cortos, debajo de la cual el elemento infrmDB se utilizará (1.0m es el predeterminado). Los usuarios también pueden determinar la longitud máxima de los miembros, por debajo de la cual se emplea el tipo de elemento elfrm (0,4 m por defecto). El elemento inelástico de rótulas plásticas infrmFBPH se selecciona para las columnas/vigas y muros, un esquema que debería funcionar bien en las aplicaciones más prácticas. La longitud máxima del elemento de marco para la discretización de zapatas continuas se define en esta pestaña (1,0 m por defecto).La decisión de incluir o no extremos rígidos en las columnas, vigas y muros durante el modelaje también se define aquí. Nótese que los extremos rígidos se incluyen en el modelo, cuando la longitud del extremo rígido de un miembro es más grande que el valor especificado. La opción para rechazar vigas cuya longitud sea inferior a un valor mínimo definido se proporciona con el fin de evitar la creación involuntaria de vigas muy cortas por razones gráficas (por ejemplo, cuando el extremo de una viga se extiende ligeramente más allá del pilar adyacente). Por último, aquí también pueden definirse los parámetros de discretización de las losas.



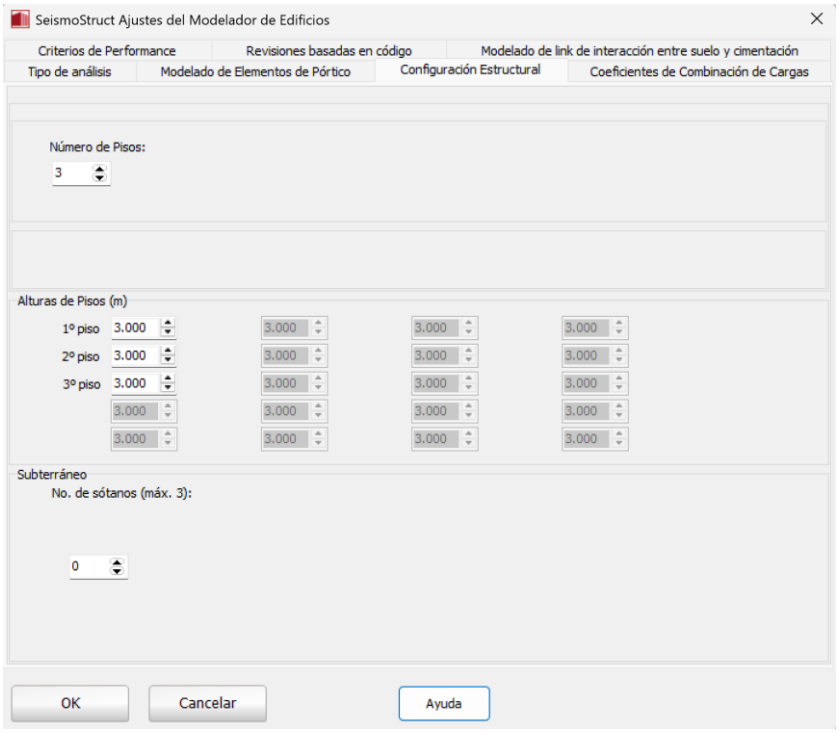
Módulo de Ajustes Avanzados – Modelaje de Elementos Tipo Marco

NOTA: Aun cuando no se hayan definido extremos rígidos, algunos offsets pueden introducirse automaticamente para asegurar el alineamiento adecuado de todos los elementos estructurales.

NOTA: Aún cuando no se hayan definido extremos rígidos, algunos offsets pueden introducirse autmaticamente para asegurar el alineamiento adecuado de todos los elementos estructurales.

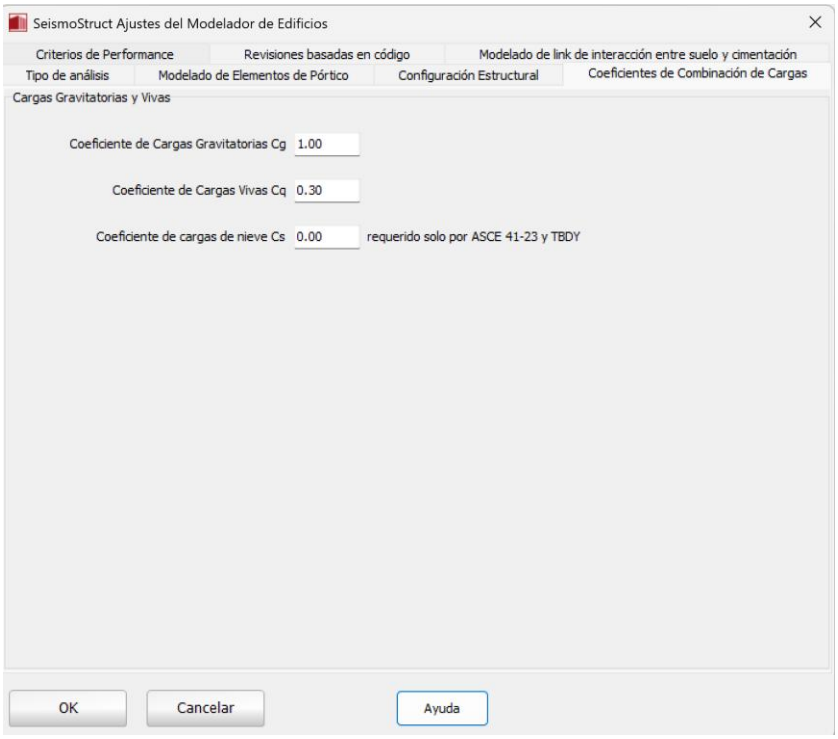
NOTA: El modelaje de la losa se lleva acabo mediante diafragmas rígidos; por tanto una losa rígida está implícitamente considerada en la configuración estructural, cuyo caso es el de la mayoría de los edificios de concreto reforzado. Las cargas de la losa (peso propio, cargas adicionales vivas y de gravedad) se aplican directamente a las vigas que sostienen la losa.

- **Configuración Estructural:** En la pestaña Configuración Estructural se define el número de plantas y sus alturas; Se podrá seleccionar un número de plantas de 1 a 100, con diferentes alturas en cada planta y la posibilidad de aplicar una altura común a varias plantas. También se podrán definir hasta tres plantas subterráneas (sótanos) y sus alturas. La selección predeterminada para este módulo es de 3 plantas con 3,00 m de altura cada una sin sótano.



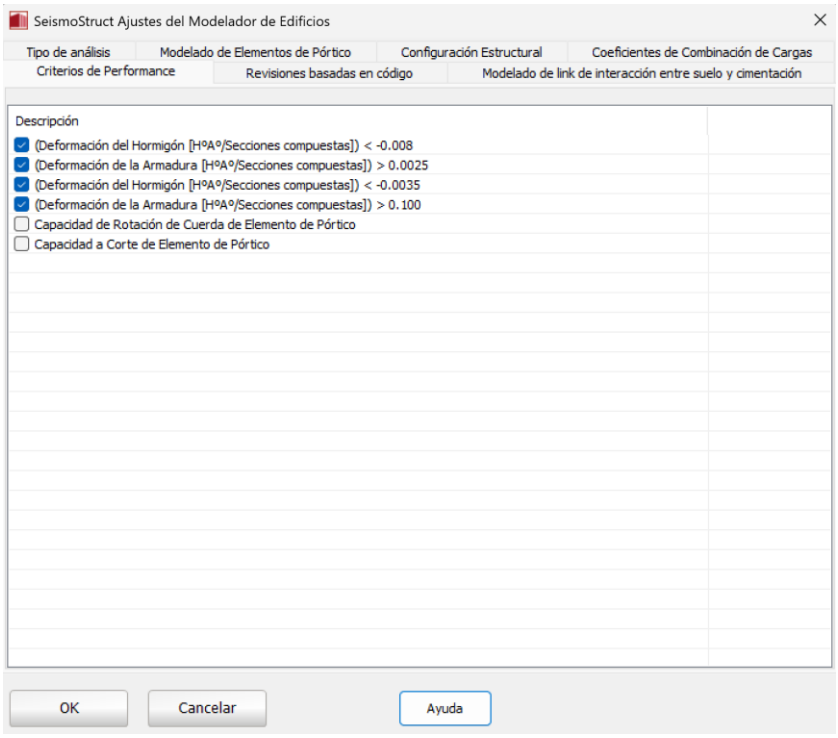
Módulo de Configuración Avanzada – Configuración Estructural

- **Coeficientes de Combinaciones de Carga:** Los coeficientes de combinaciones de carga para la Combinación Sísmica (p. ej. G+0.3·Q±E) de las cargas permanentes, vivas y de nieve (en el caso de ASCE 41-23 y TBDY) de las losas se definen aquí. La carga de cada losa se define separadamente en la Ventana de Propiedades de las losas.



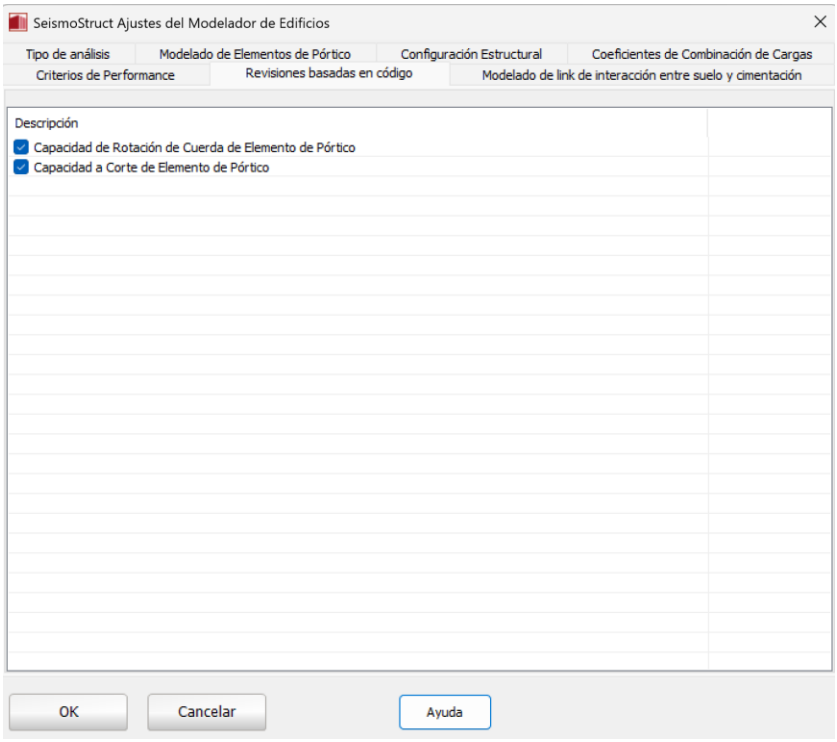
Módulo de Ajustes Avanzados – Coeficientes de Combinaciones de Carga

- **Criterios de Desempeño:** Los usuarios pueden seleccionar cuales tipos de criterios de desempeño incluir en el análisis. De manera predeterminada, la rotación de cuerda y la capacidad a cortante están seleccionados.



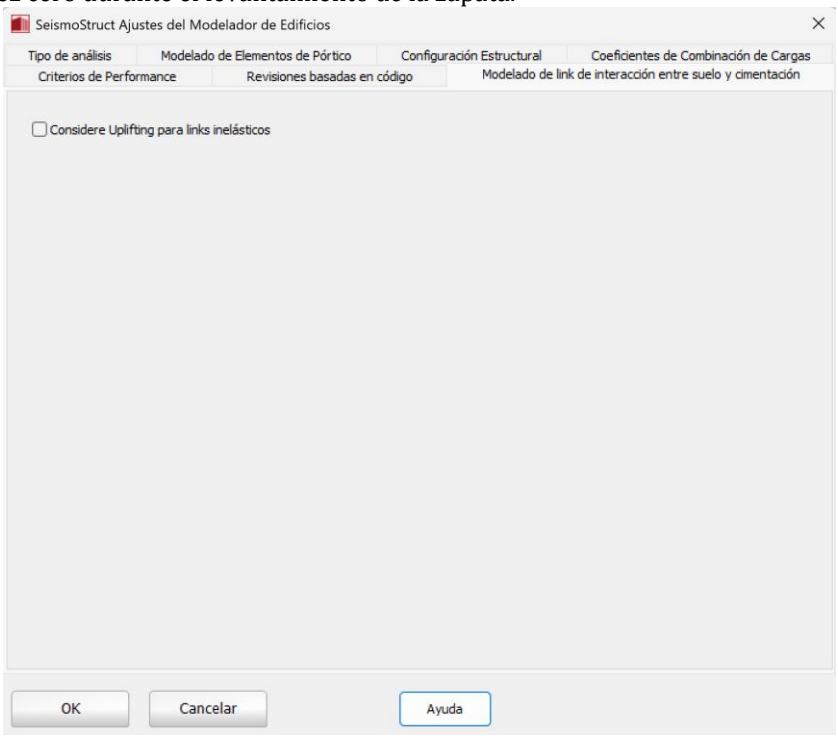
Módulo de Ajustes Avanzados – Criterios de Desempeño

- **Revisiones Basadas en Código:** Los usuarios pueden seleccionar cuales tipos de revisiones basadas en código incluir en el análisis. De manera predeterminada, la rotación de cuerda y la capacidad a cortante están seleccionados.



Módulo de Ajustes Avanzados – Revisiones Basadas en Código

- **Modelado del link de interacción suelo-cimentación:** Cuando se selecciona la casilla de verificación Considerar Levantamiento para Links inelásticos, el elemento Link de cimentación tiene rigidez cero durante el levantamiento de la zapata.



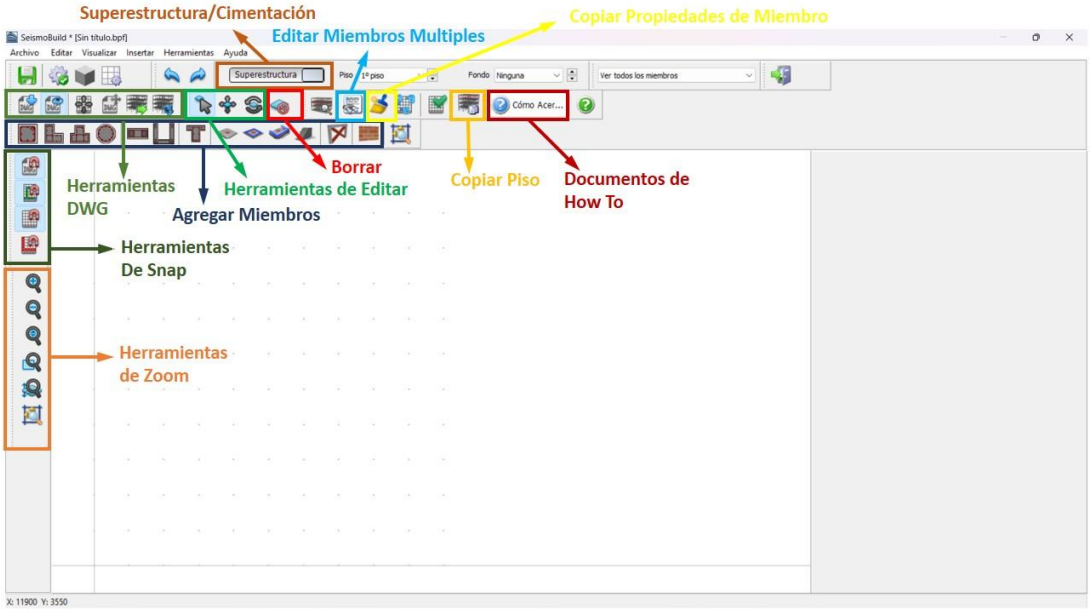
Módulo de Ajustes Avanzados – Modelado del link de interacción suelo-cimentación

Nótese que los Ajustes de Modelador de Edificio pueden cambiarse aún más usando el botón correspondiente de la barra de herramientas  .

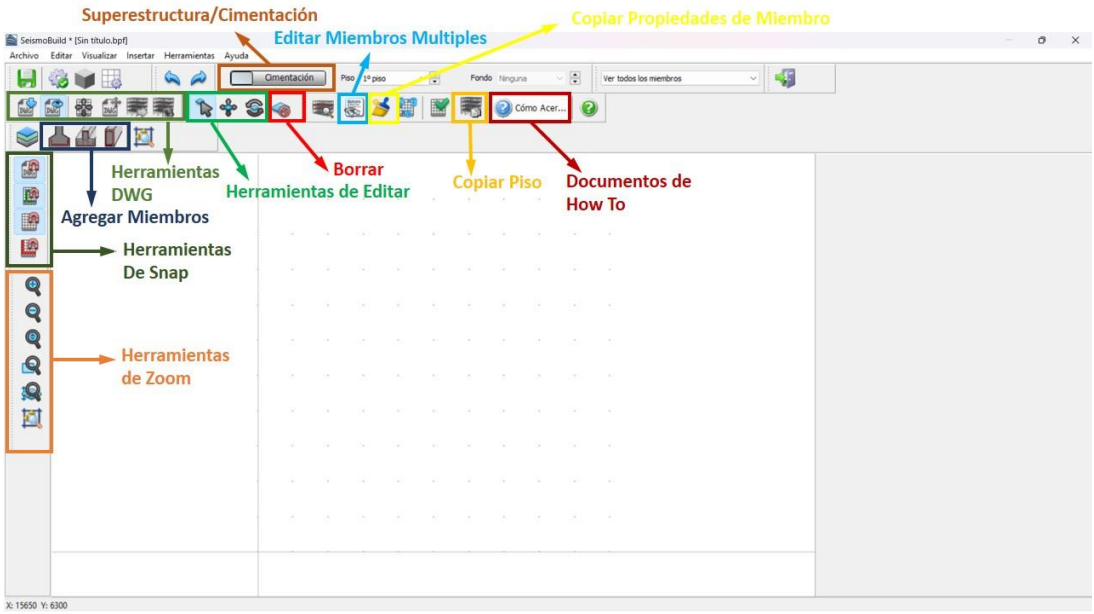
Ventana Principal del Modelador de Edificio

Luego de seleccionar los ajustes principales, los usuarios pueden definir la geometría del Nuevo edificio seleccionando el botón de *Crear Nuevo Proyecto.* La Ventana Principal del Modelador de Edificio aparecerá, como se muestra en la siguiente figura. El Modelador de Edificios incluye dos modos de trabajo diferentes, a saber, el modo de la Superestructura y el de la Cimentación. El usuario puede cambiar entre los dos modos a través del botón correspondiente en la barra de herramientas.

Los usuarios también pueden seleccionar qué tipo de miembros ver en el Modelador de Edificios. Las opciones disponibles son: (i) Ver estructura de hormigón, (ii) Ver rellenos y riostras de acero y (iii) Ver todos los miembros. Cuando se selecciona la primera opción, los rellenos y las riostras de acero ya importados en el modelo no se pueden seleccionar ni editar, mientras que cuando se selecciona la segunda opción, los miembros de viga o se pueden seleccionar ni editar.



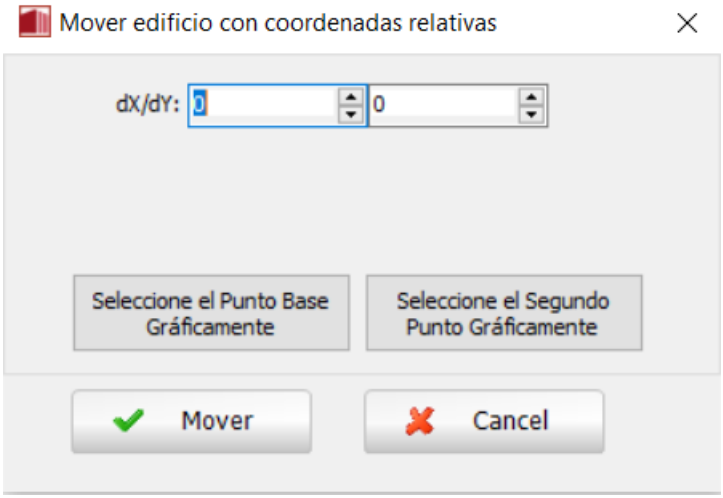
Ventana Principal del Modelador de Edificio (Superestructura)



Ventana Principal del Modelador de Edificio (Cimentación)

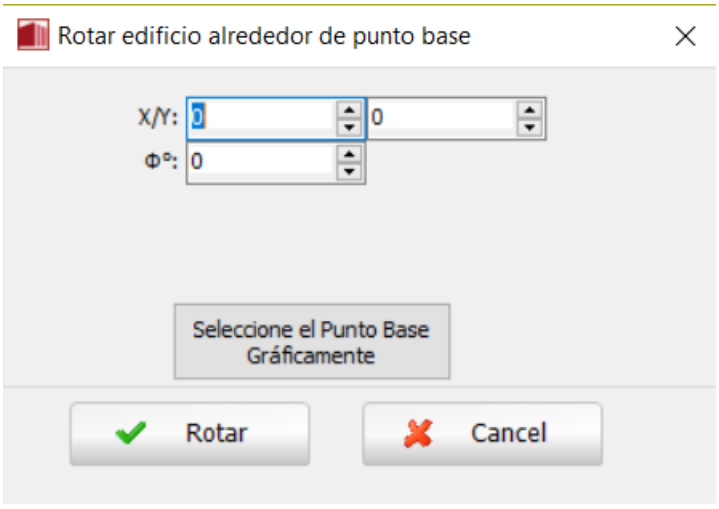
La posibilidad de insertar un dibujo de CAD se ofrece desde el menú principal (*Archivo > Importar DWG...*) o a través del botón de la barra herramientas correspondiente. Una vez el dibujo se ha insertado se le solicita al usuario asignar las unidades del dibujo y si mover o no el archivo DWG/DXF a la coordenada 0.0 (p. ej. el origen del sistema de coordenadas). Seleccionando esta casilla la esquina inferior izquierda del dibujo se moverá a las coordenadas (0.0), independientemente de sus coordinadas originales en el archivo CAD. Nótese que el origen de los ejes puede moverse a un punto diferente que sea más apropiado con el botón de la barra de herramientas *Mover Centro de Ejes*, también accesible desde el Menú (Vista > Mover Centro de Ejes). La opción de mover el dibujo de DWG importado también está disponible a través del botón de la barra de herramientas DWG () o desde el menú principal (Ver> Mover DWG).Además, desde el Menú (Ver > Mostrar/Esconder DWG) o a través del botón de la barra de herramientas la opción de tener visible o no el dibujo CAD puede definirse.

Los usuarios también pueden mover el edificio desde el menú principal (Herramientas> Mover edificio) o desde el botón de la barra de herramientas correspondiente, ya sea asignando las coordenadas relativas o seleccionando el punto base y el segundo punto gráficamente.



Ventana de Mover Edificio

La opción de girar el edificio en vista en planta también está disponible desde el menú principal (Herramientas> Mover edificio) o desde el botón de la barra de herramientas . Los usuarios deben especificar el punto base por sus coordenadas o gráficamente y asignar el ángulo de rotación.



Ventana de Rotal Edificio

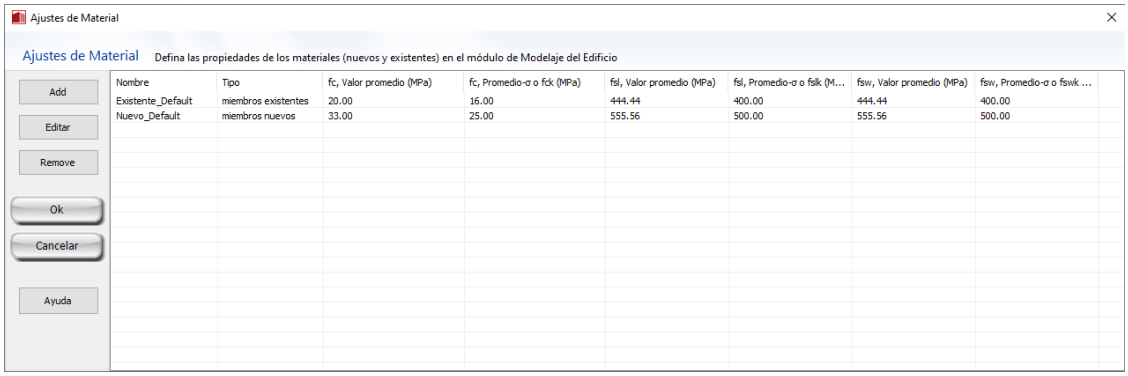
Insertar Miembros Estructurales

Los Ajustes de Materiales, las Propiedades Avanzadas de los Elementos y los Parámetros de Modelado son comunes a todas las ventanas de propiedades de las secciones, mientras que el Envoltura FRP está disponible en los elementos de hormigón armado y el Encamisado está disponible para los pilares y las vigas de hormigón armado.

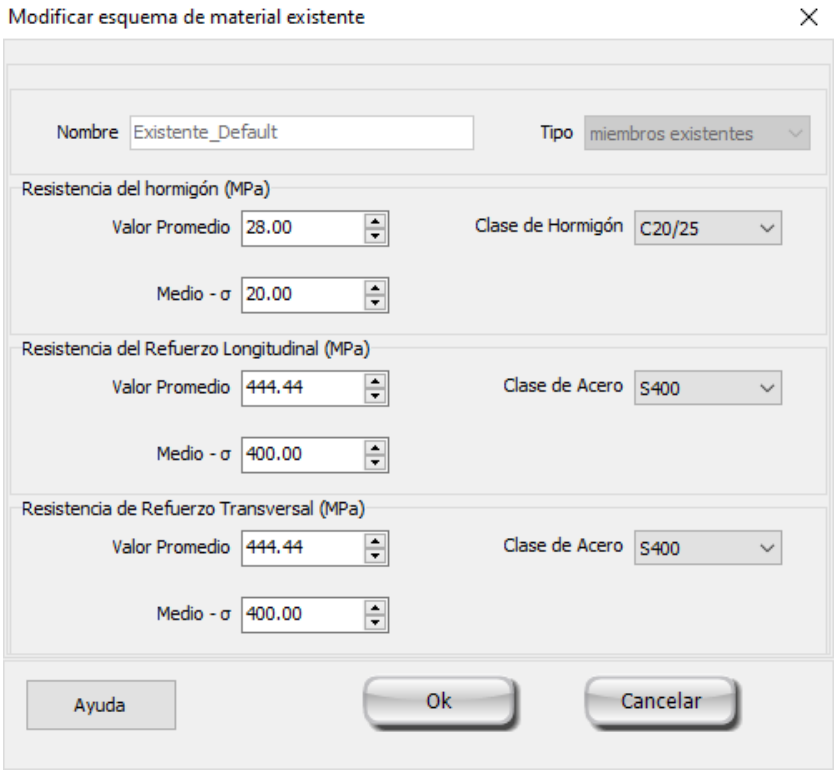
Nótese que una lista de documentos de Como-Hacer esta introducida para acceso rápido a toda la información referente al modelaje con el Modelador de Edificio.

Sets de Materiales

Las propiedades de Sets de Materiales pueden definirse desde el Menú (*Herramientas > Definir Sets de Materiales*), a través del botón correspondiente de la barra de herramientas  , o a través del botón de Definir Sets de Materiales dentro de la ventana de propiedades del elemento. Las propiedades requeridas del materiales dependen del tipo de miembro, p. ej. existentes o nuevos. Para los existentes la resistencia promedio y la resistencia promedio menos una desviación estándar se requieren, mientras que en materiales nuevos los valores de resistencia característica y resistencia promedio deberán asignarse. De manera predeterminada hay dos esquemas de materiales, una para elementos existentes y otra para elementos nuevos. Los usuarios pueden modificar los valores de los sets predeterminados, pero también deben agregar un set nuevo de material para cubrir las necesidades de su modelo (p. ej. cuando varias resistencias de material se usan en el sistema estructural).



Ventana de Sets de Material



Nuevo Esquema de Material

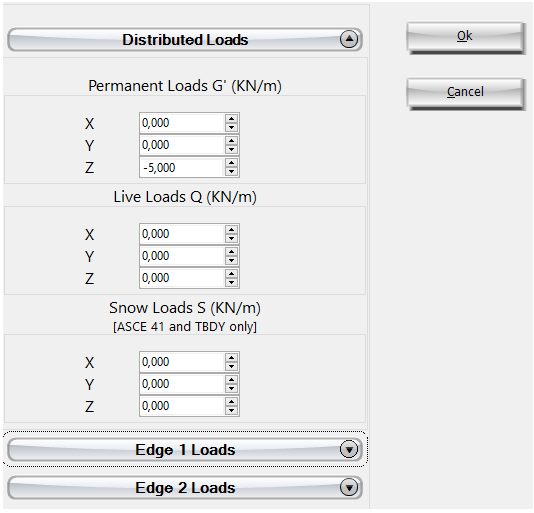
NOTA 1: Existe un límite en el número de esquemas de material que se pueden definir igual a 10. Los sets de materiales predefinidos no pueden removerse.

NOTA2: La opción de aplicar resistencias de material predefinidas, dependiendo del año de construcción del edificio, está disponible cuando esto está permitido por el Código seleccionado.

En las secciones de acero solo es necesario especificar la resistencia característica de fluencia y si el elemento es nuevo o existente.

Carga de Miembros

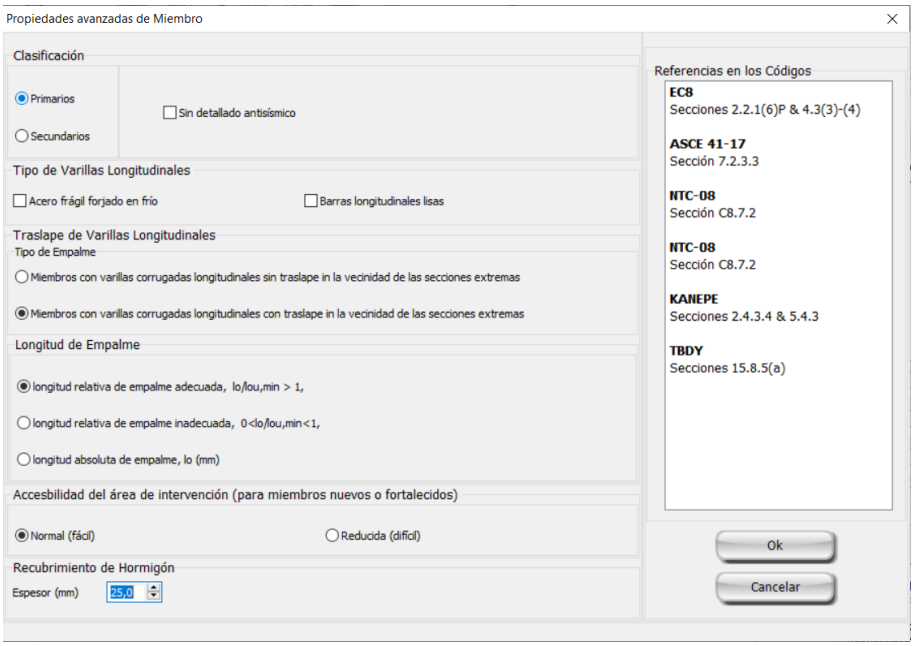
Se pueden definir cargas adicionales haciendo clic en el botón Cargas Distribuidas y en los Bordes para columnas y muros, y el botón Más Cargas para vigas. Los usuarios pueden definir fuerzas distribuidas uniformemente a lo largo de la longitud del miembro en las tres direcciones translacionales X, Y o Z, y fuerzas o momentos en cualquier dirección translacional o rotacional (X, Y, Z, RX, RY o RZ) en cualquiera de los dos bordes del miembro. Se pueden aplicar cargas permanentes adicionales G' (no asociadas con el peso propio de la estructura), cargas vivas Q y cargas de nieve S, siendo estas últimas aplicables solo a ASCE 41 y TBDY. Por defecto, todas las cargas son iguales a cero.



Ventana de Cargas Distribuidas y en los Borde

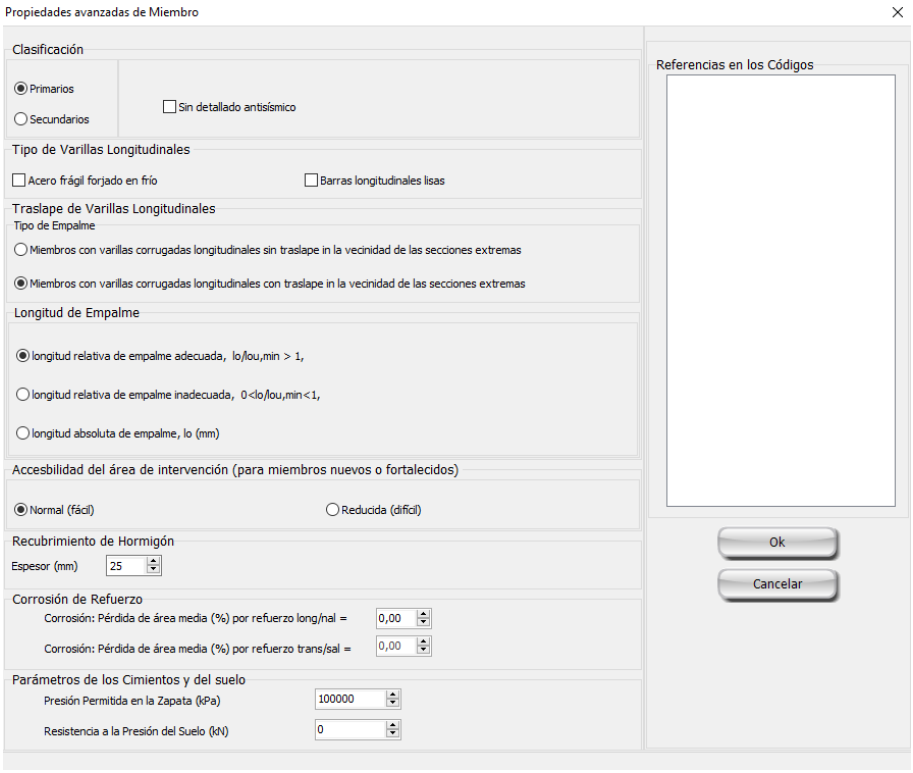
Propiedades Avanzadas de Miembro

Los ajustes basados en código del miembro pueden definirse desde la ventana de diálogo de Propiedades Avanzadas de Miembro, la cual puede accederse desde la Ventana de Propiedades. Aquí los usuarios pueden determinar la clasificación de un miembro (p. ej. miembro sísmico primario o secundario), si tiene o no provisiones y detallado para resistir terremotos, el espesor de su recubrimiento, el tipo de barras longitudinales (forjada en frío de acero frágil y varillas lisas sencillas longitudinales pueden asignarse), el tipo y longitud de traslape entre varillas longitudinales, así como la accesibilidad al área de intervención (requerida por el Código de Provisiones Sísmica Griego solamente). Nótese que la longitud de traslape puede definirse de tres maneras; (i) los miembros tienen una longitud de traslape relativa, comparada con el traslape mínimo para alcanzar deformación última (opción predeterminada); (ii) los miembros tiene una longitud relativa de traslape inadecuada (la razón entre la longitud de traslape aplicada y la longitud mínima de traslape para alcanzar la deformación última debe definirse); y (iii) los miembros tiene una longitud de traslape inapropiada (la longitud absoluta de traslape debe ser definirse).



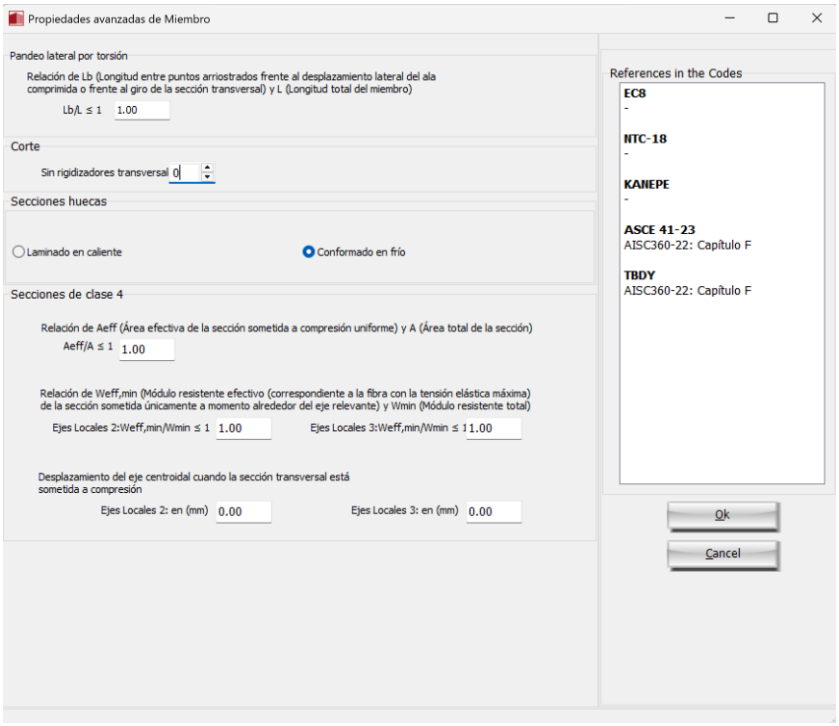
Módulo de Propiedades Avanzadas del Miembro

Para los elementos de cimentación (es decir, zapatas individuales y zapatas corridas) se deben definir dos parámetros más, a saber, la presión permitida en la zapata y la resistencia a la presión del suelo.



Parámetros de modelado de zapatas

Para los elementos de acero, los usuarios pueden definir varios parámetros relacionados con las verificaciones normativas, como la relación entre *Lb* (la longitud entre puntos arriostrados contra el desplazamiento lateral del ala comprimida o contra la torsión de la sección transversal) y *L* (la longitud total del elemento), la cual no debe superar 1.00. Los usuarios también pueden especificar el número de rigidizadores transversales e indicar si las secciones huecas son laminadas en caliente (*hot-finished*) o conformadas en frío (*cold-formed*). Para las secciones de Clase 4 según el Eurocódigo, los usuarios pueden definir la relación entre el área efectiva a compresión uniforme (*Aeff*) y el área total (*A*), así como las relaciones entre el módulo resistente efectivo (*Weff,min*) y el módulo resistente total (*Wmin*) para los ejes locales 2 y 3. Adicionalmente, los usuarios pueden asignar el desplazamiento del eje baricéntrico en compresión (*en*) para cada eje local.



Módulo de Propiedades Avanzadas de los Elementos para Secciones de Acero

Parámetros Avanzados de Modelaje

Los parámetros de modelado avanzado del miembro se pueden definir desde el cuadro de diálogo Parámetros Avanzados de Modelaje, al que se accede mediante la Ventana de Propiedades. Aquí, los usuarios pueden definir los tipos de material de concreto y acero y el tipo de elemento de marco que se utilizará para modelar el miembro estructural en SeismoStruct, junto con otras opciones de modelado, como el número de fibras de secciones y la asignación de liberaciones de Momento/Fuerza.

Los materiales y los tipos de elementos de marco que se utilizarán en un proyecto de SeismoStruct vienen definidos en la pestaña Modelaje Avanzado del Edificio del módulo Configuración Avanzada. Las elecciones realizadas en la pestaña Modelaje Avanzado del Edificio son las opciones "Predeterminadas" en la pestaña Propiedades Avanzadas de Miembro.

Catorce tipos de materiales están disponibles en SeismoStruct, seis tipos para concreto y ocho para acero. La lista completa de materiales se propone a continuación:

- Mander et al. modelo de concreto no lineal - con_ma
- Modelo concreto trilineal - con_tl
- Modelo concreto no lineal Chang-Mander - con_cm
- Modelo concreto no lineal Kappos y Konstantinidis - con_hs
- Modelo concreto para Hormigón Flexible (ECC) - con_ecc
- Modelo concreto de Kent Scott y Park - con_ksp
- Modelo de acero Menegotto-Pinto - stl_mp
- Modelo de acero Giuffre-Menegotto-Pinto - stl_gmp
- Modelo de acero bilineal - stl_bl
- Modelo de acero bilineal con endurecimiento por deformación isotrópico- stl_bl2
- Modelo de acero Ramberg-Osgood - stl_ro
- Modelo de acero Dodd-Restrepo - stl_dr
- Modelo de acero Monti-Nuti - stl_mn
- Modelo por Riostras de Acero Restringidas al Pandeo - stl_brb

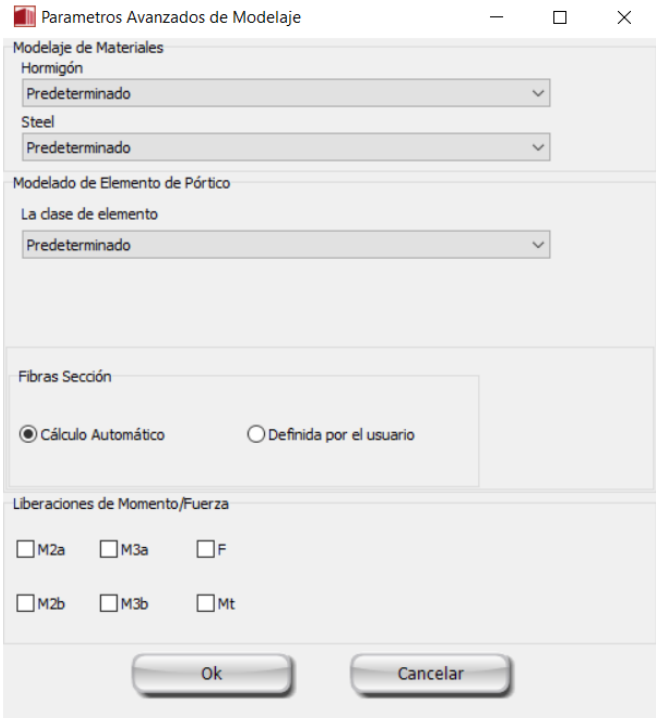
Para obtener una descripción completa de los tipos de materiales, consulte el Apéndice C - Materiales.

Se pueden emplear diferentes tipos de elementos de marco o pórtico dentro de los miembros estructurales. Los usuarios pueden seleccionar entre elementos inelásticos de pórtico con formulación basada en fuerzas (infrmFB), elementos de inelásticos de pórticode rótula plástica con formulación basada en fuerzas (infrmFBPH), elementos inelásticos de pórtico de rótula plástica con formulación basada en desplazamientos (infrmDBPH), elementos inelásticos de pórtico con formulación basada en desplazamientos (infrmDB) y elementos elásticos de pórtico (elfrm). Se sugiere que el tipo de elemento inelástico de pórtico con formulación basada en desplazamientos (infrmDB) se emplee para miembros cortos, una elección que mejora tanto la precisión como la estabilidad del análisis.

NOTA: las revisiones basadas en código no se ejecutan para el miembro del tipo de elemento de pórtico elástico (elfrm). Por lo tanto, este tipo de elemento se puede emplear solo para casos especiales de modelado, cuando se espera un comportamiento del miembro elástico.

Además, debe definirse el número de fibras de sección utilizadas en los cálculos de equilibrio llevados a cabo en cada una de las secciones de integración del elemento. El usuario puede asignar el número de fibras de su elección o puede seleccionar el cálculo automático, según el cual se definen 50 fibras para el área de concreto de un miembro de menos de 0.1 m^2 y 200 fibras para el área de concreto de un miembro de más de 1m^2, mientras que la interpolación lineal se ejecuta para los valores intermedios. Cada barra de refuerzo longitudinal se define con 1 fibra adicional; añadido al número de fibras de concreto antes mencionado.

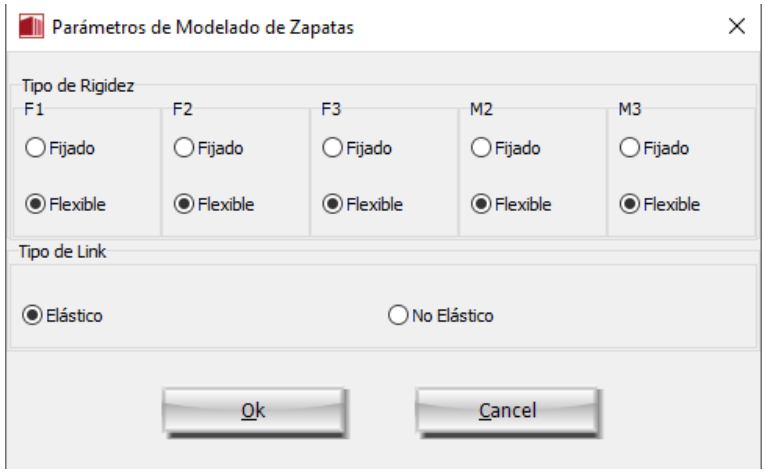
Finalmente, los usuarios también pueden 'liberar' uno o más de los grados de libertad del elemento (fuerzas o momentos).



Módulo de Parámetros Avanzados de Modejale

Parámetros de Modelado de Zapatas

Los parámetros de modelado para los miembros de cimentación se pueden especificar en Parámetros de Modelado Avanzados para Miembros de Cimentación. En particular, para Zapatas Individuales y Zapatas Corridas donde la conexión al suelo se modela mediante links. Se puede especificar el tipo de Link (Elástico o Inelástico) a utilizar y también existe la opción de Fijar o definir como Flexible cualquiera de los seis grados de libertad del Link.

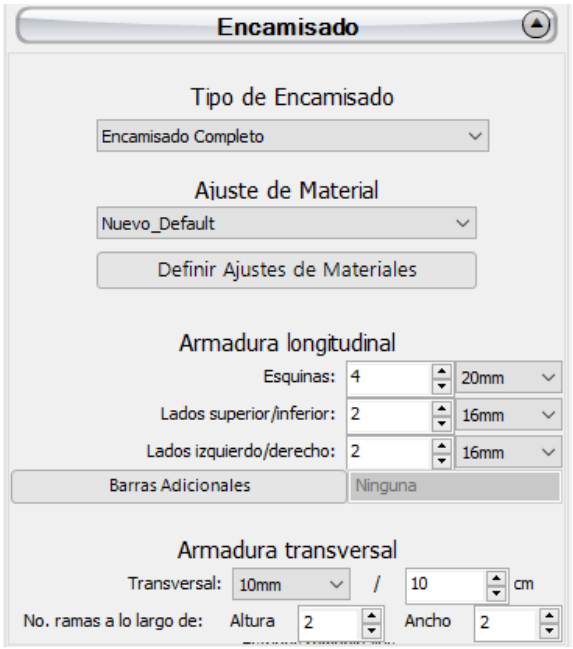


Parámetros de Modelado de Zapatas

Encamisado

El Encamisado de hormigón armado se puede asignar a columnas y vigas a través del Módulo del Encamisado. Los usuarios, dependiendo de la sección, pueden seleccionar insertar un encamisado completo, de 3 caras, de 2 caras o de una cara.

Se puede definir el conjunto de materiales de las secciones encamisadas, así como el refuerzo longitudinal y transversal del encamisado.

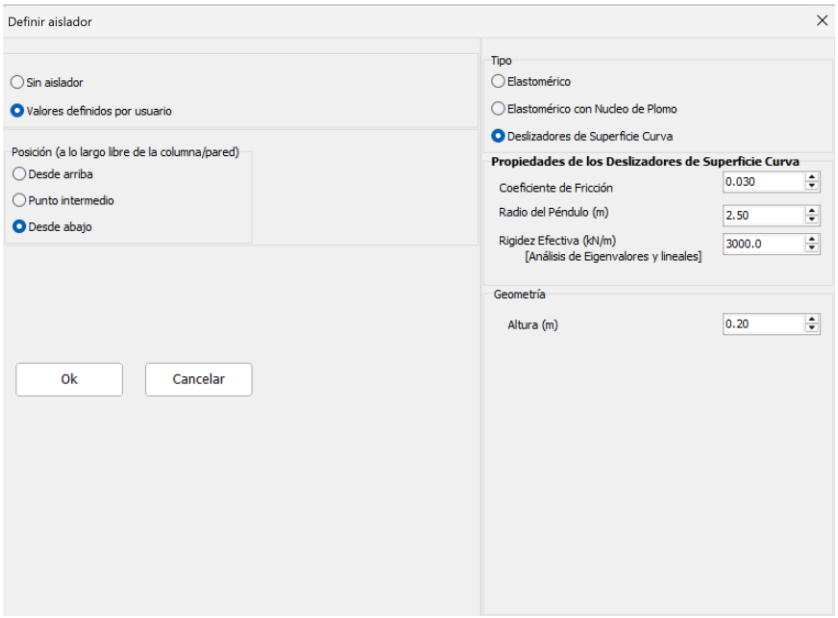


Módulo del Encamisado

Aislador

Se pueden agregar aisladores en diferentes ubicaciones de columnas y paredes. Se asignan a columnas/paredes a través del módulo del Aislador, donde el usuario puede seleccionar la geometría (ubicación -punto inferior, superior o intermedio- y la altura del aislador), su tipo (elastomérico, elastomérico con nucleo de plomo o deslizador de superficie curva), los parámetros del aislador: las rigideces vertical y horizontal, la resistencia al Cortante y la razón de endurecimiento por deformación (para aisladores elastoméricos y elastoméricos con nucleo de plomo) o el coeficiente de fricción y el

radio del péndulo (para aisladores de superficie curva, también conocidos como sistema de péndulo por fricción (Friction Pendulum Systems, FPS).

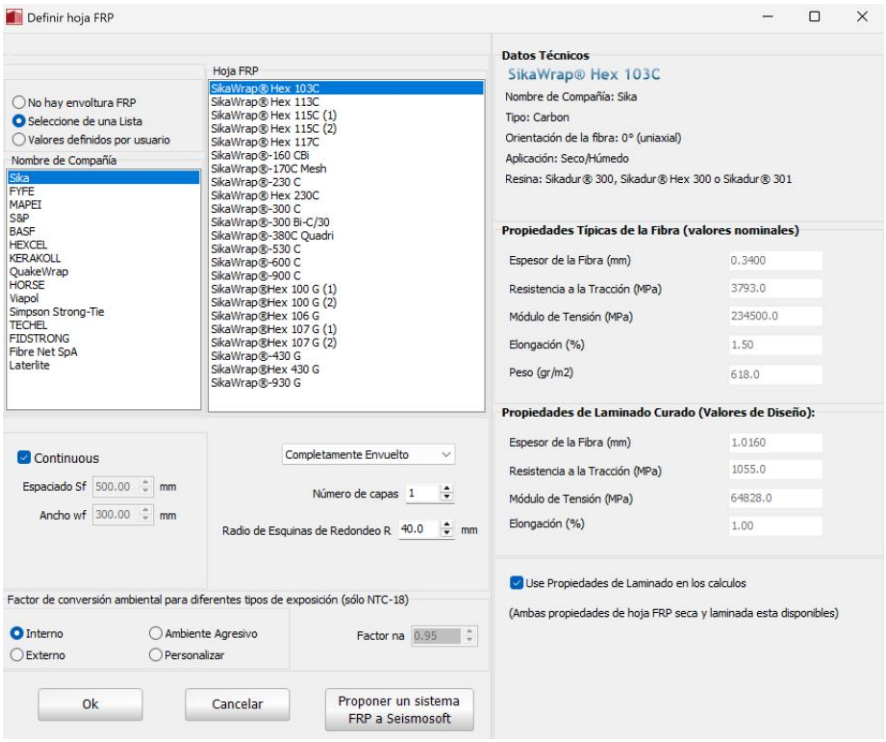


Módulo aislador

Envoltura FRP

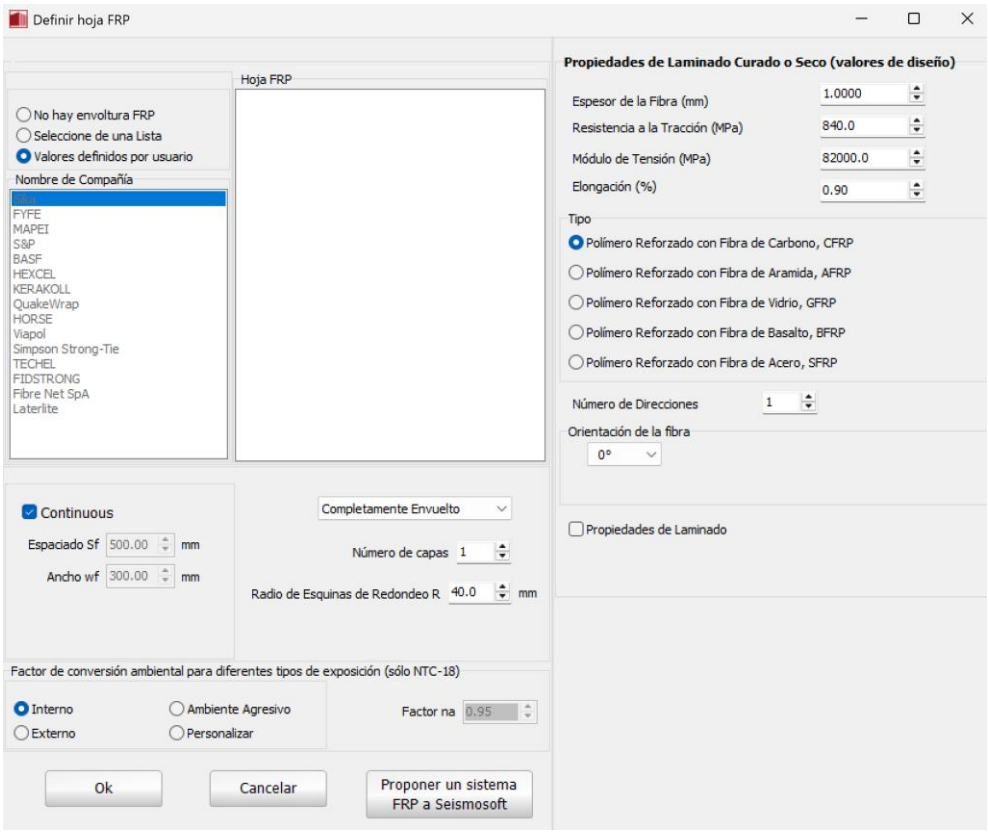
Las envolturas con FRP pueden asignarse a las columnas por medio del módulo de Envoltura FRP. Los usuarios pueden seleccionar la hoja FRP de una lista de los productos más comunes del mercado, o alternativamente introducir valores definidos por el usuario.

También puede definirse el número de capas aplicadas, así como si deben emplearse en los cálculos las propiedades del FRP en estado seco (*dry*) o en forma de lámina (*laminate*). El usuario puede además especificar si el recubrimiento de FRP es continuo, o bien definir la separación entre las telas y el ancho de la banda. Asimismo, puede seleccionarse la configuración de revestimiento alrededor del elemento existente (para pilares solo está disponible la opción de revestimiento completo, mientras que para vigas se proporcionan opciones adicionales, como el revestimiento por 3 lados o por 2 lados, incluyendo el uso de anclaje mecánico en los extremos abiertos). Dado que se consideran secciones rectangulares, también puede especificarse el radio de redondeo de las esquinas *R*, un parámetro crítico en la aplicación de recubrimientos de FRP. Finalmente, debe definirse el Factor de Conversión Ambiental.



Módulo Seleccione de una Lista

Cuando los usuarios optan por especificar valores definidos por el usuario, la información requerida incluye: el tipo de lámina de FRP (fibras de carbono, aramida, vidrio, basalto o acero), sus propiedades en forma de lámina (*laminate*) o en estado seco (*dry*), el número de direcciones de fibra y su orientación respecto a la dirección longitudinal de la lámina, así como la configuración de revestimiento alrededor del elemento existente. Los usuarios también deben definir si el recubrimiento de FRP es continuo o, en caso contrario, especificar la separación entre las telas y el ancho de banda, el número de capas y el radio de redondeo de las esquinas *R*.



Módulo de Valores Definidos por Usuario

Finalmente, los sistemas FRP se pueden proponer a Seismosoft a través del botón "Proponer sistema FRP a Seismosoft" para incluir en las siguientes versiones del programa. Aquí, se le solicita al usuario asignar el nombre de sistemas FRP, el enlace donde la información del producto puede encontrarse y las propiedades técnicas de la hoja de FRP.



Ventana de Proponer Sistema FRP

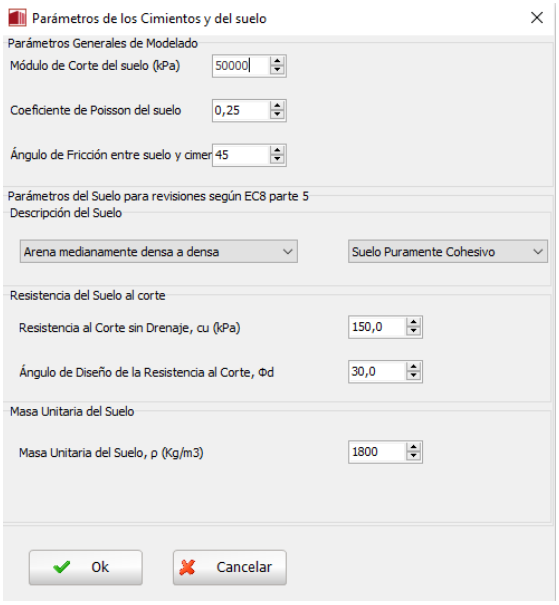
Parámetros del Suelo para la Cimentación

Cuando se trabaja en el modo de Cimentación, el usuario puede definir los parámetros del suelo para la cimentación. Después de seleccionar el botón en la barra de herramientas principal, aparecerán los Parámetros del suelo para la cimentación, donde se pueden definir explícitamente las siguientes propiedades:

(1) Parámetros generales de modelado

- Módulo de corte del suelo
- Coeficient de Poison del suelo
- Ángulo de fricción interna del suelo

(2) Parámetros del suelo para revisiones basados en códigos según EC8 parte 5 (es decir, empleados en Eurocódigo, NTC y KANEPE)
- Descripción del suelo
- Parámetros de resistencia al corte del suelo que incluyen:
  a. la resistencia no drenada al cortante, cu, y,
  b. el ángulo de diseño de la resistencia al cortante, Φd
- La unidad de masa del suelo



Ventana Definir parámetros del suelo para cimentación

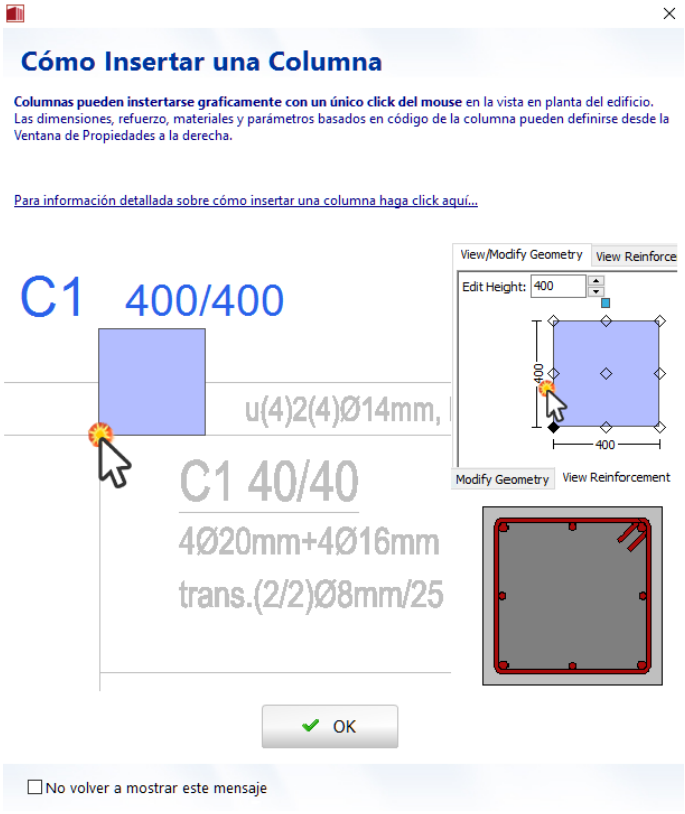
Miembros Tipo Columna

Las columnas pueden insertarse desde el menú principal (Insertar >...) o a través de los botones correspondientes de la barra de herramientas. La Ventana de Propiedades aparecerá donde las siguientes propiedades puede definirse explícitamente:

(i) (i) Geometría, es decir, las dimensiones (alto y ancho)
(ii) Condiciones de borde, es decir, si es de longitud total o de longitud libre, asignándose la diferencia de longitud en este último caso y el nivel de cimentación
(iii) Materiales
(iv) Armadura
(v) Encamisado
(vi) Aislador
(vii) Envoltura de FRP
(viii) Modelado avanzado, que incluye las propiedades avanzadas de los miembros y los parámetros de modelado.

Los miembros tipo columna pueden insertarse en el proyecto con único clic del mouse.

Una vez seleccionado el comando de Insertar Columna, un mensaje informativo aparecerá dando una breve información sobre cómo insertar una columna.



Ventana de Cómo-hacer para Insertar una Columna

Actualmente, trecetipos de sección están disponibles:

- *Columna Rectangular*
- *Columna en forma de L*
- *Columna en forma de T*
- *Columna Circular*
- *Columna Rectangular Encamisada*
- *Columna Rectangular Encamisada de 3 caras*
- *Columna Rectangular Encamisada de 2 caras*
- *Columna Rectangular Encamisadade 1 cara*
- *Columna encamisada en forma de L*
- *Columna encamisada de3 carasen forma de L*
- *Columna encamisada en forma de T*
- *Columna encamisada de 3 carasen forma de T*
- *Columna encamisada Circular*

Para una discusión exhaustiva sobre la inserción de columnas en el Modelador de Edificio refiérase al Apéndice E – Miembros del Modelador de Edificio.

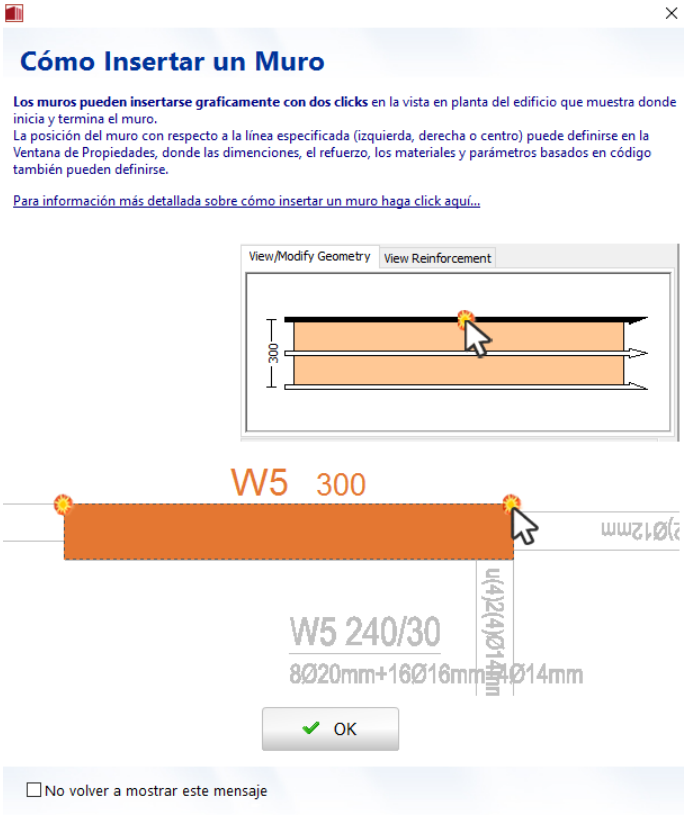
Miembros tipo Muro

Los muros pueden insertarse desde el menú principal (insertar >...) o a través del botón correspondiente de la barra de herramientas. La Ventana de Propiedades aparecerá y las propiedades se definen de manera explícita de manera similar al de las columnas. Los muros apoden insertarse en el proyecto definiendo sus bordes, únicamente se necesitan dos clics del mouse.

Actualmente, los siguientes tipos de muro están disponibles en el Modelador de Edificios:

- *Muro*
- *Muro Compuesto*

Una vez seleccionado el comando de Insertar Muro es seleccionado, un mensaje informativo aparecerá, dando información breve sobre cómo insertar un muro.



Ventana de Cómo-hacer para Insertar un Muro

Para una discusión exhaustiva sobre la inserción de muros en el Modelador de Edificio refiérase alApéndice E – Miembros del Modelador de Edificio.

Si se selecciona el botón para insertar un Muro Compuesto, una ventana informativa aparecerá proponiendo la mejor manera de insertar secciones de muros compuestos. De acuerdo con investigaciones recientes (Beyer K., Dazio A., and Priestley M.J.N. [2008]), la mejor manera de subdividir sistemas no planares de muros en secciones es dividiendo el área de la esquina entre el ala y los muros. De esta manera, la varilla esquinera interna se atribuye a ambos el alma y el ala de la sección, mientras que la varilla exterior no se asigna a ninguna sección, modelando correctamente así el área total de refuerzo.



Modelaje de Sistemas de Muro

NOTA: Enlaces horizontales se asignan automáticamente por el programa para poder conectar los elementos verticales definidos.

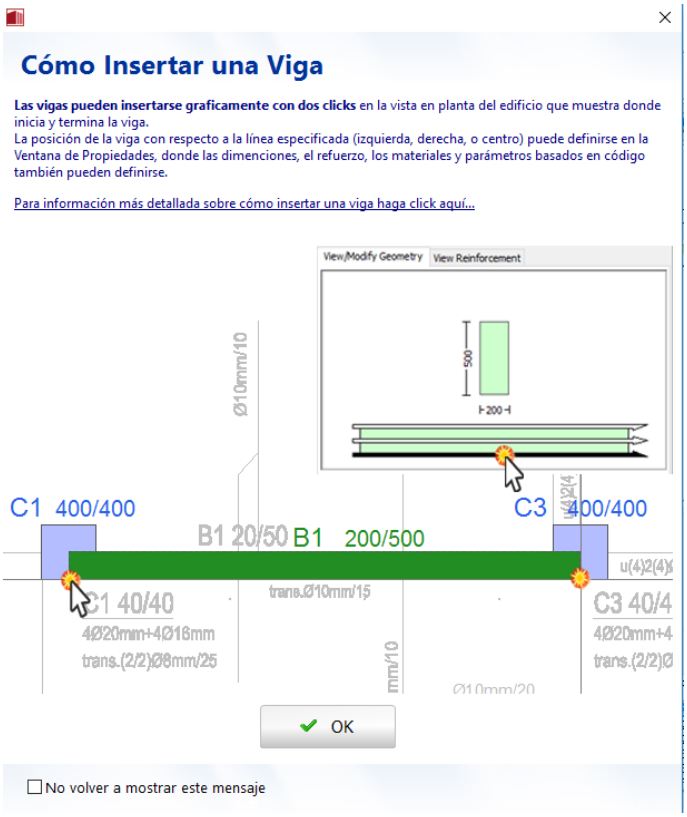
Miembros tipo Viga

Las vigas pueden insertarse desde el menú principal (Insertar >...) o a través de los botones correspondientes de la barra de herramientas. Varios parámetros adicionales deben especificarse adicionalmente a aquellos requeridos para las columnas, p. ej. si es una viga inclinada (en este caso la altura de los dos extremos debe especificarse), la carga permanente adicional y las tres secciones de integración de la viga (en el centro y los dos extremos). Las vigas pueden insertarse en el proyecto definiendo sus bordes con dos clics del mouse. Luego de asignar las vigas y las losas, la decisión de incluir el ancho efectivo y personalizar su valor, así como si los miembros tipo viga serán invertidos, puede hacerse.

Actualmente, dos tipos están disponibles en el Modelador de Edificio:

- Viga
- Viga Encamisada
- Viga Encamisada de 3 caras
- Viga Encamisada de 1 cara

Una vez seleccionado el comando de Insertar Viga es seleccionado, un mensaje informativo aparecerá, dando información breve sobre cómo insertar una viga.



Ventana de Cómo-hacer para insertar una Viga

Para una discusión exhaustiva sobre la inserción de vigas en el Modelador de Edificio refiérase al Apéndice E – Miembros del Modelador de Edificio.

Paredes de Relleno

Las paredes rellenos se pueden insertar desde el menú principal (Insertar>…) o mediante el botón correspondiente de la barra de herramientas. Es necesario especificar los principales parámetros que afectan la resistencia del muro, cuales son, las principales características geométricas (porcentaje de aberturas y altura) y mecánicas de los ladrillos y del mortero (dimensiones del ladrillo, espesor del mortero, resistencia a la compresión del ladrillo, resistencia a la compresión del mortero), así como el porcentaje de las aberturas en la pared y el peso específico de la pared.

Cuando se selecciona el comando Insertar relleno, aparece un mensaje informativo que proporciona información sobre cómo insertar una Pared de Relleno.



Ventana de Como Insertar una Pared de Relleno

Para obtener una descripción completa sobre las inserciones de Paredes de Relleno en el Modelador de Edificio, consulte el Apéndice E: Modelador de Edificios.

Riostras de Acero

Las riostras de acero se pueden insertar desde el menú principal (Insertar>…) o mediante los botones correspondientes de la barra de herramientas. Aparecerá la ventana de Propiedades donde se pueden definir las siguientes propiedades de la riostra:

- Tipo de Riostra: Actualmente, los siguientes tipos están disponibles: (i) Riostra tipo tensor en X con diagonales conectadas, (ii) Riostra tipo trensor en X con diagonales desconectadas, (iii) Riostra Diagonal (iv) Riostra diagonal invertida (v) Riostra de Tipo V y (vi) Riostra de Tipo V Invertida (Riostra de Chevron)
- La sección de acero de los miembros de la riostra
- El límite elástico del acero de la riostra
- El tipo de conexión al pórtico de (articulada o fija)
- Los parámetros de modelado

Cuando se selecciona el comando Insertar Riostra de Acero, aparece un mensaje informativo que proporciona información breve sobre cómo insertar unariostra.



Ventana de Como Insertar una Riostra de Acero

Para obtener una descripción completa sobre las inserciones de riostras de acero en el Modelador de Edificios, consulte el Apéndice E: Modelador de Edificios.

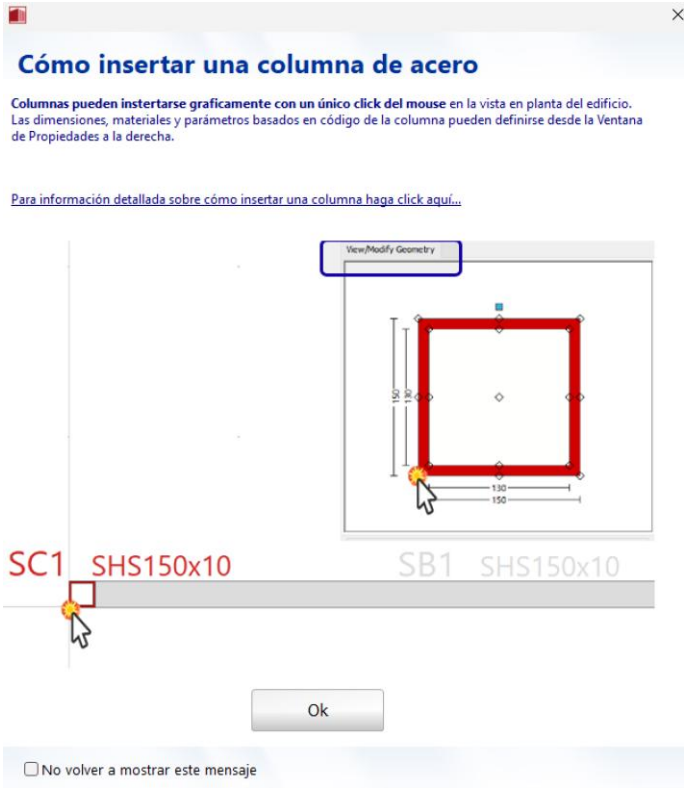
Columna de Acero

Las columnas de acero pueden insertarse desde el menú principal (Insertar > ...) o mediante el botón correspondiente de la barra de herramientas. Se abrirá la Ventana de Propiedades de la columna de acero, donde pueden definirse explícitamente las siguientes propiedades:

i. Geometría, es decir, la sección de acero que se utilizará
ii. Condiciones de Apoyo, es decir, si es de longitud completa (full length) o de longitud libre (free length), asignando en este último caso la diferencia de longitud y el nivel de cimentación
iii. Materiales
iv. Cargas
v. Aislador
vi. Modelado Avanzado

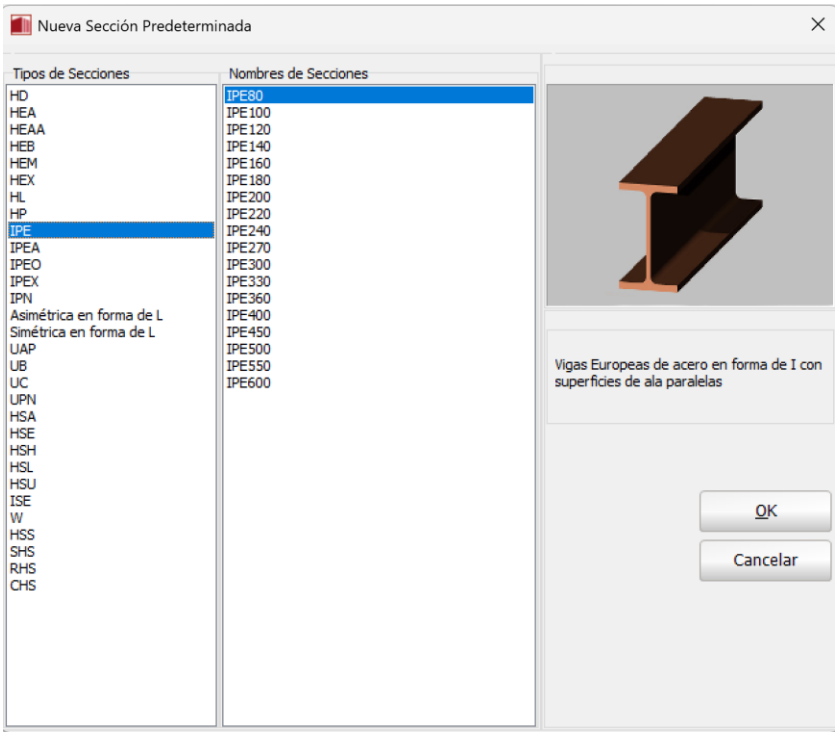
Los elementos de columna de acero pueden insertarse en el proyecto con un solo clic del ratón.

Una vez seleccionada la orden *Insertar Columna de Acero*, aparece un mensaje informativo que proporciona una breve explicación sobre cómo insertar una columna de acero.



Cómo Insertar una Columna de Acero

Se dispone de una base de datos con las secciones de acero más comunes (p. ej., HEA, HEB, IPE, etc.), así como secciones W y HSS.



Para una descripción completa sobre la inserción de columnas de acero en el Building Modeller, remítase al **Apéndice E – Building Modeller**.

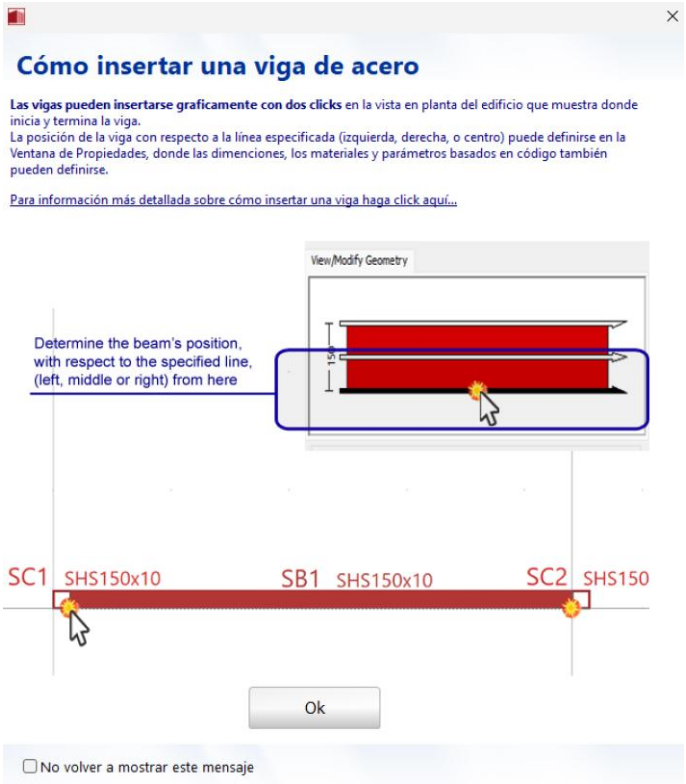
Viga de Acero

Las vigas de acero pueden insertarse desde el menú principal (Insertar > ...) o mediante el botón correspondiente de la barra de herramientas. Se abrirá la Ventana de Propiedades de la viga de acero, donde pueden definirse explícitamente las siguientes propiedades:

i. Geometría, es decir, la sección de acero que se utilizará
ii. Materiales
iii. Cargas
iv. Modelado Avanzado

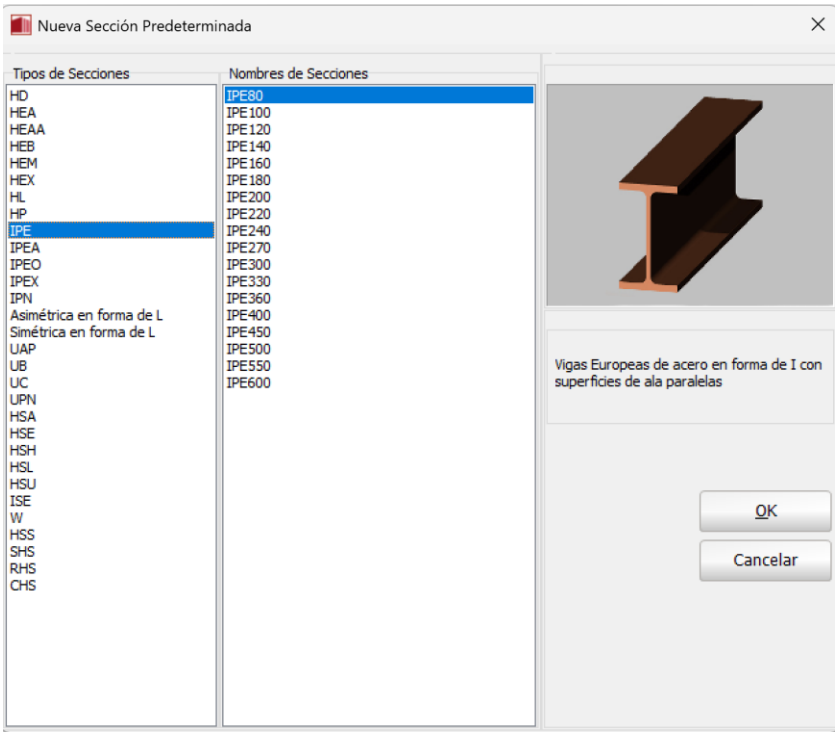
Los elementos de viga de acero pueden insertarse en el proyecto definiendo sus extremos con dos clics del ratón.

Una vez seleccionada la orden Insertar Viga de Acero, aparece un mensaje informativo que proporciona una breve explicación sobre cómo insertar una viga de acero.



Cómo Insertar una Viga de Acero

Se dispone de una base de datos con las secciones de acero más comunes (p. ej., HEA, HEB, IPE, etc.), así como secciones W y HSS.



Para una descripción completa sobre la inserción de vigas de acero en el Building Modeller, remítase al Apéndice E – Building Modeller.

Losas

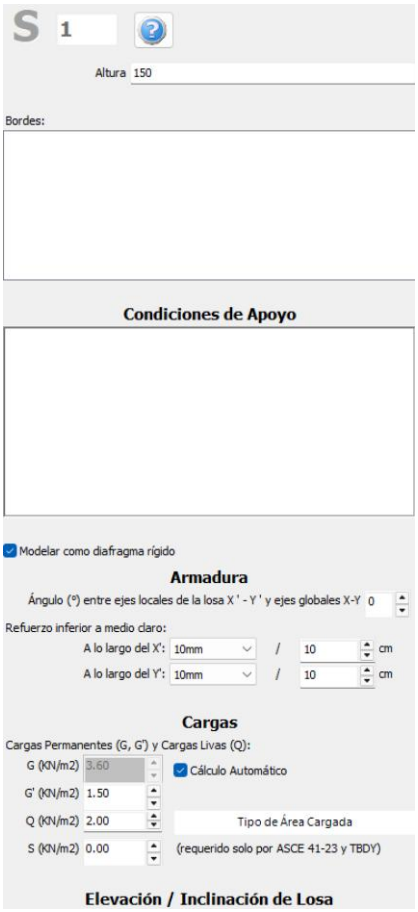
La inserción de losas puede hacerse a través del Menú (*Insertar > Losa*) o dando clic en el botón de la barra de herramientas. Antes de agregar la losa, un mensaje informativo aparecerá, dando información breve sobre cómo insertar una losa.



Ventana de Cómo hacer para Insertar una Losa

Una losa puede definirse con un único clic del mouse en cualquier área rodeada por miembros estructurales (columnas, muros y vigas).

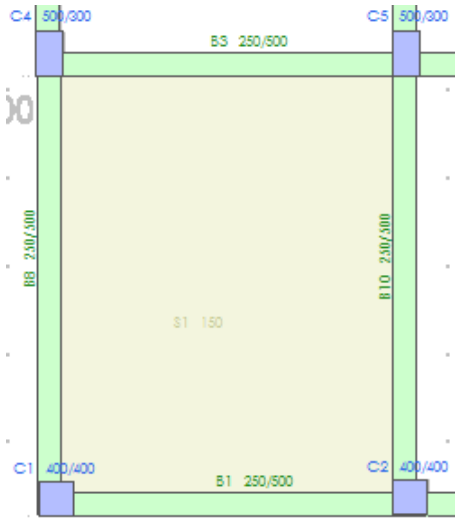
En la Ventana de Propiedades de la losa los usuarios pueden definir (i) la altura de sección, (ii) (ii) si se modelará como diafragma rígido, (iii) el refuerzo y su rotación en los ejes X &Y, y (iv) el peso propio y las cargas permanentes adicionales, cargas vivas y de nieve; las últimas requeridas solamente por ASCE 41-23 y TBDY. El peso propio de las losas puede calcularse automáticamente e incluirse en el modelo estructural o puede usarse un valor definido por el usuario. Las cargas vivas de la losa se definen automáticamente por el programa una vez lo usuarios seleccionan el tipo apropiado de área cargada, o se puede asignar un valor definido por el usuario.



Ventana de Propiedades de Losa

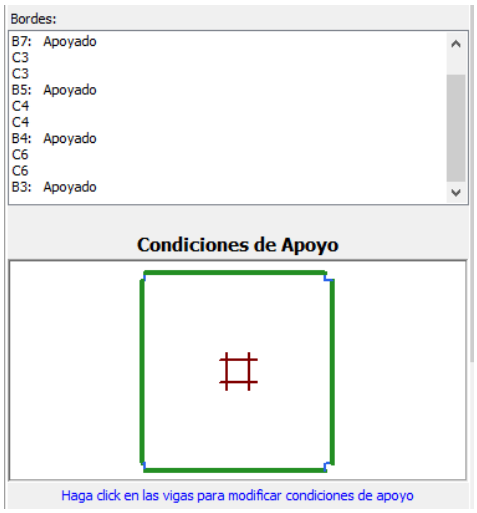


Tipo de Área Cargada



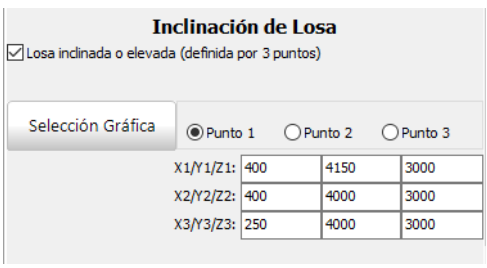
Inserción de Losa

Luego de definir una losa, los usuarios pueden modificar sus condiciones de apoyo, ajustando así las vigas en las cuales se distribuye la carga de las losas.



Condiciones de Apoyo de la Losa

Adicionalmente la inclinación de la losa puede modificarse, especificando la elevación en tres puntos que pueden seleccionarse gráficamente. La elevación de las vigas vecinas y la altura de columna se ajustarán automáticamente y las columnas se subdividirán en miembros cortos de requerirlo así el programa, p. ej. en casos donde dos o más vigas están apoyadas en la misma columna a niveles diferentes, creándose así columnas cortas.



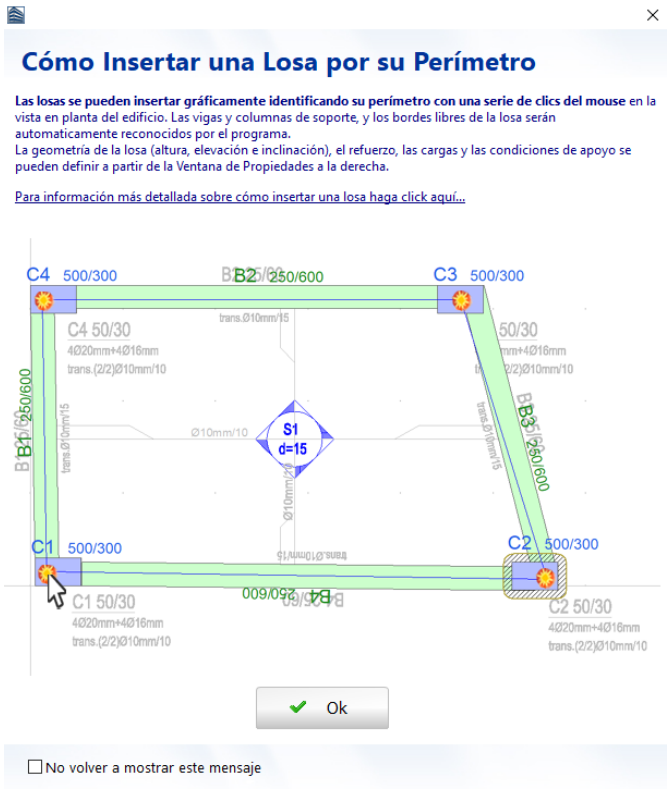
Inclinación de Losa

NOTA 1: El refuerzo de la losa se aplica en el ancho efectivo de las vigas en el perímetro de la losa. Obviamente, cuando los usuarios no incluyen el ancho efectivo en el modelaje, los ajustes de dicho refuerzo se hacen redundantes.

NOTA 2: El modelaje de la losa se lleva acabo mediante diafragmas rígidos; por tanto una losa rígida está implícitamente considerada en la configuración estructural, cuyo caso es el de la mayoría de los edificios de concreto reforzado. Las cargas de la losa (peso propio, cargas adicionales vivas y de gravedad mutiplicadas por sus coeficientes correspondientes en el módulo de Ajustes de Modelador de Edificio de Siesmostruct) se transforman en masas, basándose en el valor g, y se aplican directamente a las vigas que sostienen la losa.

Losa por Perímetro

Las losas de cualquier geometría pueden definirse en el Modelador de Edificios seleccionando *Insertar> Insertar losa por perímetro* desde el menú (o mediante el botón correspondiente de la barra de herramientas). Aparece un mensaje informativo que proporciona información breve sobre cómo insertar una losa por perímetro.



Cómo insertar una losa por su perímetro

Después de definir el perímetro de la losa identificando sus esquinas, se debe hacer clic en el botón "Aplicar e Insertar Losa". La losa se asigna automáticamente.



Dibujar losa por su perímetro

NOTA 1: Las losas se modelan en SeismoStruct como diafragmas rígidos que conectan las vigas, columnas y paredes en su perímetro y como cargas adicionales aplicadas a las vigas. Obviamente, en el caso de las losas en voladizo, no se crea diafragma rígido y una losa solo se considera como masa adicional en la viga de soporte; adicional se toma en cuenta para las cargas permanentes y vivas de las losas.

NOTA 2: Cuando el perímetro asignado no define un área cerrada, el primer punto se conecta automáticamente por el programa con el último para asignar la nueva losa.

Borde Libre

Losas en voladizo también pueden definirse in el Modelador de Edificio. Para hacerlo, un Borde Libre debe agregarse desde el Menú (*Insertar > Borde libre*) o a través del botón correspondiente de la barra de herramientas. Un mensaje informativo aparecerá dando información breve sobre cómo insertar un Borde Libre.



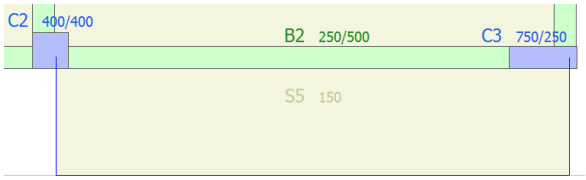
Ventana de Cómo hacer para Insertar una Losa

Luego de definir los puntos esquineros del Borde Libre, debe darse clic sobre el botón de “Aplicar”. Una vez dibujado, el Borde Libre se utiliza para delinear la forma de losa.

NOTA: Las losas se modelan en SeismoStruct como diafragmas rígidos que conectan vigas, columnas y paredes en su perímetro y como cargas adicionales aplicadas a las vigas. Obviamente, en el caso de losas en voladizo no se crea un diafragma rígido y la losa se considera como una masa adicional en las vigas de apoyo; la masa adicional toma en cuenta la carga permanente y viva de la losa misma.



Dibujar Borde Libre



Crear nueva losa en voladizo

Escaleras

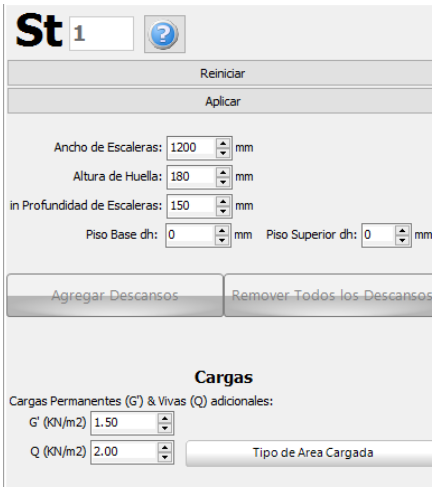
La inserción de escaleras puede hacerse a través del Menú (*Insertar > Escaleras*) o haciendo clic en el botón de la barra de herramientas. Un mensaje informativo aparecerá dando información breve sobre cómo insertar Escaleras.



Ventana de Cómo insertar Escaleras

Las escaleras pueden definirse fácilmente por su línea centro. Los descansos pueden aplicarse a través del botón de "Agregar Descansos" luego de insertar un miembro de escaleras en el proyecto. Los dos extremos de los descansos necesitan especificarse gráficamenteen la línea centro. Los descansos definidos pueden removerse usando el botón "Remover Todos los Descansos".

En la Ventana de Propiedades, los usuarios pueden definir el ancho de las escaleras, la altura de las gradas, la profundidad mínima de las escaleras, la diferencia de elevación con respecto a la base y el nivel superior, así como el peso propio y cargas permanentes adicionales vivas y de nieve, esto último solo es requerido por ASCE 41-23 y TBDY. El peso propio de las escaleras puede calcularse automáticamente de acuerdo con la geometría de las escaleras, los materiales y el peso específico o se puede usar un valor definido por el usuario.



Ventana de Propiedades de Escaleras

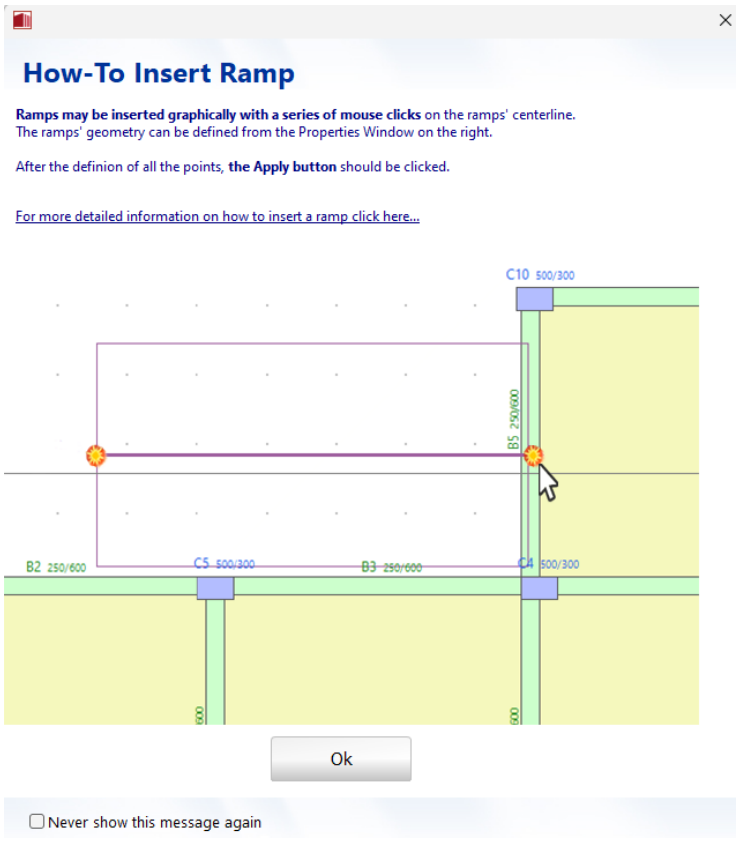


Tipo de Área Cargada

NOTA: Las losas en SeismoStruct se modelan con elementos elásticos del ancho y profundidad especificados.

Rampas

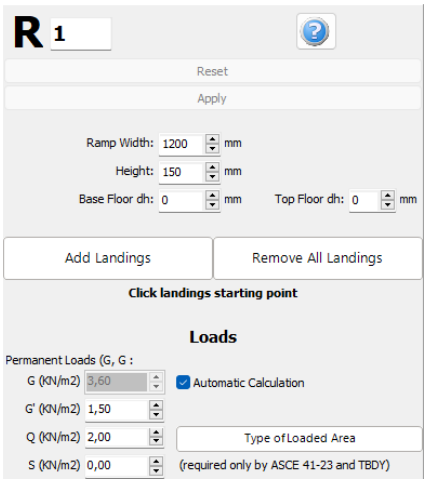
La inserción de rampas puede hacerse a través del Menú (*Insertar > Rampas*) o haciendo clic en el botón de la barra de herramientas. Un mensaje informativo aparecerá dando información breve sobre cómo insertar Rampas.



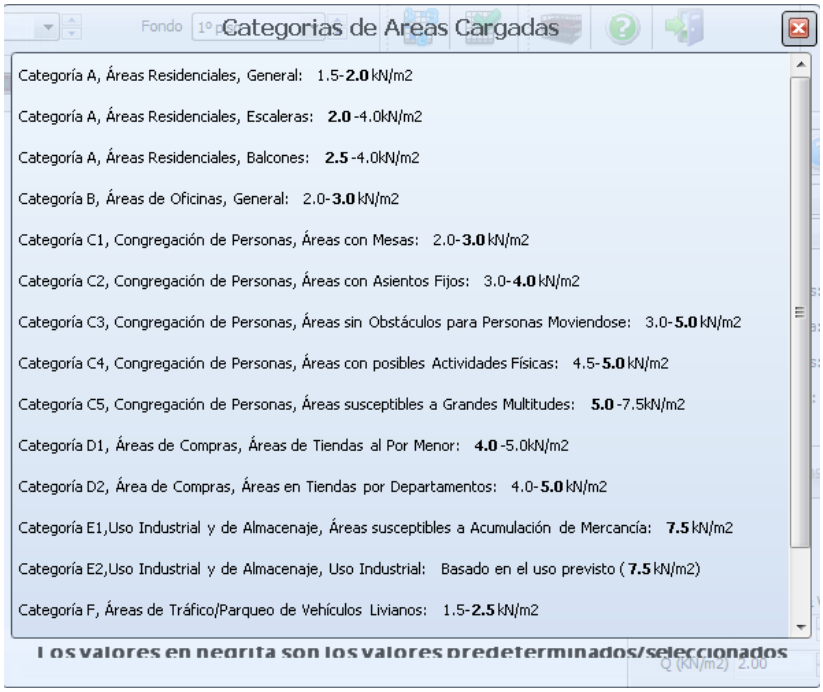
Ventana de Cómo insertar Rampas

Las rampas pueden definirse fácilmente por su línea centro. Los descansos pueden aplicarse a través del botón de "*Agregar Descansos*" luego de insertar un miembro de rampas en el proyecto. Los dos extremos de los descansos necesitan especificarse gráficamente en la línea centro. Los descansos definidos pueden removerse usando el botón "*Remover Todos los Descansos*".

En la Ventana de Propiedades, los usuarios pueden definir el ancho de las rampas, la altura, la diferencia de elevación con respecto a la base y el nivel superior, así como el peso propio y cargas permanentes adicionales vivas y de nieve, esto último solo es requerido por ASCE 41-23 y TBDY. El peso propio de las rampas puede calcularse automáticamente de acuerdo con la geometría de las rampas, los materiales y el peso específico o se puede usar un valor definido por el usuario.



Ventana de Propiedades de Rampas



Tipo de Área Cargada

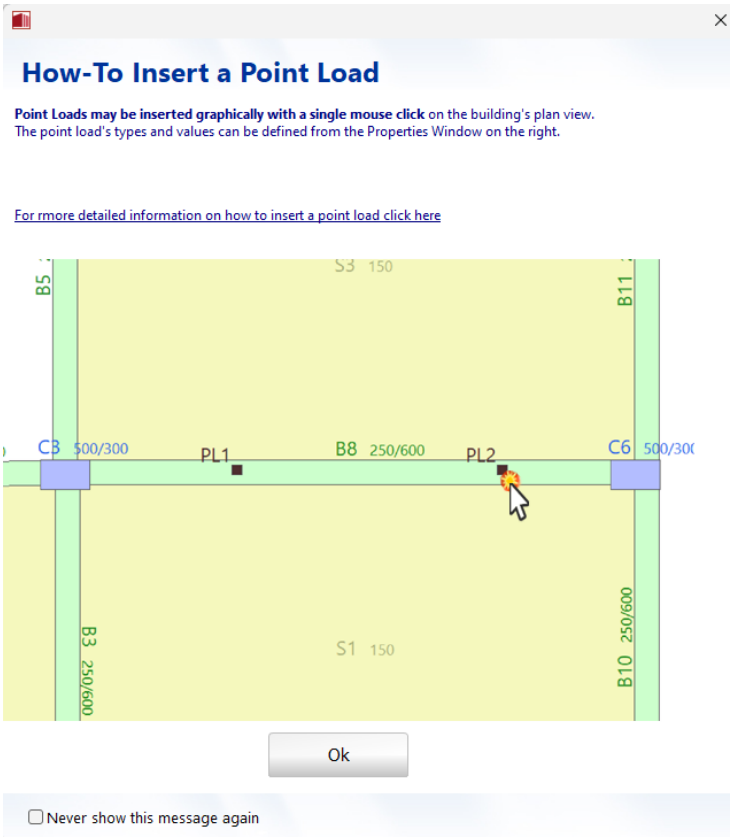
NOTA: Las rampas en SeismoStruct se modelan con elementos elásticos del ancho y profundidad especificados.

INSERCIÓN DE CARGAS

En SeismoBuild, las cargas se definen de tres maneras: (i) a partir de la transformación de las masas de los miembros estructurales a cargas, basadas en el valor de la gravedad (g), lo cual se realiza automáticamente por el programa, (ii) en las Ventanas de Propiedades de Columnas, Muros, Vigas, Losa, Escaleras y Rampas, (iii) haciendo clic en Insertar Carga Puntual e Insertar Carga Lineal. Para más detalles sobre la segunda opción, los usuarios pueden consultar la descripción correspondiente del miembro.

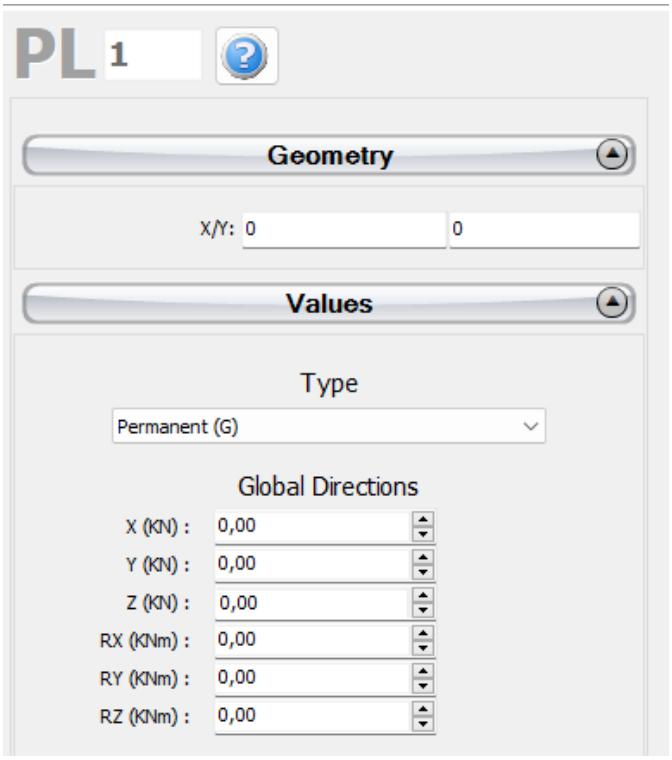
Cargas Puntuales

Existen dos tipos de cargas puntuales disponibles. Cargas puntuales en losas, que pueden ser insertadas desde el menú (*Insertar > Carga Puntual en Losa*) o a través del botón correspondiente en la barra de herramientas  . Cargas puntuales en Elementos de Marco, aplicadas en vigas, columnas y muros, que pueden ser insertadas desde el menú (*Insertar > Carga Puntual en Elementos de Marco*) o a través del botón correspondiente en la barra de herramientas  .

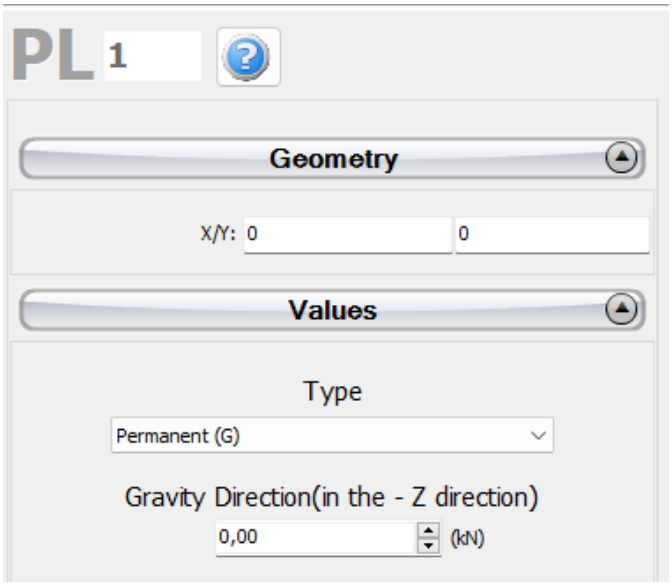


Ventana de Inserción de Carga Puntual

Las cargas puntuales en las losas solo pueden insertarse en la dirección de la gravedad, mientras que las cargas puntuales en los elementos de marco pueden insertarse en cualquier dirección, es decir, X, Y, Z, RX, RY y RZ. Se pueden asignar cargas permanentes, variables y de nieve en ambos tipos de cargas puntuales.



Ventana de Propiedades de Carga Puntual en Miembros de Marco



Ventana de Propiedades de Carga Puntual en Losas

Después de definir todas las propiedades de la carga puntual, la nueva carga puntual puede ser añadida gráficamente con un simple clic del mouse en la vista del plano del edificio.

Una vez insertada la carga puntual, las coordenadas del punto aplicado y su valor pueden ser modificados desde su Ventana de Propiedades.

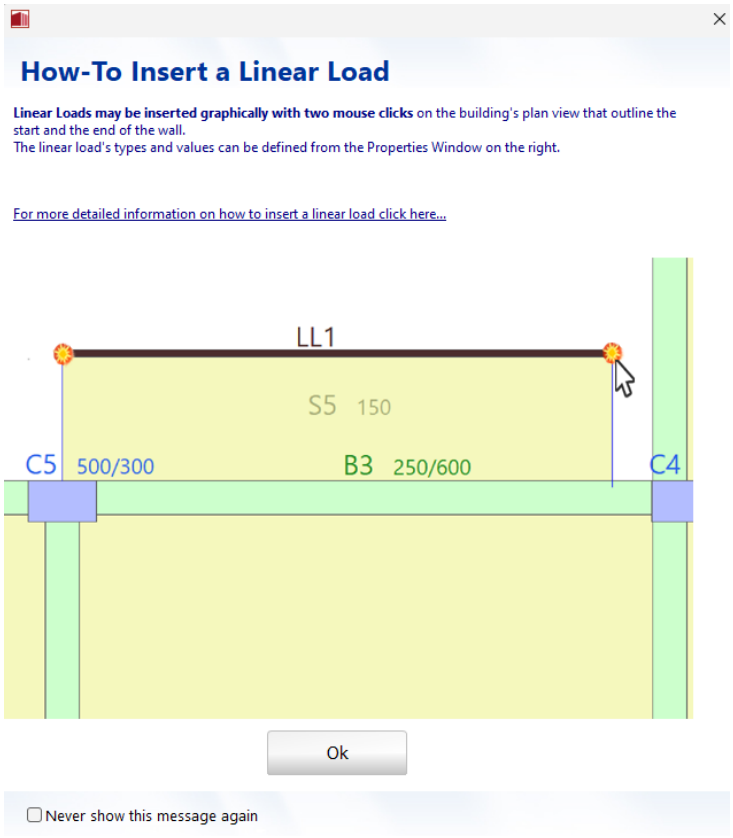
NOTA 1: Cuando se asigna una carga puntual a una viga, la viga se subdivide automáticamente, lo que da lugar a la creación de dos miembros. Si la carga puntual está cerca del inicio o del final de la viga, se aplica automáticamente en el borde de la viga.

NOTA 2: Cuando se asigna una carga puntual a un pilastro o una parete, se aplica automáticamente en el borde superior del pilastro/parete al nivel de la losa.

NOTA 3: Las cargas puntuales de la losa se transforman en masas, basadas en el valor de g, y se aplican directamente a la viga de soporte más cercana según la discretización de la losa.

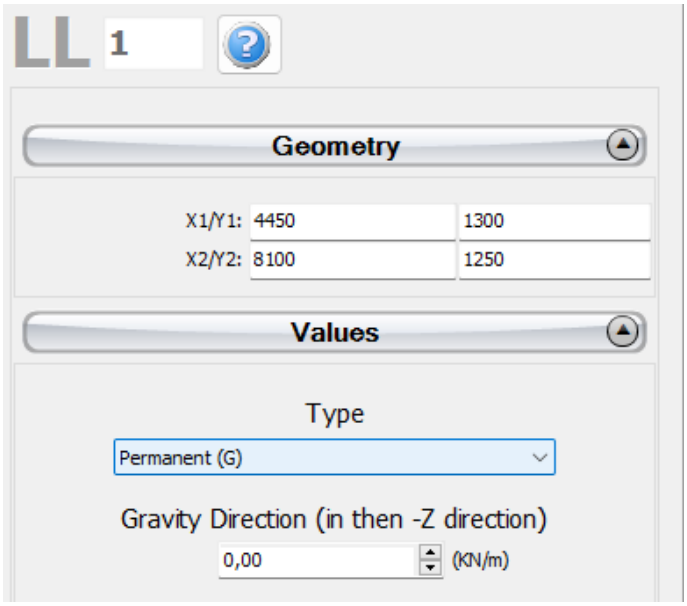
Cargas Lineales

Las cargas lineales pueden insertarse desde el menú (*Insertar > Carga Lineal*) o a través del botón correspondiente en la barra de herramientas  . Aparecerá un mensaje informativo proporcionando una breve explicación sobre cómo insertar una carga lineal.



Ventana de Inserción de Carga Lineal

Las cargas lineales pueden insertarse en la vista de planta en cualquier miembro de concreto armado y se aplican en la dirección de la gravedad. Se pueden asignar cargas permanentes, variables y de nieve.



Ventana de Propiedades de Carga Lineal

Después de definir todas las propiedades de la carga lineal, la nueva carga lineal puede ser añadida gráficamente con dos clics del ratón en la vista del plano del edificio, que definen el inicio y el final de la carga lineal.

Después de la inserción de la carga lineal, las coordenadas del punto de inicio y del punto final de la carga lineal, así como su valor, pueden ser modificados desde su Ventana de Propiedades.

NOTA: Las cargas lineales se transforman en masas, basadas en el valor de g, y se aplican directamente al elemento de soporte más cercano.

INSERCIÓN DE MIEMBROS DE LA CIMENTACIÓN

La cimentación de la superestructura se puede modelar introduciendo zapatas, vigas de conexión y zapatas corridas. Para activar la capacidad de insertar elementos de cimentación, los usuarios deben seleccionar trabajar en el modo de Cimentación en lugar del modo de superestructura. Cuando se trabaja en el modo de cimentación, los miembros verticales de la superestructura (es decir, columnas, muros, etc.) están visibles para que el usuario pueda definir su cimentación.

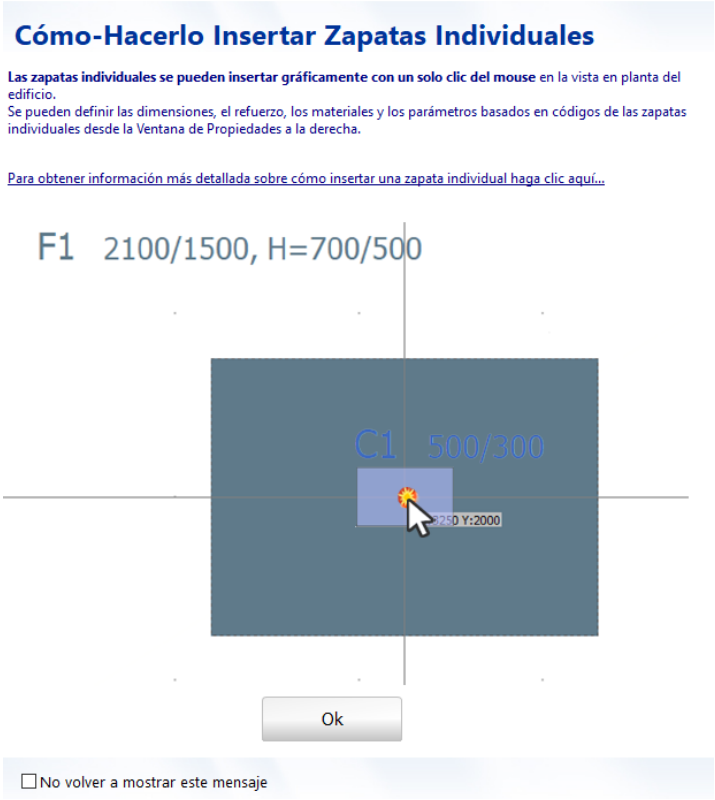
Zapatas Individuales

Las Zapatas Individuales se pueden insertar haciendo clic en el botón  de la barra de herramientas correspondiente. Aparecerá la ventana de propiedades de las Zapatas Individuales, donde se pueden definir explícitamente las siguientes propiedades:

(i) Geometría, es decir, las dimensiones (alto y ancho)
(ii) Materiales
(iii) Carga
(iv) Modelado avanzado, que incluye las propiedades avanzadas de los miembros y los parámetros de modelado

Las Zapatas Individuales se pueden insertar en el proyecto con un solo clic del mouse siempre que una columna ya insertada esté completamente encerrada por la zapata individual en la posición donde se introduce la Zapata Individual.

Una vez que se selecciona el comando Insertar una Zapata Individual, aparece un mensaje informativo que brinda información breve sobre cómo insertar una Zapata Individual.



Ventana de Cómo insertar Zapatas Indviduales

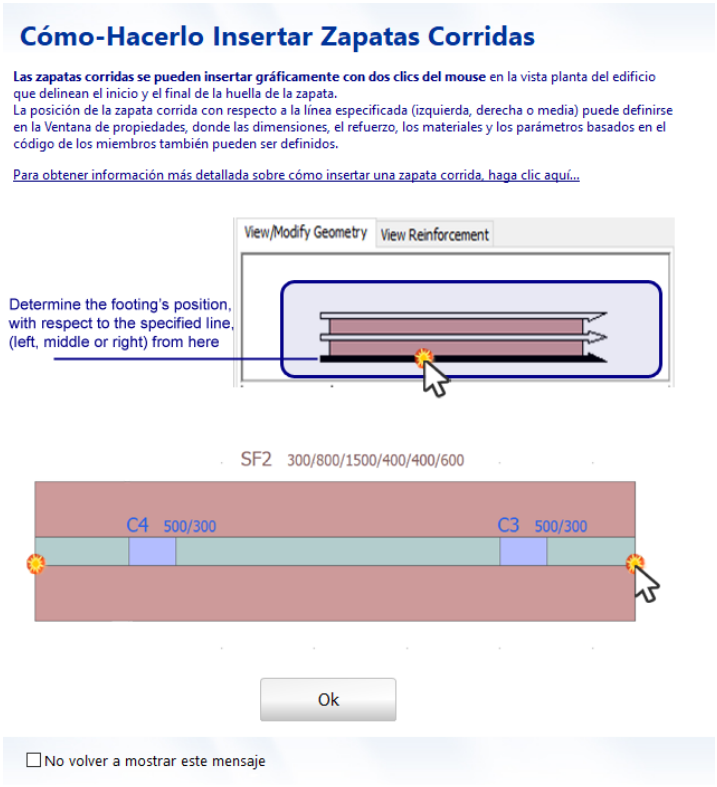
Para obtener una descripción completa sobre las inserciones de Zapatas Individuales en el Modelador de Edificios, consulte el Apéndice D: Inserción de miembros estructurales.

Zapatas Corridas

Las Zapatas Corridas se pueden insertar haciendo clic en el botón  de la barra de herramientas correspondiente. Aparecerá la ventana de propiedades de las Zapatas Corridas, donde se pueden definir explícitamente las siguientes propiedades:

(i) Geometría, es decir, las dimensiones (alto y ancho)
(ii) Materiales
(iii) Carga
(iv) Modelado avanzado, que incluye las propiedades avanzadas de los miembros y los parámetros de modelado

Las Zapatas Corridas se pueden insertar en el proyecto con dos clics del mouse siempre que una columna ya insertada esté completamente encerrada por la zapata corrida.
Una vez que se selecciona el comando Insertar una Zapata Corrida, aparece un mensaje informativo que brinda información breve sobre cómo insertar una Zapata Corrida.



Ventana de Cómo insertar una Zapata Corrida

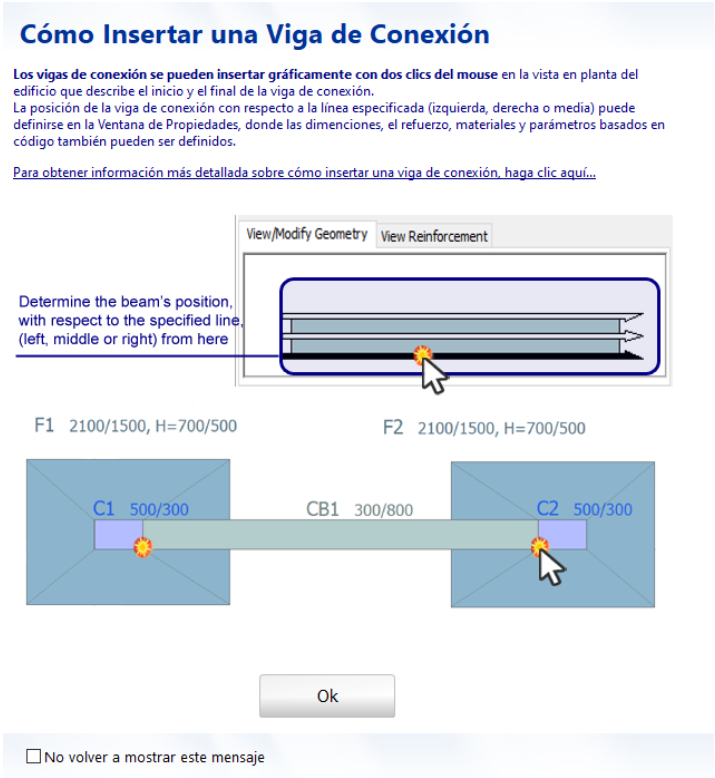
Para obtener una descripción completa sobre las inserciones de Zapatas Corridas en el Modelador de Edificios, consulte el Apéndice D: Inserción de miembros estructurales.

Vigas de Connexión

Las Vigas de Connexión se pueden insertar haciendo clic en el botón de la barra de herramientas correspondiente. Aparecerá la ventana de propiedades de las Zapatas Corridas, donde se pueden definir explícitamente las siguientes propiedades:

(i) Geometría, es decir, las dimensiones (alto y ancho)
(ii) Materiales
(iii) Carga
(iv) Modelado avanzado, que incluye las propiedades avanzadas de los miembros y los parámetros de modelado

Las Vigas de Connexión se pueden insertar en el proyecto con dos clics del mouse.
Una vez que se selecciona el comando Insertar una Viga de Connexión, aparece un mensaje informativo que brinda información breve sobre cómo insertar una Viga de Connexión.



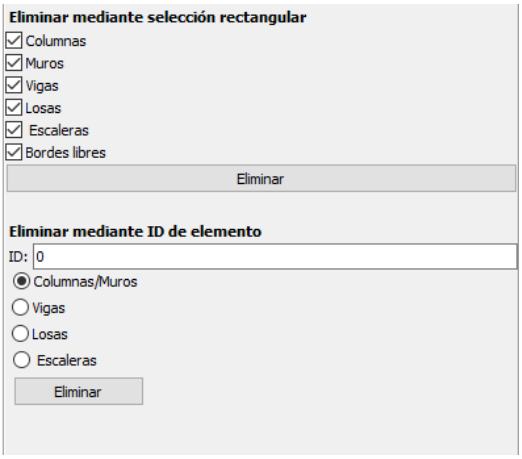
Ventana de Cómo insertar una Viga de Connexión

Para obtener una descripción completa sobre las inserciones de Vigas de Connexión en el Modelador de Edificios, consulte el Apéndice D: Inserción de miembros estructurales.

Editando Miembros Estructurales

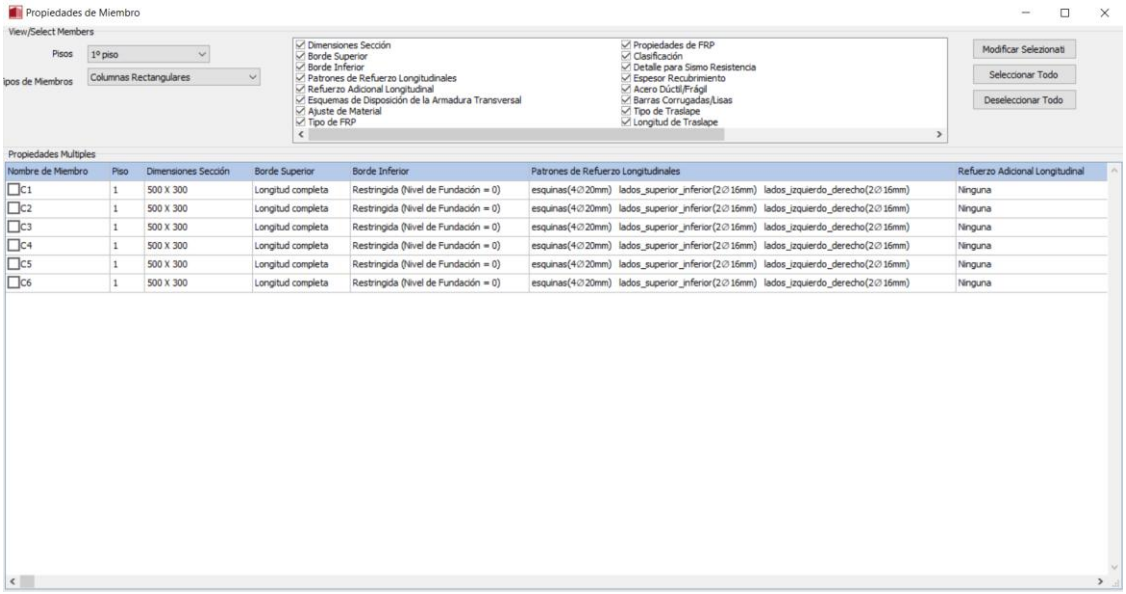
Usando las herramientas de edición del menú principal (*Herramientas >...*) o a través de los botones correspondientes de la barra de herramientas, los usuarios pueden seleccionar ( ) un miembro para ver sus propiedades. Adicionalmente pueden moverlo a una posición diferente, rotarlo en la vista en planta o borrarlo .

Nótese que hay varias maneras de borrar elementos: (i) haciendo clic en el elemento (ii) por su nombre o (iii) seleccionando un área rectangular en la Ventana Principal.



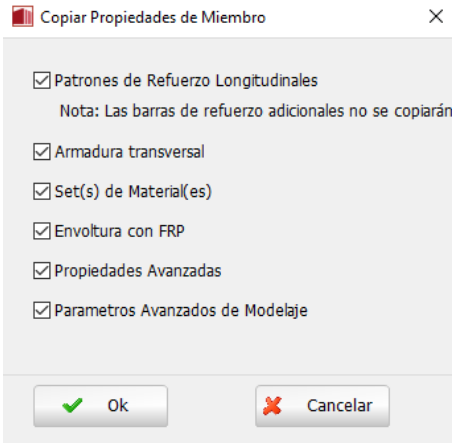
Ventana de Borrar Elemento

La opción de editar múltiples miembros estructurales está disponible desde el menú principal (*Herramientas > Ver / Modificar Propiedades de Miembros*) o mediante el botón correspondiente de la barra de herramientas  . Los usuarios pueden seleccionar varios miembros del mismo tipo de sección y modificar sus propiedades a la vez.



Ventana de Ver/Modificar Propiedades

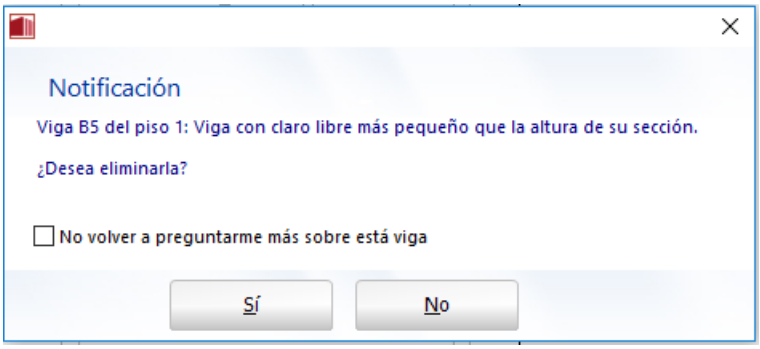
Las propiedades de un miembro pueden aplicarse a otras desde el menú principal (*Herramientas> Copiar propiedades de miembros*) o mediante el botón correspondiente de la barra de herramientas  . Aparecerá una ventana con una lista de las propiedades que se copiarán después de la selección del miembro. Los usuarios solo deben hacer clic en un miembro para cambiar sus propiedades. Se observa que las barras de refuerzo adicionales no se pueden copiar.



Ventana de Copiar Propiedades de Miembro

Adicionalmente, se ofrece la opción de reenumerar los miembros estructurales desde el menú principal (*Herramientas > Reenumerar elementos*) o a través del botón correspondiente de la barra de herramientas. Haciendo clic en el miembro el número seleccionado se le asigna y la enumeración de todos los miembros se cambia como corresponde.

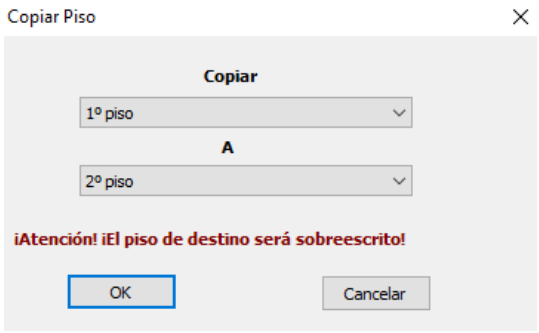
Luego de crear el modelo de un edificio, es relativamente común que una o más vigas cortas se creen inintencionalmente, debido a razones gráficas (p. ej. por extender el extremo de una viga más allá del borde de una columna). Por esta razón, un check en el menú principal (*Herramientas > Verificar Conectividad*) o a través el botón correspondiente de la barra de herramientas, para revisar la existencia de cualquier viga con un claro libre menor que la altura de su sección debe llevarse a cabo. Si tal viga existe, el siguiente mensaje informativoaparecerá para el usuario



Verificar Conectividad

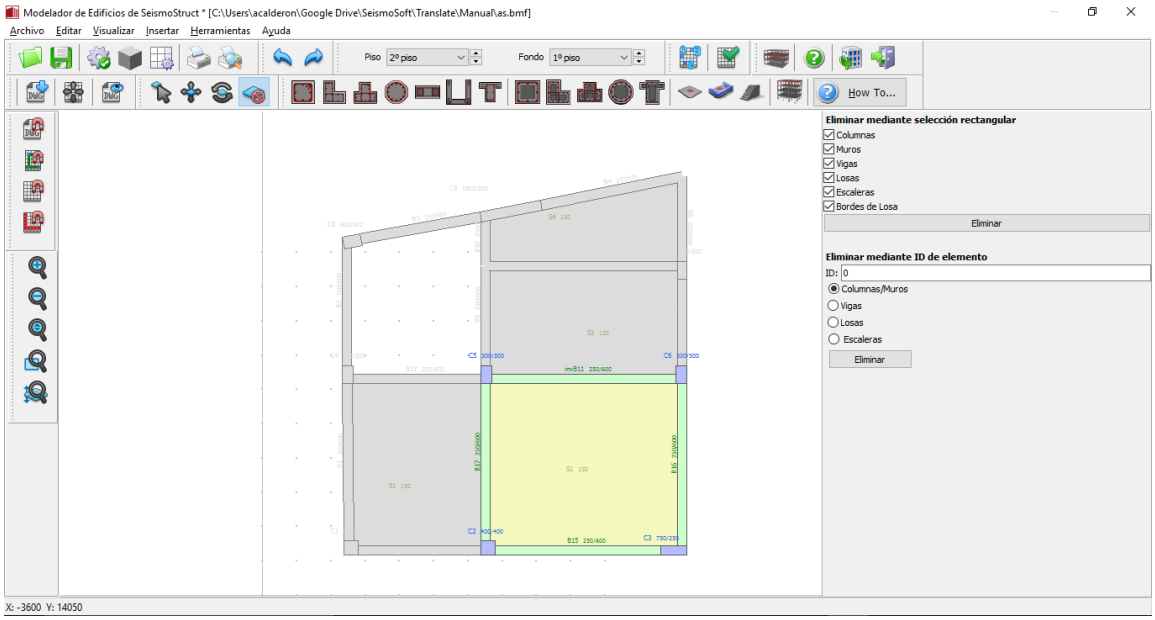
Creando Nuevos Pisos

La posibilidad de crear nuevos pisos automaticamente, basado en los que ya han sido creados, se ofrece a través del menú principal (*Herramientas* > *Copiar Piso*...) o a través del botón correspondiente de la barra de herramientas.



Copiar piso

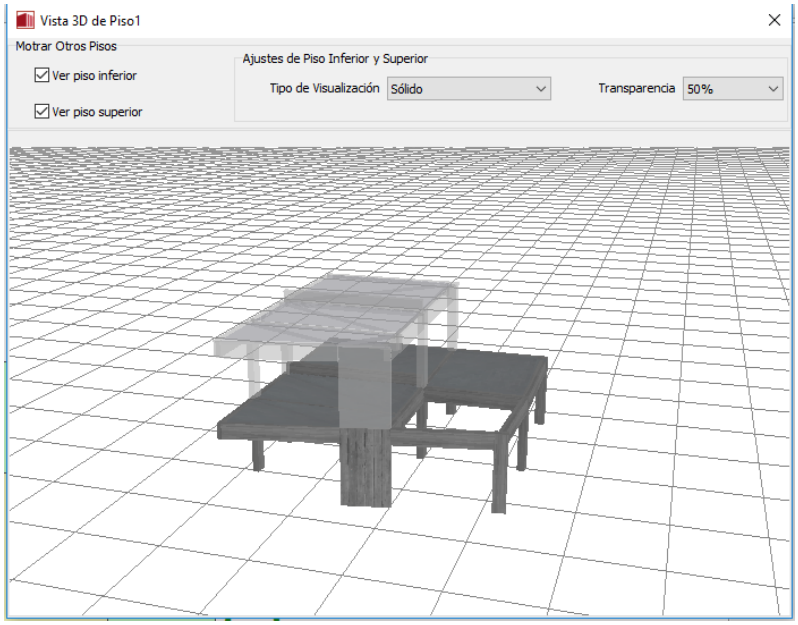
Nótese que los usuarios pueden usar la plantilla de un piso existente como fondo de pantalla, para poder así introducir fácilmente nuevos miembros en el otro piso.



Nuevo Piso y Fondo de Pantalla

Ver Modelo 3D

La posibilidad de ver el modelo 3D del piso actual se ofrece a través del menú principal (*Ver > Modelo 3D de Pisos...*) o a través del botón de la barra de herramientas.



Ventana de Vista 3D de los Pisos

Otras Funciones del Modelador de Edificio

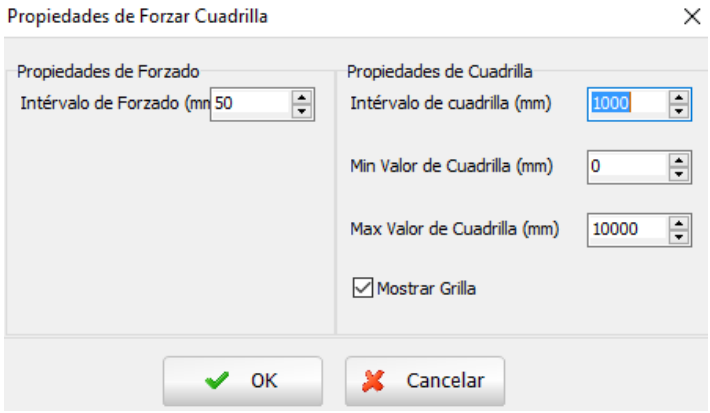
El Modelador de Edificios ofrece una variedad de herramientas para facilitar la introducción del diseño estructural:

- Diferentes niveles de zoom están disponibles para los usuarios (zoom in, zoom out, zoom dinámico, zoom a la ventana, zoom a todo y zoom al miembro). Estas herramientas también están disponibles a través de los botones de la barra de herramientas del menú principal (*Ver >...*).



Herramientas de Zoom

- Mostrar u ocultar un dibujo CAD como fondo de pantalla puede hacerse desde el menú principal (*Ver > Mostrar/Ocultar DWG...*) o a través del botón correspondiente de la barra de herramientas, luego de que ha sido cargado con el botón .
- Herramientas de forzado ofrecen la posibilidad de fijar el dibujo de CAD, el miembro y/o la cuadrilla. La cuadrilla (intervalo, valores máx y mín) y las propiedades de fijado (intervalo), así como si la cuadrilla es visible o no pueden definirse desde la ventana de diálogo de Propiedades de Forzado y Cuadrilla, accedida desde el menú (*Ver > Propiedades de Forzado y Cuadrilla*) o a través del botón de la barra de herramientas.



Propiedades Fijado &Rejilla

Además, una herramienta de Ortho se provee; Ortho es la abreviatura en inglés de ortogonal, y permite la instrucción de elementos verticales y horizontales – pero no inclinados – miembros lineales (vigas o muros). De nuevo, todas estas herramientas pueden accederse desde el Menú (*Vista >...*) y a través de los botones correspondientes de la barra de herramientas.



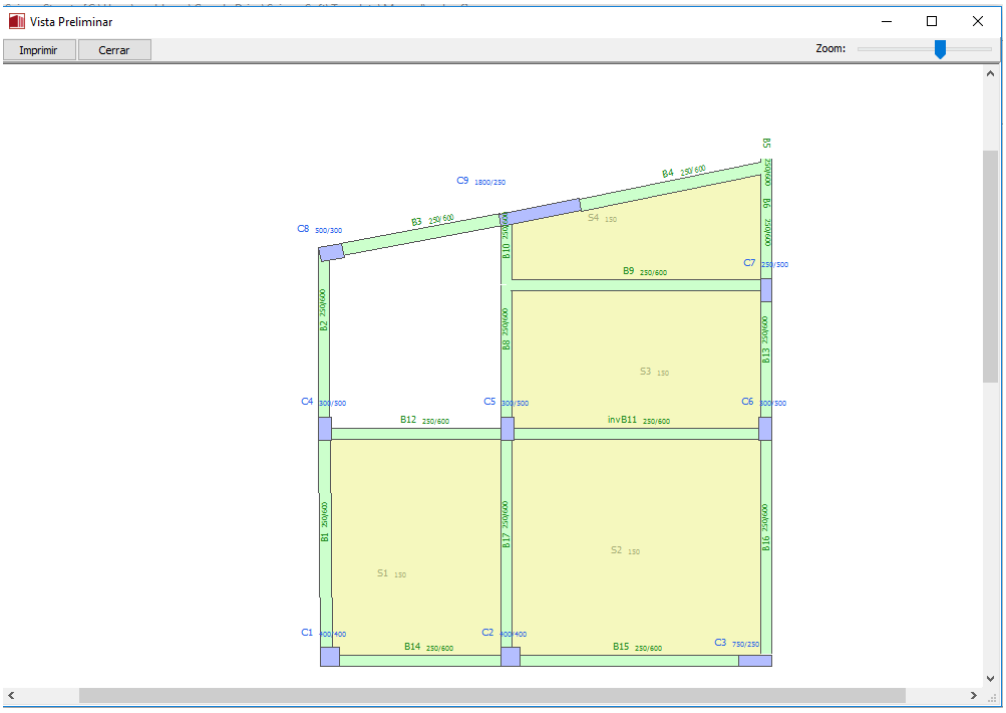
Herramientas de Forzado y Ortho

- Los ejes de origen del dibujo de CAD en el fondo de pantalla puede moverse desde el menú principal (*Ver > Mover Centro de Ejes*) o a través del botón correspondiente de la barra de herramientas .



Mover centros de eje

- El edificio en la vista en planta también se puede mover desde el menú principal (Herramientas> Mover edificio) o mediante el botón de la barra de herramientas .
- La opción de girar el edificio en vista en planta está disponible desde el menú principal (Herramientas> Mover edificio) o desde el botón de la barra de herramientas .
- La posibilidad de deshacer y rehacer las últimas operaciones se ofrece desde el menú principal (*Editar > Deshacer*)/ (*Editar > Rehacer*) o a través de los botones correspondientes de la barra de herramientas .
- La vista en planta seleccionada puede imprimirse o ser prevista desde el menú principal (*Archivo > Imprimir... & Archivo > Imprimir Prevista*) o a través de los botones correspondientes de la barra de herramientas &.



Vista Preliminar

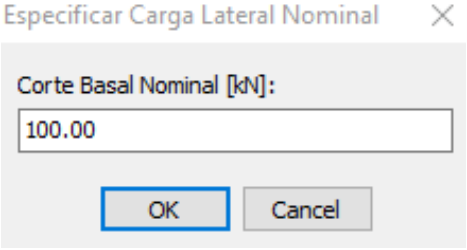
Salvando y Guardando Proyectos del Modelador de Edificio

El proyecto del Modelador de Edificio puede salvarse como un archivo de Modelador de Edificio (con la extensión *.bmf) desde el menú principal (Archivo >*Guardar Como...*)/ (*Archivo > Guardar*) o a través del botón correspondiente de la barra de herramientas. Nótese que este tipo de archivo no es un tipo de SeismoStruct (*.spf), por tanto puede abrirse de nuevo solamente usando el Modelador de Edificio, desde el menú principal (*Archivo > Abrir*) o a través del botón correspondiente de la barra de herramientas.

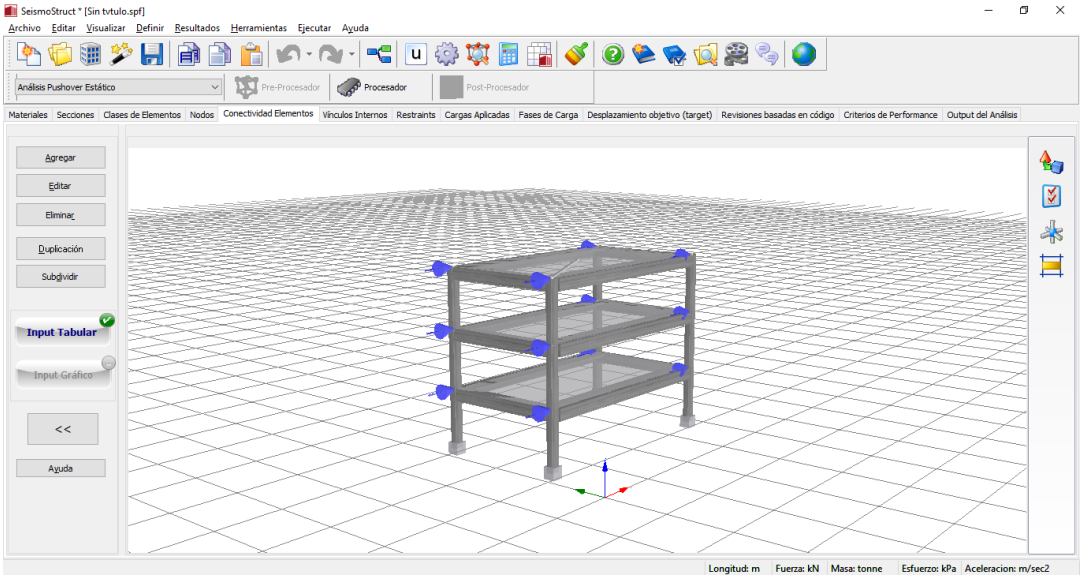
NOTA: Proyectos de SeismoBuild (con extensión *.bpf) también puede importarse desde el Modelador de Edicio, desde el menú principal (Archivo>Abrir) o a través del botón correspondiente de la barra de herramientas.

Creando Proyectos de SeismoStruct

Un proyecto de SeismoStruct se crea a través del menú principal (*Archivo > Salir yCrear Proyecto*) o través del botón correspondiente de la barra de herramientas. Cuando esta opción se selecciona, una nueva ventana aparece para la definición de la carga de la estructura, dependiendo del tipo de análisis.



Especificando la carga para el análisis estático de pushover



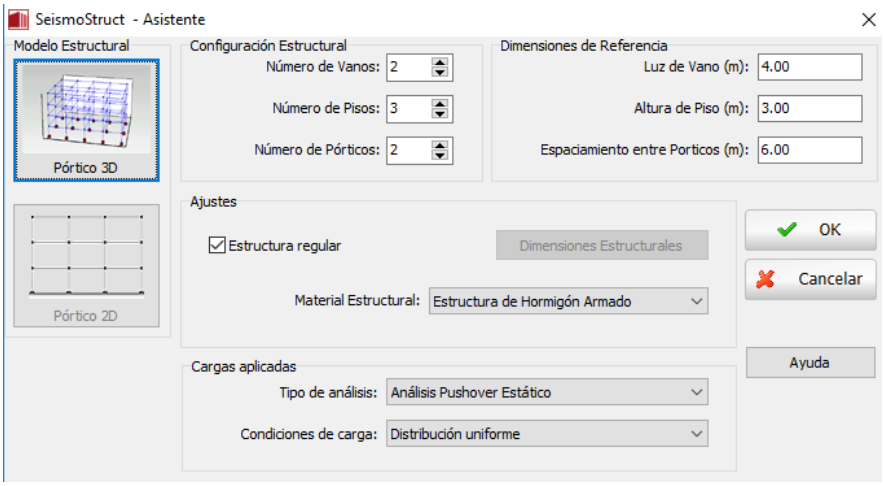
Nuevo Modelo de SeismoStruct

NOTA: Cuando se crea un archivo de proyecto desde el Modelador del Edificio, la masa estructural se modela mediante el peso específico del material y los parámetros de masa adicional de las secciones. El primero toma en cuenta la masa de las columnas, los muros y las vigas, mientras que los últimos toman en cuenta las masas que corresponden al peso propio de las losas, las cargas permanentes adicionales y vivas. Estas masas definidas son transformadas en cargas de gravedad, a través de los ajustes relevantes en el panel de Ajustes de Proyecto (Ajustes de Proyecto -> Masa y Gravedad), p. ej. "Cargas (SOLO en la dirección de la gravedad) se derivan a partir de las Masas, basándose en el valor g".

Finalmente, una opción para salir del Modelador de Edificio, sin crear un archive de Proyecto de SeismoStruct se ofrece desde el menú principal (*Archivo >Salir Sin Crear Proyecto*) o a través del botón correspondiente de la barra de herramientas .

ASISTENTE

Para poder facilitar la creación de modelos de Marcos/Edificios, una herramienta de *Asistente* ha sido desarrollada e introducida en el programa. La ventana de diálogo del *Asistente* se accede desde el menú principal (*Archivo > Asistente...*) o a través del botón correspondiente de la barra de herramientas.



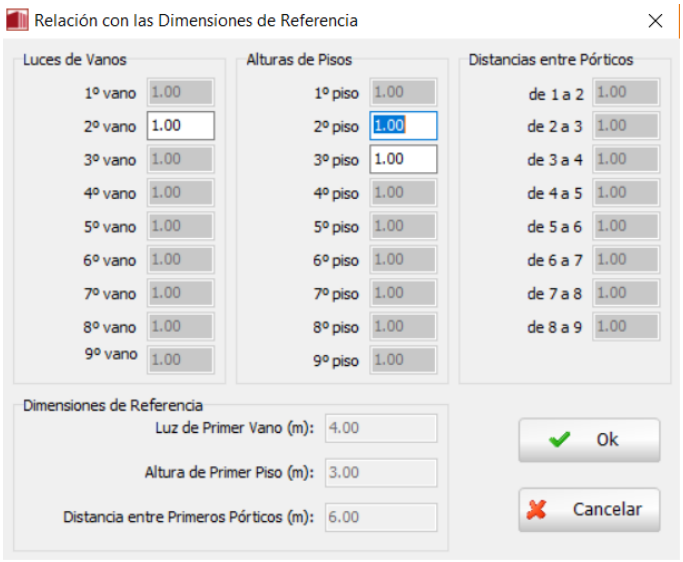
Ventana de Herramienta de Asistente

IMPORTANTE: Se recomienda a los usuarios nuevos utilizar esta manera expedita de crear un modelo para empezar en la mínima cantidad de tiempo y aprender rápidamente conceptos de la estructura y cómo funcionan los archivos de proyecto de SeismoStruct.

Modelo Estructural y Configuración

Para crear un modelo de edificio usando el *Asistente,* el usuario debe decidir primero si él/ella desea crear una estructura 2D o 3D, y luego el número de bahías, pisos y marcos puede ser asignado, junto con los valores de referencia para cada longitud de bahía, altura de piso y espaciamiento de marcos.

Si la estructura es regular (p. ej. todas las bahías tienen la misma longitud, todos los pisos tienen la misma altura y todos los marcos están espaciados de la misma forma) entonces las medidas de referencia serán las dimensiones actuales. Si, de otra manera, la estructura es geométricamente irregular, entonces la opción de *Estructura Regular* debe ser desmarcada para que el usuario pueda acceder la ventana de diálogo de *Dimensiones Estructurales,* donde las dimensiones reales de longitud de bahías, alturas de piso y distancias entre marcos pueden ser definidas. De manera predeterminada, las dimensiones de referencia se adoptan.



Ventana de diálogo de Dimensiones Estructurales

Ajustes

Habiendo definido la geometría estructural, el usuario debe especificar si el edificio es una estructura de concreto reforzado o de acero. El *Asistente* genera estructuras utilizando el tipo de elemento inelástico de rótula plástica basado en fuerzas (infrmFBPH).

NOTA: Si el usuario quiere adoptar otro tipo de elementos de marco inelásticos (infrmFB, infrmDBPH o infrmDB) en vez de infrFBPH, luego de la generación del modelo él/ella puede modificar manualmente el tipo de elemento en la ventana de dialogo de Clases de Elementos.

Cada elemento de marco generado usando el Asistente se define por sus nodos "estructurales" en las uniones viga columna. Los nombres de estos nodos se crean automaticamente siguiendo la convención de nombre n111 siguiente: todos los nodos tiene el mismo formato "n"+i+j+k, donde i es el número de columna (empezando en la izquierda), j es el número de marco (iniciando desde el frente) y k el número de piso (empezando desde la fundación). Por ejemplo, n123 se refiere al nodo de la columna izquierda (i=1), en el segundo marco (j=2) y en el tercer piso (K=3, nodos del tercer nivel). Los usuarios deben referirse al párrafo de *Nodos* para obtener más detalles en la definición de nodos.

La orientación de los elementos de marco creada usando el *Asistente* se define automáticamente por la rotación de un ángulo (de manera predeterminada igual a 0). Los usuarios deben referirse a la discusión de *Sistemas de Ejes Globales y Locales* para obtener más detalles sobre la orientación de elementos.

Carga

Finalmente, uno de los diesTipos de Análisis disponibles en SeismoStruct debe ser seleccionado, dependiendo de cuales cargas y condiciones de restricción se han impuesto en la estructura:

- Análisis de Eigenvalores. Se considera el peso propio de la estructura. Ninguna carga es aplicada.
- Análisis estático con cargas no variables. Se aplican cargas permanentes de gravedad.
- Análisis de pushover estático. Adicionalmente a las cargas de gravedad, *Cargas Incrementales*, que consisten de cargas horizontales en cada piso, son aplicadas a la estructura en la dirección x. El usuario tiene la posibilidad de escoger entre dos distribuciones de cargas alternativas (vectores de forma uniforme triangular o rectangular) y de definir el valor de cortante basal nominal (usualmente un valor cercano a la capacidad nominar de carga lateral de la estructura se usa, pero cualquier otro valor funciona). Refiérase al *Pre-Procesador> Cargas Aplicadas > Fases de Carga* para más detalles sobre las características de las cargas para un análisis de pushover estático.
- Análisis de pushover estático adaptivo.Además de las acciones permanentesde gravedad, las cargas incrementales, que consisten en desplazamientos horizontales en cada nivel de piso, también se aplican a la estructura en la dirección x. Dado que el programa adapta automáticamente la distribución de la carga, el usuario solo necesita especificar la carga de desplazamiento nominal que se utilizará como valor de referencia durante el procedimiento de empuje. Consulte *Preprocesador>Cargas aplicadas>Parámetros* de carga adaptativa para obtener más detalles sobre las características de carga del análisis de carga adaptativa.
- Análisis estático de Time History. Adicionalmente a las cargas permanentes de gravedad, *Cargas Estáticas de Time History*se aplican en nodo superior izquierdo del edificio, en la dirección x. Al usuario se le solicita definir una *curva de Time History* (una curva estándar predefinida se provee en cualquier caso) y un *multiplicador de curva* correspondiente (factor de escala).
- Análisis dinámico de Time History. Adicionalmente a las cargas permanentes de gravedad, *Cargas Dinámicas de Time History*se aplican en los nodos de fundación del edificio, en la dirección x. Al usuario se le solicita definir una *curva de Time History* (usualmente un acelerograma) y un *multiplicador de curva* correspondiente (factor de escala). Un número de curvas de ejemplo (que consisten de acelerogramas naturales y artificiales) vienen preinstaladas con el programa y pueden cargarse a través del comando *Seleccionar Archivo.*

- Análisis incremental dinámico. Adicionalmente a las acciones permanentes de gravedad, *Cargas Dinámicas de Time History*se aplican en los nodos de fundación del edificio, en la dirección x. El usuario primero se le solicita definir *Los Factores de Escala Incrementales* (ver parámetros IDA) y luego necesita ingresar la *curva de Time History*(usualmente un acelerograma) y el correspondiente *multiplicador de curva* (factor de escala). Un número de curvas de ejemplo (que consisten de acelerogramas naturales y artificiales) vienen preinstaladas con el programa y pueden cargarse a través del comando *Seleccionar Archivo.*
- Análisis de Espectro de Respuesta. Adicionalmente a las acciones permanentes de gravedad, cargas estáticas se aplican en los nodos de cada nivel de acuerdo a formas modales. Ya que la distribución se hace automáticamente por el programa, los usuarios solo deben especificar los datos del espectro de aceleración y las combinaciones de carga. Un espectro definido por el usuario puede ser introducido, o alternativamente curvas de Time History (que consisten de aceleraciones naturales o artificiales) preinstalados con el programa pueden usarse con el comando *Seleccionar Archivo,* y el programa creará automáticamente el espectro del record seleccionado.
- Análisis de Pandeo. Se aplican cargas de gravedad permanentes.
- Análisis No Lineal de Tsunamis. Además de las acciones permanentes de la gravedad, se aplican cargas estáticas de tiempo-história a los nodos del lado izquierdo del edificio, en la dirección x. Las curvas de tiempo-historia (curvas estándar predefinidas) y los correspondientes multiplicadores de curvas (factores de escala) ya se proporcionan en cualquier caso.

NOTA 1: Cuando se generan modelos de edificios, el Asistente hace uso de secciones, dimensiones y detallados de uso común, junto con materiales de propiedades estándar. Evidentemente, luego de completar el modelo, el usuario puede modificar manualmente estas cantidades de manera que representen las características de la estructura actual que él/ ella intenta analizar.

NOTA 2: El tamaño máximo de edificio que puede generarse con el Asistente es de 8 bahías x 8 pisos x 9 marcos. Los usuarios que desean crear estructuras más grandes, pueden hacerlo usando las herramientas de Incrementación para los nodos, elementos, vínculos externos y cargas.

NOTA 3: Para definir miembros estructurales que son subdivididos en más de4 elementos, el modelo puede ser creado por el asistente con 1, 2 o 4 elementos por miembro y entonces la herramienta de Subdivisión de Elementos puede ser utilizada para discretizar la malla estructural.

NOTA 4: El Asistente automaticamente activa el cálculo del Desplazamiento Meta en el caso de análisis pushover. Para más detalles el usuario puede referirse al párrafo de Desplazamiento Meta.

NOTA 5: El Asistente automaticamente genera las Revisiones Basadas en Código. Para detalles en su definición los usuarios pueden referirse al párrafo sobre Revisiones Basadas en Código.

NOTA 6: El Asistente automaticamente genera revisiones de Criterios por Desempeño. Para detalles en su definición los usuarios pueden referirse al párrafo sobre Revisiones Basadas en Código.

EXPORTAR E IMPORTAR PROYECTOS DE SEISMOSTRUCT COMO ARCHIVOS XML

Se puede exportar un proyecto SeismoStruct en forma de archivo XML desde el Menú Principal (Archivo > Exportar a archivo XML). Cuando esta opción estáseleccionada, aparece una nueva ventana para la definición del nombre y la ubicación del archivo XML. El archivo XML exportado contendrá toda la información incluidaen el proyecto SeismoStruct. Un archivo XML que contiene la información de un proyecto SeismoStruct se puede cargar desde el menú principal (Archivo> Importar desde archivo XML) mientras que la información contenida en el archivo XML se puede modificar directamente en el archivo XML.

Pre-Procesador

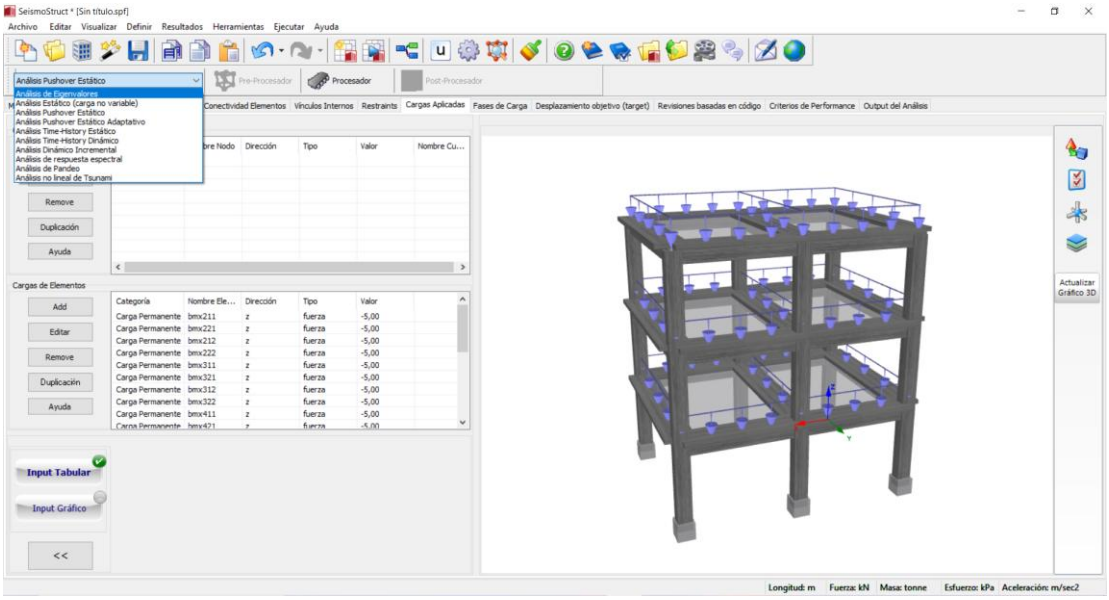
IMPORTANTE: Antes de comenzar con un nuevo proyecto de SeismoStruct, suele ser recomendable seleccionar primero un tipo de análisis.

TIPOS DE ANÁLISIS

Actualmente, dies tipos de análisis se encuentran disponibles en SeismoStruct:

- Análisis de Eigenvalores
- Análisis estático (carga no variable)
- Análisis pushover estático (convencional)
- Análisis pushover estático (adaptativo)
- Análisis estático time-history
- Análisis dinámico time-history
- Análisis dinámico incremental (IDA)
- Análisis de espectro de respuesta (RSA)
- Análisis de Pandeo
- Análisis No Lineal de Tsunamis

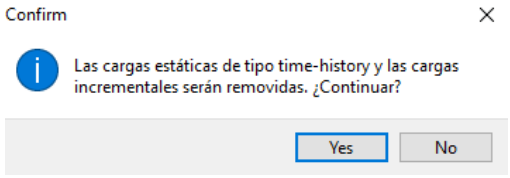
Éstos pueden ser seleccionados desde el menú desplegable que se encuentra en la esquina superior izquierda en la ventana del **Pre-Procesador** (ver la imagen siguiente):



Selección del tipo de análisis

Los diferentes tipos de análisis poseen igualmente diversos requerimientos de modelado (ver párrafos subsiguientes). En consecuencia, mientras los elementos de pórtico (elásticos e inelásticos) y los elementos link pueden ser utilizados en cualquier tipo de análisis, los elementos de masa (lmass y dmass) no son necesarios en los análisis estáticos (con excepción del pushover estático adaptativo) y pueden ser utilizados solamente en análisis dinámicos, análisis de eigenvalores y análisis de pushover adaptativo. Asimismo, los disipadores viscosos (dashpt) sólo son necesarios en los análisis dinámicos. Cada vez que el tipo de análisis a ejecutar es cambiado, el programa automáticamente intenta aplicar las

modificaciones requeridas al modelo existente. Por ejemplo, si desde un proyecto ya creado para un análisis dinámico se cambia el tipo de análisis a pushover estático, SeismoStruct eliminará automáticamente los elementos de masa y los disipadores viscosos.



Mensaje de Advertencia

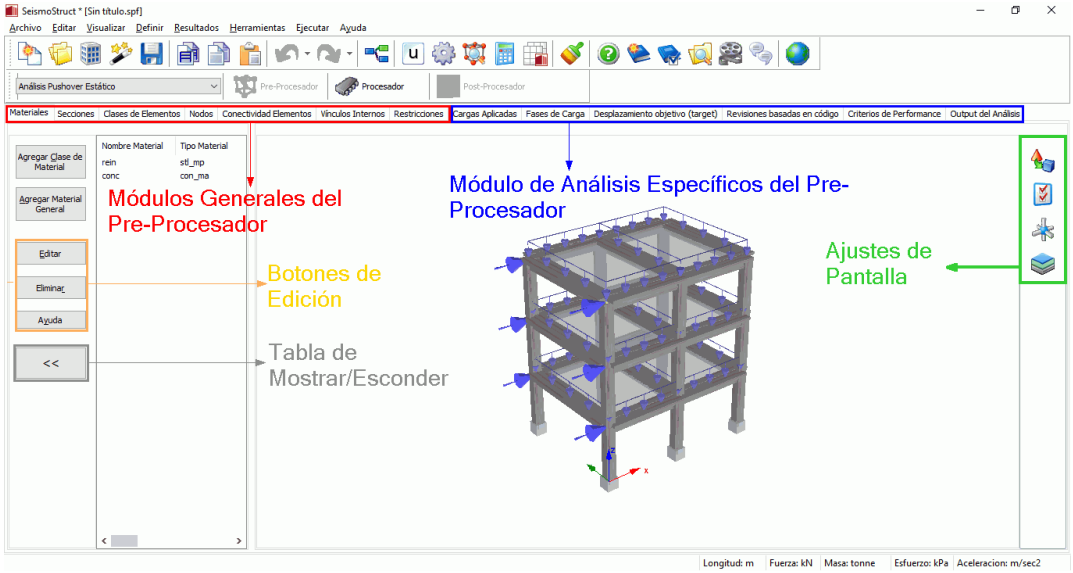
Asimismo, los diferentes tipos de análisis aceptan igualmente diversos tipos de carga (por mayores detalles, ver el párrafo acerca de las Condiciones de Carga (*Pre-Procesador > Cargas Aplicadas > Cargas Aplicadas*).

Por una descripción detallada de los distintos tipos de análisis, ver el Apéndice B – Tipos de Análisis.

ÁREA DEL PRE-PROCESADOR

Los proyectos de SeismoStruct son creados en el área del **Pre-Procesador**, la cual presenta una serie de módulos que deben ser utilizados para la definición del modelo estructural y su carga. Estos módulos pueden agruparse en aquellos que son de *tipo general* (**Materiales**, **Secciones**, **Clases deElementos**, **Nodos**, **Conectividad Elementos**, **Vínculos Externos**, **Vínculos Externos**, **Criterios de Performance**, **Output del Análisis**), son aplicables a todo tipo de análisis, y son seleccionables mediante un menú desplegable, y aquellos que son *específicos* (Curvas Time-History, Condiciones de Carga, Fases de Carga, Parámetros Adaptativos, Parámetros IDA) y sólo aparecen para ciertos tipos de análisis (por ej., el módulo **Parámetros Adaptativos** sólo se encuentra disponible si el usuario selecciona la ejecución de un Análisis Pushover Estático Adaptativo).

En cada uno de los módulos mencionados anteriormente es posible esconder la tabla de entrada de datos mediante el botón correspondiente (ver abajo), con el fin de poder visualizar el modelo 3D en modo "pantalla completa".



Módulos del Pre-Procesador

IMPORTANTE: Toda la información de input requerida para ejecutar un análisis (por ej., el modelo estructural, la distribución de cargas, los ajustes del output, etc.) es almacenada en un archivo de proyecto de SeismoStruct (en formato de texto), reconocible por su extensión *.spf; al hacer doble-clic sobre este tipo de archivo, SeismoStruct se abre directamente dentro del área del Pre-Procesador.

SELECCIONADOR DE UNIDADES

En SeismoStruct es posible utilizar tanto las unidades del *SI* como las del *SistemaInglés*. Dentro de cada uno de ellos es posible elegir entre cuatro combinaciones disponibles, dado que se da la opción de elegir entre dos tipos de unidades para definir las longitudes y fuerzas; al seleccionar el usuario las unidades para estas dos cantidades básicas, el programa ajusta automáticamente las unidades de las restantes cantidades derivadas (masa, esfuerzos, aceleración, etc.). La personalización del sistema de unidades se lleva a cabo en la ventana de diálogo *Unidades de Medida*, a la cual es posible acceder desde el menú principal (*Herramientas > Unidades de Medida*) o mediante el botón correspondiente de la barra de herramientas  .

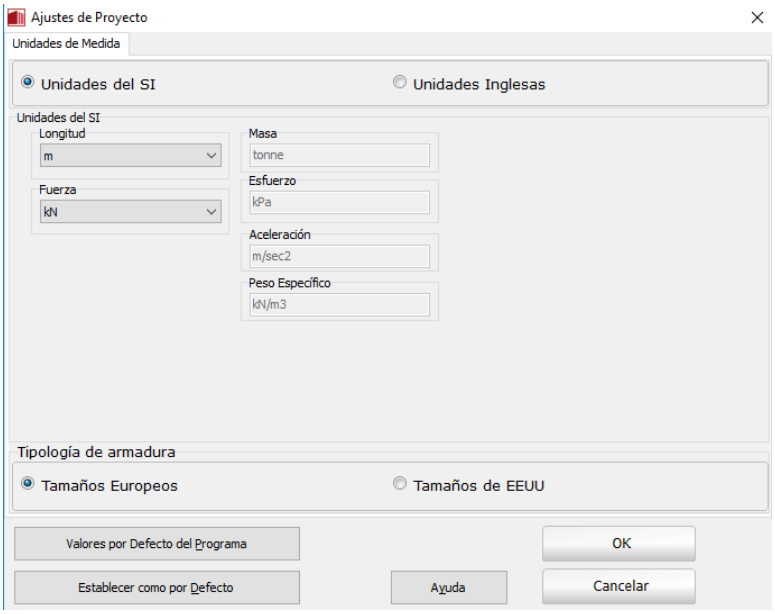
A continuación se brinda un resumen de los sistemas de unidades que pueden ser utilizados en SeismoStruct. Nótese que las rotaciones son siempre expresadas en radianes.

Unidades SI

Longitud	Fuerza	Masa	Esfuerzo	Aceleración	Peso Específico
mm	N	ton	MPa	(9807) mm/seg2	N/mm3
mm	kN	kton	GPa	(9807) mm/seg2	kN/mm3
m	N	kg	Pa	(9.81) m/s2	N/m3
m	kN	ton	kPa	(9.81) m/s2	kN/m3

Unidades Inglesas

Longitud	Fuerza	Masa	Esfuerzo	Aceleración	Peso Específico
in	lb	lb*seg2/in	psi	(386.1) in/seg2	lb/in3
in	kip	kip*seg2/in	ksi	(386.1) in/seg2	kip/in3
ft	lb	lb*seg2/ft	psf	(32.17) ft/seg2	lb/ft3
ft	kip	kip*seg2/ft	ksf	(32.17) ft/seg2	kip/ft3



Ventana de Seleccionador de Unidades

EDICIÓN

Existe un conjunto de reglas y opciones de edición comunes a todos los módulos del pre-procesador., por lo que se recomienda a los usuarios familiarizarse con ellas antes de comenzar a crear un modelo por primera vez. Las mismas son descritas a continuación.

Funciones de Edición

La mayoría de los módulos de SeismoStruct consta de una planilla en la que se recogen y visualizan todo los parámetros de input. Los datos contenidos en estas tablas pueden ser manipulados mediante las siguientes herramientas:

Agregar nuevas entradas

Al hacer clic sobre el botón Agregar aparece una ventana de diálogo en la que es posible introducir todas las propiedades y características de un nuevo componente del modelo (materiales, secciones, nodos, cargas, etc.). El procedimiento es simple, ya que todos los parámetros se encuentran acompañados de un texto descriptivo que sirve de guía.

Es posible utilizar la selección múltiple (mediante las teclas *Control* o *Shift*) para aplicar una restricción o carga particular a más de un nodo a la vez, siempre que la selección de los múltiples nodos haya sido realizada antes de la apertura de la ventana de diálogo *Agregar*. Por otra parte, al utilizar menúes desplegables con muchas entradas, es posible comenzar a escribir el identificador del ítem con el fin de agilizar su búsqueda.

NOTA: Los identificadores (nombres) de los datos de input (materiales, secciones, nodos, cargas, etc.) pueden tener un máximo de 32 caracteres y no deben contener espacios, #, &, ni signos de puntuación (es decir, "." y ",").

Editar entradas existentes

Si se desea verificar o modificar las propiedades de una entrada existente, es posible hacer uso de la herramienta Editar, a la cual se accede ya sea mediante el botón Editar o haciendo doble-clic sobre la entrada del ítem que se desea modificar; se abrirá la ventana de diálogo Editar, en la cual podrán

realizarse los cambios deseados. También en este caso es posible utilizar la selección múltiple para modificar en simultáneo cualquier parámetro dado en una serie de nodos, elementos, vínculos o cargas asignadas.

NOTA: En los módulos de Nodos, Conectividad de Elementos, Vínculos Externos y Cargas Aplicadas los usuarios pueden seleccionar más de un elemento usando las teclas de Ctrl y Shift Shift y cambiar propiedades particulares de cada uno al mismo tiempo. Por ejemplo, el usuario puede asignar la misma coordenada X en varios nodos, o la misma rotación en varios elementos de tipo marco con un solo movimiento.

Eliminar entradas no utilizadas

Es posible remover uno o más ítems seleccionándolos y haciendo clic sobre el botón Eliminar o utilizando la tecla Suprimir del teclado.

Ordenar entradas de datos

Hacer clic en los encabezados de las columnas en cada una de las tablas de los diversos módulos permite a los usuarios visualizar los ítems en orden ascendente (un clic) o descendente (dos clics). Por ejemplo, al hacer clic una vez en el encabezado de la columna de nombres de las secciones, SeismoStruct ordenará las mismas alfabéticamente, mientras que si se hace clic sobre el encabezado de la coordenada nodal en x, los nodos serán ordenados de acuerdo con su valor en x. Es útil notar que al hacer clic derecho sobre las tablas de nodos y elementos (en los módulos respectivos), los mismos pueden ser ordenados por nombre o por número.

Por defecto, cuando los datos de entrada se encuentran en formato numérico (por ej., 100) o alfa-numérico (por ej., nod20) se sigue un orden algebraico, mientras que si se utiliza sólo texto (por ej., viga_A) se realiza un ordenamiento alfabético. Es posible, sin embargo, modificar esta forma de ordenamiento mediante los comandos *Ordenar por Nombre* y *Ordenar por Número*, a los cuales es posible acceder desde el menú *Editar* o el menú desplegable de la tabla.

NOTA: El ordenamiento de datos es una característica general del programa, lo cual significa que la forma en que los componentes del modelo (por ej., nodos, secciones, elementos, etc.) son ordenados en sus respectivos módulos determina la forma en que estas entradas aparecen en todas las ventanas de diálogo del programa. Por ejemplo, si el usuario decide utilizar el ordenamiento alfabético para los nodos, éstos aparecerán en orden alfabético en todos los menúes desplegables en los que sean enumerados, lo cual puede facilitar y agilizar su individualización y selección.

Copiar y pegar entradas de datos

Es posible copiar y pegar datos en y desde las tablas de todos los módulos, ya sea dentro de SeismoStruct o en interacción con cualquier otra aplicación de Windows (por ej., Microsoft Excel, Microsoft Word, etc.). Las operaciones de copiado y pegado pueden ser llevadas a cabo ya sea mediante (i) el menú del programa (*Editar > Copiar Selección* y *Editar > Pegar Selección*), (ii) los botones correspondientes en la barra de herramientas  y  , (iii) el menú desplegable al que se accede haciendo clic derecho con el mouse sobre la tabla, o (iv) los atajos de teclado (*Ctrl+C* y *Ctrl+V*).

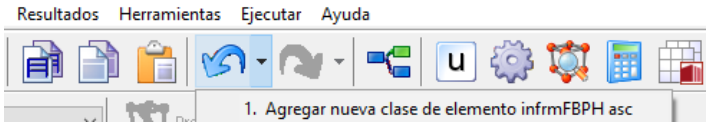
Esta herramienta puede ser utilizada para facilitar la creación de cualquier componente del modelo, copiando una entrada ya definida y pegándola en la tabla deseada, notando que un asterisco (*) es añadido al final del nombre de la nueva entrada para evitar duplicaciones. Por otra parte, los usuarios pueden también crear su listado de componentes en una aplicación diferente (por ej., Microsoft Excel) y luego pegarlo en SeismoStruct, siempre que los datos sean consistentes con el formato del módulo respectivo.

Copiar el gráfico 3D

Es posible copiar el gráfico 3D del modelo estructural a una aplicación de Windows externa (por ej., Microsoft Word, Microsoft PowerPoint). Esto puede ser llevado a cabo mediante (i) el menú del programa (*Editar > Copiar Gráfico 3D*), (ii) el botón correspondiente en la barra de herramientas, (iii) el menú desplegable al que se accede haciendo clic derecho con el mouse sobre el gráfico, o (iv) un atajo de teclado (*Ctrl+Alt+C*).

Operaciones "Deshacer" y "Rehacer"

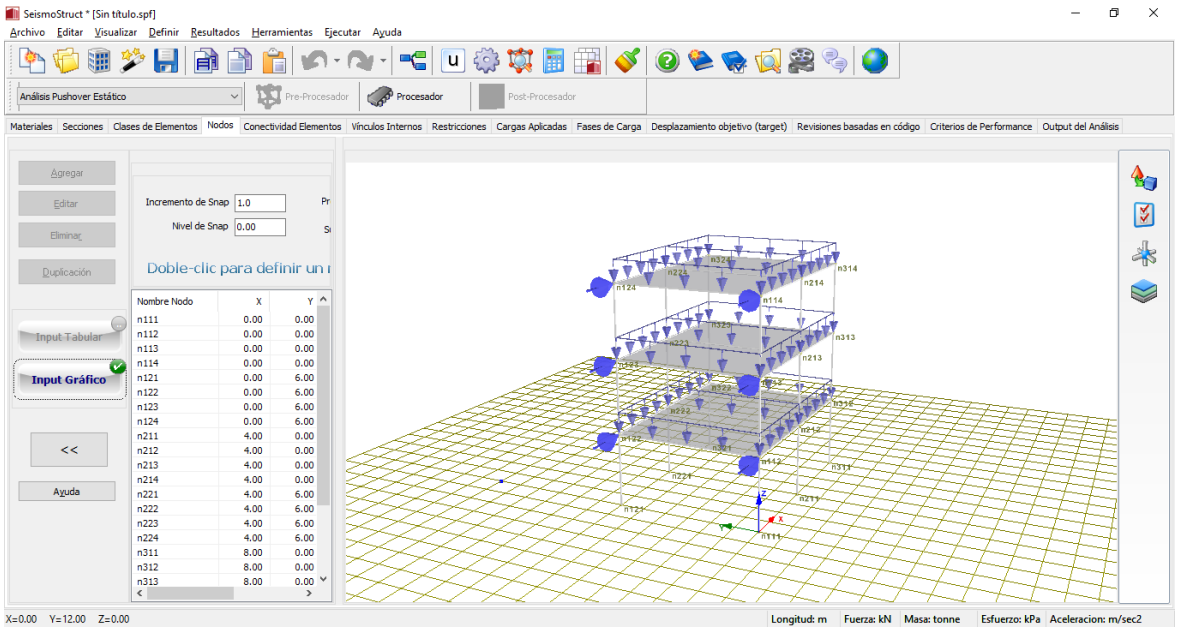
Las herramientas *Deshacer* y *Rehacer* están disponibles en SeismoStruct, y son accesibles mediante el menú del programa (*Editar > Deshacer* y *Editar > Rehacer*) o mediante los botones correspondientes en la barra de herramientas y . Es posible también realizar operaciones múltiples a través del menú desplegable.



Deshaciendo y rehaciendo múltiples operaciones

Input/Generación Gráfica

Además de las funciones de edición (y la herramienta Asistente), SeismoStruct posee también el módulo Input Gráfico para la generación de modelos estructurales, disponible para Nodos, Conectividad de Elementos y Vínculos Internos, como se describe en el párrafo referido a la Geometría Estructural.



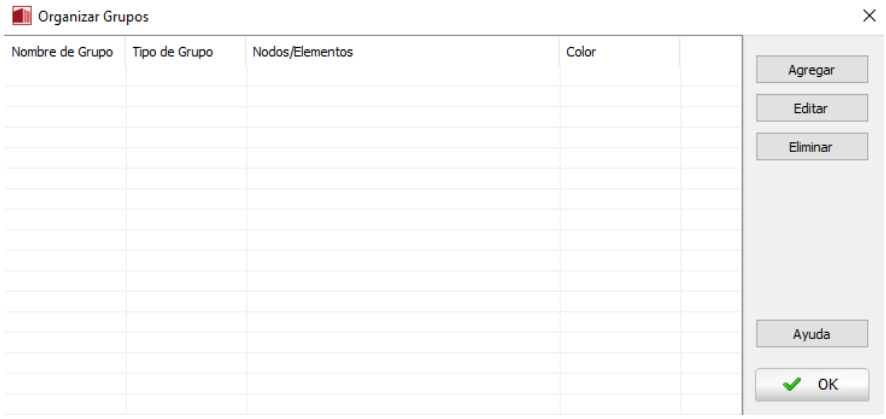
Herramienta de Input Gráfico para el módulo de Nodos

Dentro de este contexto, se recomienda a los usuarios hacer uso de la herramienta de visualización *Cortar planos* (ver el párrafo de Opciones Gráfico 3D) y de la posibilidad de contraer/expandir la visualización de los elementos de pórtico, para facilitar la selección de los nodos.

Grupos de Nodos/Elementos

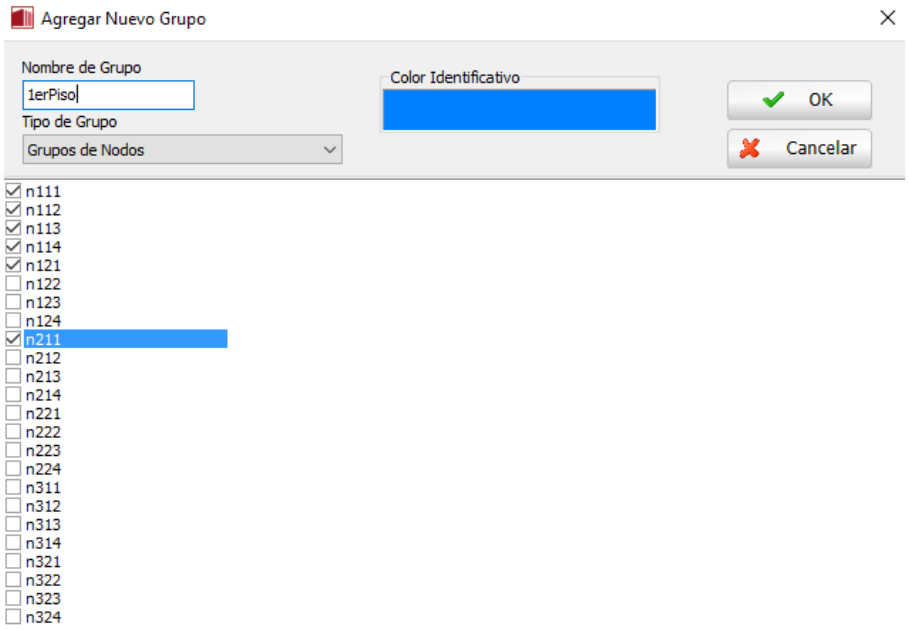
Una herramienta sumamente útil de SeismoStruct consiste en la posibilidad de crear grupos de nodos o elementos. Típicamente, estos nodos/elementos comparten características en común (por ej.,

pertenecen al último piso de un edificio, definen el tablero de un puente, etc.) y agruparlos sirve el propósito de facilitar su individualización y selección en muchas operaciones de Pre- y Post-procesado. Es posible accede a la ventana Grupos mediante el menú principal (*Herramientas > Organizar Grupos...*) o mediante el botón correspondiente en la barra de herramientas .

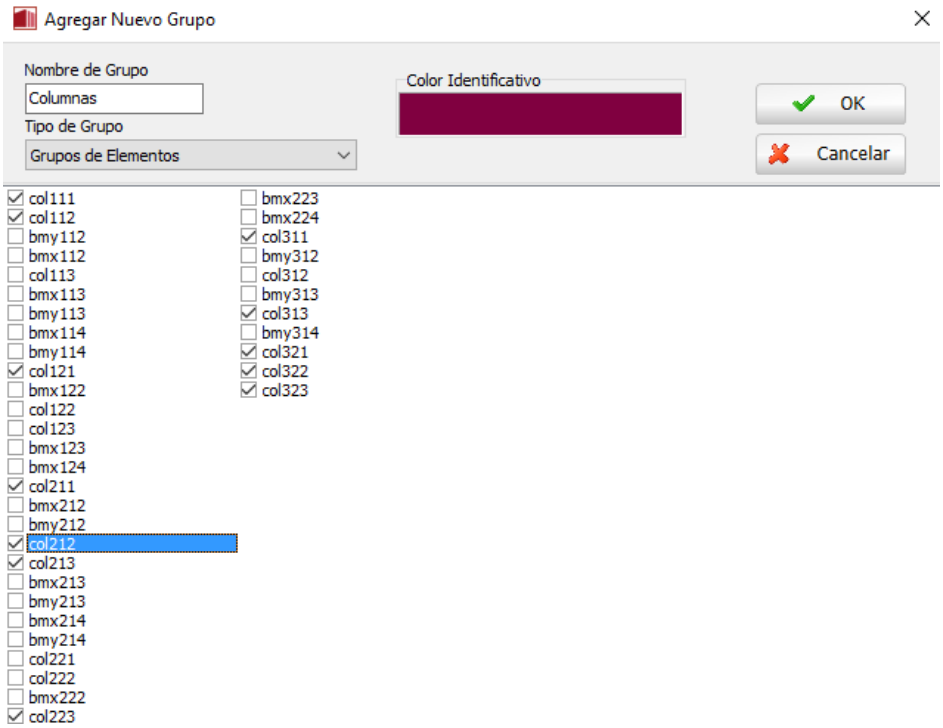


Función Organizar Grupos

Es posible agregar, editar y eliminar grupos de nodos y elementos utilizando la herramienta *Organizar Grupos*, en la que se muestra un listado de todos los nodos y elementos utilizados en el modelo estructural actual.



Creación de un Nuevo Grupo (nodos)



Creación de un Nuevo Grupo (elementos)

Por otra parte, es posible también seleccionar los nodos o elementos dentro de los módulos **Nodos**y **Conectividad de Elementos**, respectivamente, y utilizar el menú desplegable para agregarlos a un nuevo grupo. Esta es, posiblemente, la forma más eficiente de crear un nuevo grupo, ya que permite aprovechar las ventajas de las distintas opciones de ordenamiento para agilizar significativamente la selección de los nodos/elementos de interés.

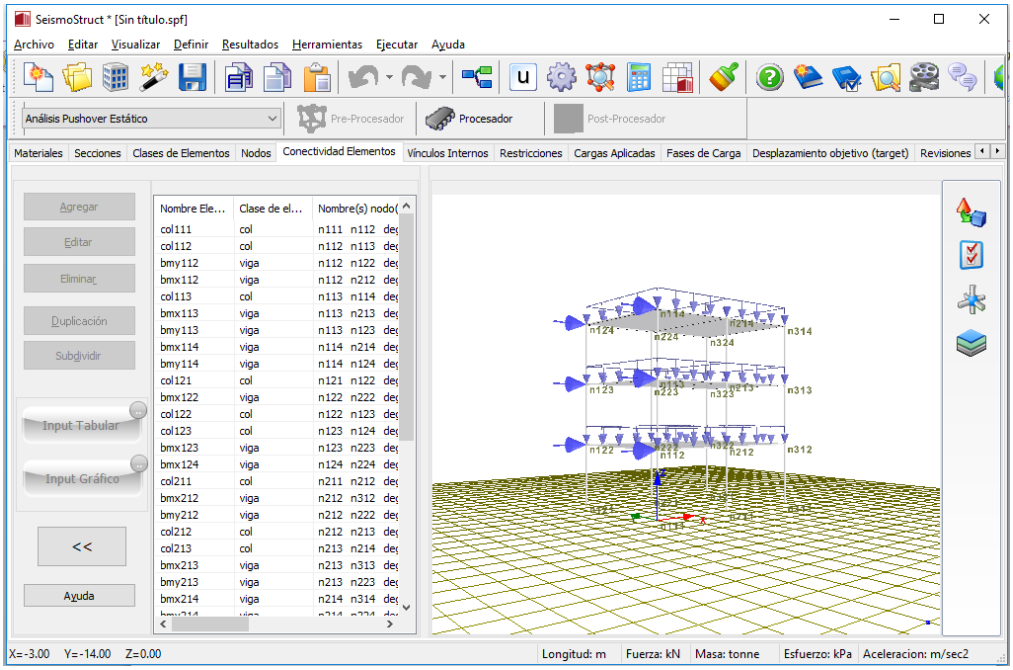
NOTA: La funcionalidad "Grupos" es particularmente útil para la selección de nodos y elementos a post-procesar, lo cual permite reducir fácilmente el tamaño de los archivos de output y acelerar la mayoría de las operaciones de post-procesado.

Opciones Gráfico 3D

Los ajustes del gráfico 3D del modelo estructural pueden ser modificados en función de las preferencias y requerimientos del usuario.

Layout de visualización

Dentro de este menú, accesible a través del botón de la barra de herramientas , es posible (i) seleccionar un layout predefinido como el *Layout Estándar* (por defecto),*Elementos transparentes* y *Elementos como línea* (este último es particularmente útil para visualizar resultados de solicitaciones internas), (ii) guardar los layout de visualización personalizados o (iii) modificar las opciones del gráfico 3D.



Layout de visualización

Guardar Layout Actual

Los usuarios pueden desear guardar los cambios realizados en las *Opciones Gráfico 3D*. Para ello, deben:

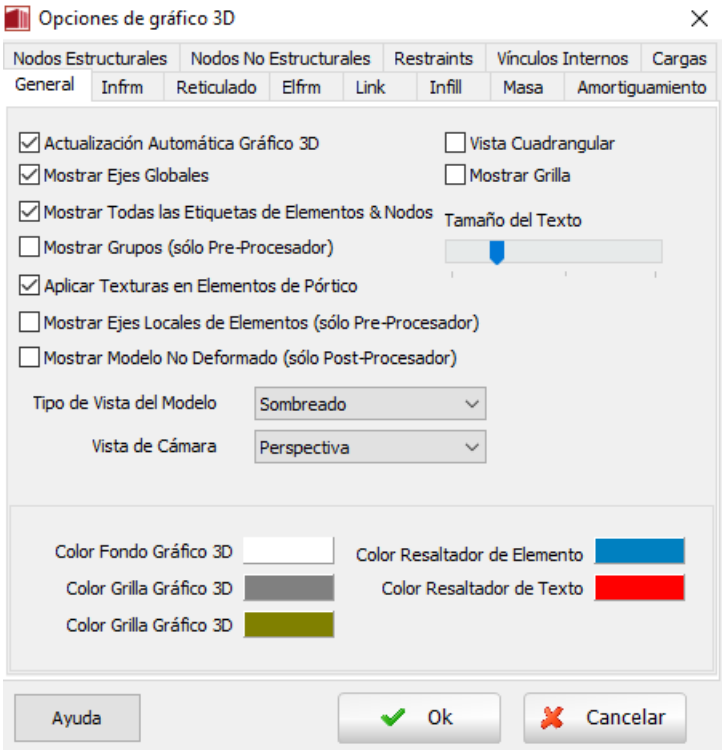
1. Hacer clic en el botón de la barra de herramientas;
2. Asignar un nombre a la nueva configuración del layout;
3. Hacer clic en el botón *OK* para confirmar la operación.

El nuevo layout aparecerá en el menú desplegable ubicado en la barra de herramientas. De todas formas, el usuario puede retornar al layout "inicial" cuando lo desee, seleccionando la opción *Layout estándar* en el menú desplegable.

Opciones Gráfico 3D...

El rango completo de parámetros de la representación gráfica se encuentra en la ventana de diálogo *Opciones Gráfico 3D*, a la cual es posible acceder desde el menú principal (*Herramientas >Opciones Gráfico 3D...*) o mediante el botón correspondiente en la barra de herramientas .

Dentro del menú *Opciones Gráfico 3D* existe una serie de sub-menúes en los cuales los usuarios pueden no sólo seleccionar qué componentes del modelo (nodos, elementos de pórtico, masa, disipadores, links, etc.) mostrar en el gráfico sino también cambiar una gran cantidad de ajustes tales como el color/transparencia de los elementos, los ejes, el fondo, el color/transparencia de los símbolos de carga, el color de los textos, etc.

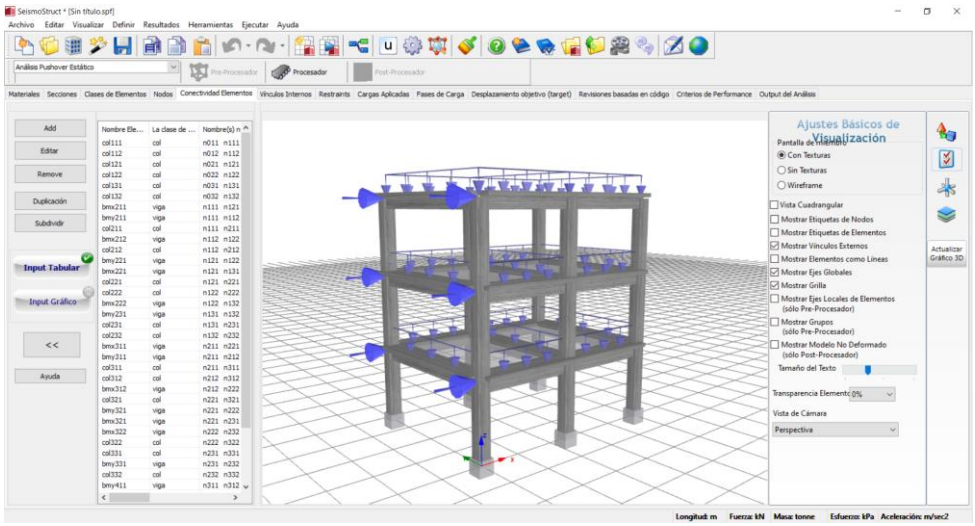


Menú Opciones Gráfico 3D

Por defecto, el gráfico 3D es actualizado automáticamente, lo cual implica que, para cada cambio en el input (por ej., la adición de un nodo o elemento), el gráfico es actualizado en tiempo real. Esto puede resultar indeseable en los casos en los que el modelo estructural sea muy grande (varios cientos de nodos y elementos) y/o el usuario está utilizando un ordenador portátil alimentado con batería, con el CPU ralentizado (con el fin de incrementar la duración de la batería). En estas situaciones, el programa tarda unos segundos en actualizar el gráfico, por lo cual puede resultar más conveniente desactivar esta característica (deseleccionando la opción *Actualización Automática Gráfico 3D* en el sub-menú *General*) y optar por la actualización manual, llevada a cabo mediante el comando *Redibujar Gráfico 3D*, que se encuentra en *Herramientas* (del menú principal) y el menú que se despliega al realizar clic derecho sobre el área gráfica.

Ajustes Básicos de Visualización

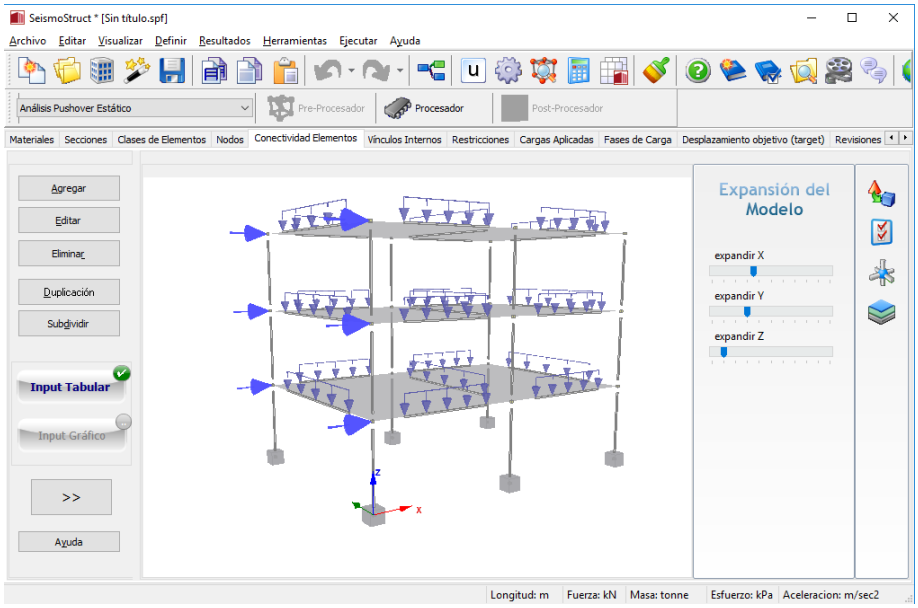
Dentro de este menú, al cual es posible acceder mediante el botón de la barra de herramientas, es posible modificar las características de visualización más comúnmente utilizadas (tipo de vista, opciones de rendering, mostrar nombres, representación de ejes locales, transparencia de elementos, etc.), haciendo uso de las casillas de verificación y menúes desplegables.



Ajustes Básicos de Visualización

Expansión del Modelo

Utilizando esta función, a la cual es posible acceder mediante el botón de la barra de herramientas, el modelo 3D puede ser expandido en cada dirección global (X, Y y Z) moviendo el cursor correspondiente.

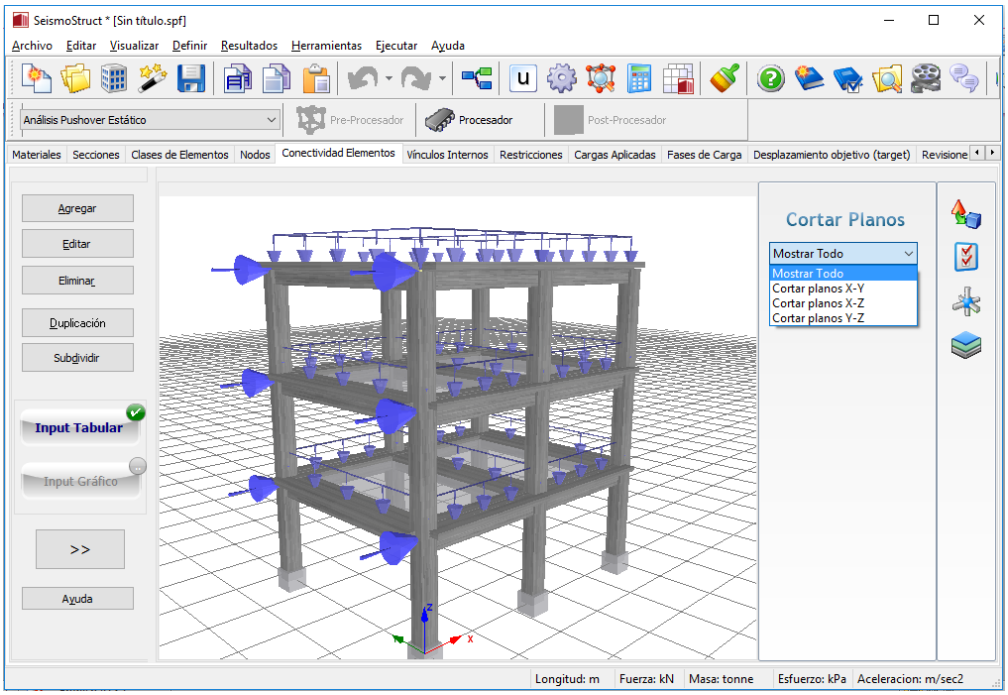


Expansión del Modelo

Cortar Planos

Además de las funciones anteriores, también puede ser activada la opción Cortar Planos a través del botón de la barra de herramientas.

NOTA: Por defecto, la opción *Mostrar Todo* se encuentra seleccionada en el menú desplegable.



Cortar Planos

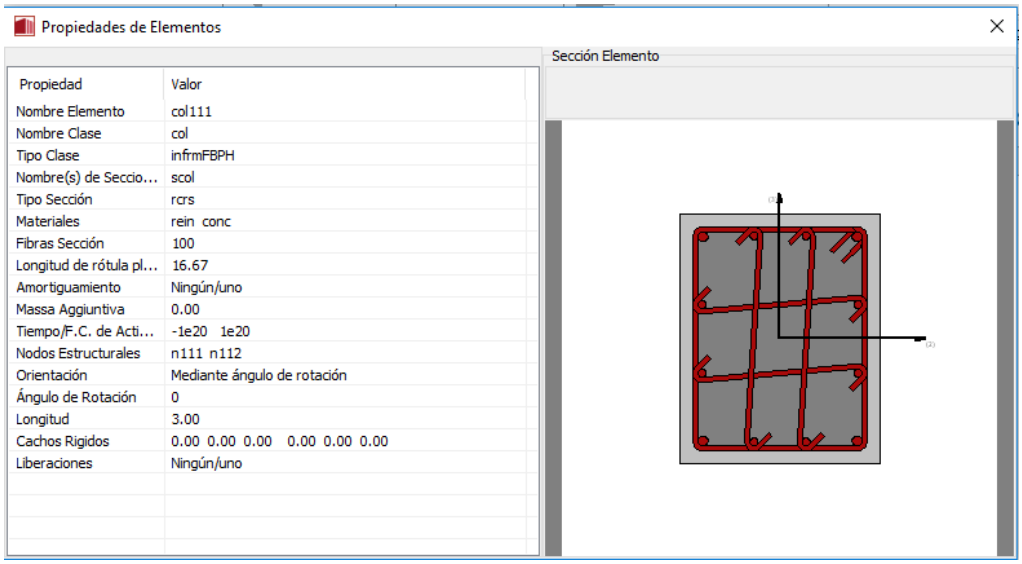
Operaciones Adicionales

El usuario tiene la posibilidad de acercar/alejar, rotar y mover el gráfico 3D/2D del modelo estructural utilizando tanto el mouse (altamente recomendado) o los atajos del teclado. Asimismo, es posible seleccionar nodos y elementos haciendo clic sobre los mismos en las tablas de los módulos respectivos ("point &clic"). Al hacer doble-clic sobre un nodo/elemento en el gráfico, se accede a la ventana de edición correspondiente.

Finalmente, al hacer clic derecho sobre un elemento dado es posible visualizar el "resumen" de sus propiedades (seleccionando -> *Propiedades Elemento* en el menú desplegable). También es posible hacer clic sobre el renglón de una propiedad en particular para ser dirigido al módulo correspondiente.

NOTA 1: Debe notarse que cuando se definen nodos no estructurales con coordenadas muy grandes y luego la visualización de dichos nodos es activada, el modelo será inevitablemente reducido a dimensiones de visualización muy pequeñas. Para evitar esto, el usuario deberá (i) colocar los nodos no estructurales en las proximidades de la estructura, (ii) inhabilitar la visualización de éstos o (iii) acercar la imagen manualmente cada vez que se actualice el gráfico 3D.

NOTA 2: La activación de la visualización de ejes locales puede generar una representación bastante "congestionada" del modelo 3D, especialmente cuando se estén utilizando elementos link, haciendo difícil la interpretación/verificación de la orientación de los ejes. En estos casos, es posible simplemente inhabilitar la visualización de algunos componentes (por ej., elementos de pórtico) con el fin de verificar más fácilmente otros.



Propiedades de Elemento

Cómo rotar/mover el modelo 3D

Acción	Utilizando el teclado	Utilizando el mouse
Acercar	presionar flecha hacia arriba	desplazar rueda hacia arriba
Alejar	presionar flecha hacia abajo	desplazar rueda hacia abajo
Rotar hacia la izquierda	presionar flecha hacia la izquierda	arrastrar hacia la izquierda mientras se presiona el botón izquierdo
Rotar hacia la derecha	presionar flecha hacia la derecha	arrastrar hacia la derecha mientras se presiona el botón izquierdo
Rotar hacia arriba	presionar '*Ctrl* '+ flecha hacia arriba	arrastrar hacia arriba mientras se presiona el botón izquierdo
Rotar hacia abajo	presionar '*Ctrl* '+ flecha hacia abajo	arrastrar hacia abajo mientras se presiona el botón izquierdo
Mover hacia la izquierda	presionar '*Ctrl* '+ flecha hacia la derecha	arrastrar hacia la izquierda mientras se presiona el botón derecho
Mover hacia la derecha	presionar '*Ctrl* '+ flecha hacia la izquierda	arrastrar hacia la derecha mientras se presiona el botón derecho
Mover hacia arriba	presionar '*Shift* '+ flecha hacia abajo	arrastrar hacia arriba mientras se presiona el botón derecho
Mover hacia abajo	presionar '*Shift* '+ flecha hacia arriba	arrastrar hacia abajo mientras se presiona el botón derecho

NOTA: Si el movimiento con la rueda del mouse resulta demasiado veloz, se recomienda utilizar el teclado o modificar los ajustes de la misma (en el Panel de Control de Windows).

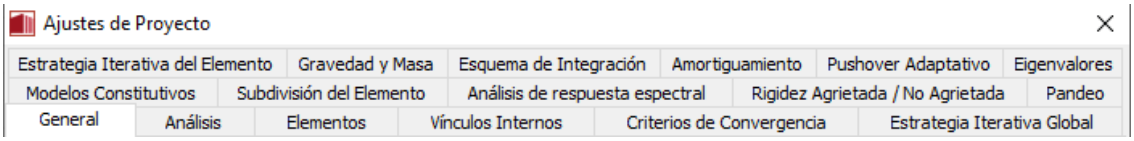
AJUSTES DE PROYECTO

Para cada proyecto de SeismoStruct es posible personalizar tanto la modalidad de utilización del programa como las características de performance de los procedimientos analíticos, con el fin de que se ajusten mejor a las necesidades de cualquier modelo estructural dado y/o las preferencias de cada usuario. Esta funcionalidad de "personalización" del programa/proyecto se encuentra disponible en el panel *Ajustes de Proyecto*, al cual es posible acceder a través del menú principal *Herramientas > Ajustes de Proyecto...* o mediante el botón correspondiente en la barra de herramientas .

NOTA: Se recomienda a los usuarios restaurar los Ajustes de Proyecto a los Valores por Defecto del Programa luego de la instalación de una nueva versión, ya que puede haber casos en los que éstos no hayan sido instalados correctamente.

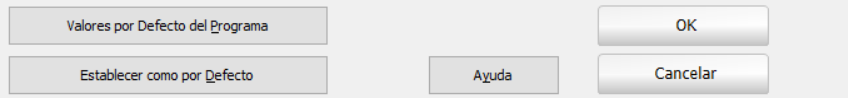
La ventana de diálogo *Ajustes de Proyecto* se encuentra subdividida en una serie de pestañas que agrupan los distintos tipos de ajustes:

- General
- Análisis
- Elementos
- Vínculos Internos
- Pushover Adaptativo
- Eigenvalores
- Modelos Constitutivos
- Subdivisión de Elementos
- Análisis de de Respuesta Espectral
- Rigidez Agrietada/No Agrietada
- Pandeo
- Criterios de Convergencia
- Estrategia Iterativa Global
- Estrategia Iterativadel Elemento
- Gravedad yMasa
- Esquema de Integración
- Amortiguamiento



Pestañas del menú Ajustes de Proyecto

Las opciones *Valores por Defecto del Programa* y *Establecer como Por Defecto* son comunes a todas las pestañas, y se encuentran en la parte inferior de la ventana de *Ajustes de Proyecto*. La opción *Establecer como Por Defecto* es utilizada cuando el usuario desea definir nuevos ajustes por defecto personalizados, los cuales serán utilizados en todos los nuevos proyectos creados con posterioridad. La opción *Valores por Defecto del Programa*, por su parte, permite retornar, en cualquier momento, a los valores por defecto originales, como se encontraban definidos al momento de la instalación. Debe notarse, sin embargo, que la opción *Valores por Defecto del Programa* no modifica los ajustes por defecto actuales, sino que simplemente carga los ajustes de instalación al proyecto actual. Por lo tanto, si el usuario ha personalizado previamente los ajustes por defecto (utilizando la opción *Establecer como Por Defecto*) y luego desea revertir los ajustes por defecto a los originales, debe primero cargar los *Valores por Defecto del Programa* y luego seleccionar la opción *Establecer como Por Defecto*.



Opciones "Valores por predeterminados" y "Establecer como Predeterminados"

NOTA: En la mayoría de las aplicaciones no hay necesidad de modificar los valores prestablecidos en los Ajustes de Proyecto, ya que estos han sido escogidos siendo aptos para el tipo de análisis y modelos estándar, llevando a soluciones optimizadas en términos de eficiencia, desempeño y precisión de los resultados.

General

Los *Ajustes Generales* proveen la posibilidad de personalizar la forma de utilización del programa de acuerdo con las preferencias y gustos de los usuarios.

Output Binario

Cuando se active, la opción de *Output Binario* llevará a la creación de un archivo binario (*.srf) conteniendo el output de la entrada del análisis.

Output de Texto

Al estar activada, la opción *Output de texto* conlleva a la creación, al final de cada análisis, de un archivo de texto (*.out) que contiene el output del análisis completo (como es indicado en el módulo *Output Paso a Paso*). Esta opción puede resultar útil para los usuarios que desean post-procesar los resultados en forma sistemática, utilizando su propio código/aplicación de post-procesamiento personalizado. Para el acceso ocasional al output de texto, se recomienda a los usuarios hacer uso de las funcionalidades disponibles en el módulo*Output Paso a Paso*.

NOTA: Al menos un tipo de output, binario o texto, deberá ser seleccionado.

Output de Texto Múltiple

Al estar activada, la opción Output de texto múltiple conlleva a la creación de múltiples archivos de texto (*.out), en lugar de uno solo. Esta función puede resultar de utilidad cuando se desea analizar grandes modelos.

Mostrar Mensajes de Advertencia

Cuando la opción de *Desplegar Mensajes de Advertencia* se activa, a los usuarios se les muestra al inicio de cada análisis mensajes de advertencia sobre posibles problemas que pueden surgir, p. ej. dificultade de convergencia, cargas actuando en los soportes, parámetros que parecen poco razonables, etc. La desactivación de los mensajes puede resultar útil cuando se planea usar la herramienta de Batch de SeismoStruct para correr múltiples análisis. De forma predeterminada, la opción está activada.

NOTA: Los mensajes de advertencia que aparecen antes del inicio del análisis se cierran automáticamente luego de 2 minutos, si no existe acción del usuario.

Guardar Ajustes

La opción *Guardar Ajustes* es utilizada cuando el usuario desear establecerlos ajustes que ha seleccionado para el proyecto actual como ajustes por defecto para todo proyecto creado con posterioridad. Si esta opción es seleccionada, cualquier cambio en los *Ajustes de Proyecto* se convertirá en opción por defecto, sin necesidad de utilizar la opción *Establecer como Por Defecto*.

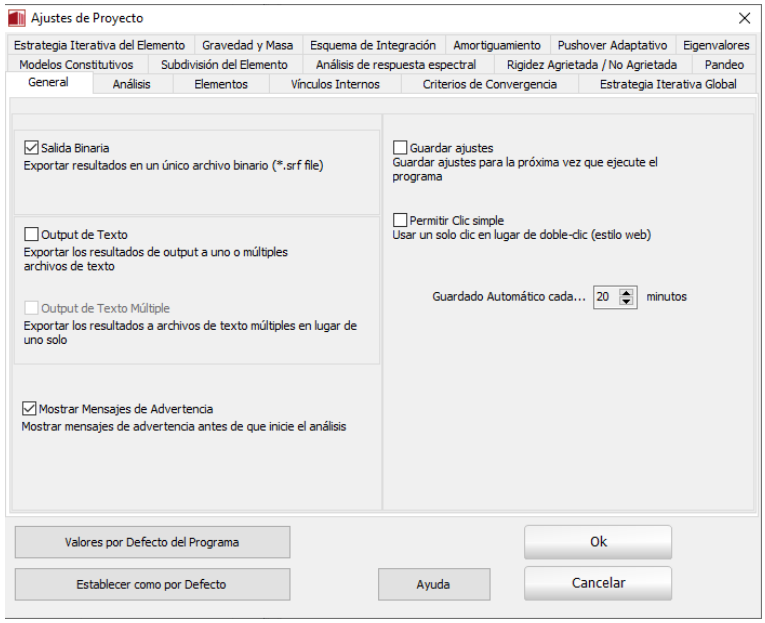
NOTA: Habitualmente, esta opción se deja inhabilitada, con el fin de que los ajustes por defecto sólo sean modificados si el usuario lo solicita en forma explícita (utilizando la opción *Establecer como Por Defecto*).

Permitir Clic-simple

Cuando esta opción es seleccionada, el programa adopta un aspecto más similar al de las páginas web, permitiendo acceder a las distintas funcionalidades mediante un solo clic (en contraposición al doble-clic comúnmente utilizado).

Guardado Automático cada...

Con el fin de proteger a los usuarios del borrado accidental de archivos de proyecto, SeismoStruct crea automáticamente una copia de backup de los mismos cada un intervalo de tiempo especificado (el valor por defecto es 20 minutos). Los archivos de backup tienen extensión *.bak*. Esta función puede ser desactivada especificando un intervalo de tiempo igual a cero.



Ventana General

Análisis

En esta pestaña es posible definir algunas opciones relacionadas con el análisis. En particular, es posible seleccionar el tipo de algoritmo de resolución, indicar si se desea realizar un Análisis de Eigenvalores en cada paso del análisis dinámico no lineal y del análisis Pushover, y si se desea tener en cuenta (o no) las no linealidades geométricas.

Algoritmo de Resolución

Aparte del solucionador de ecuaciones lineales, los usuariospueden seleccionar si la carga inicial, por ejemplo las cargas estáticas estructurales, se aplicará en uno o más pasosen los tipos de análisis no lineal. La opción predeterminada es aplicarla en solo un paso del análisis.
Además, la opción de realizarAnálisis de Eigenvalores en cada paso del análisis dinámico no lineal y el análisis Pushover está disponible.Los usuarios pueden seleccionar realizar un Análisis de Eigenvaloresal final del análisis no lineal o realizar Análisis de Eigenvalores varias veces durante el análisis no lineal especificando después de cuántos pasos se realizará el Análisis de Eigenvalores.
Los usuarios pueden elegir entre dos algoritmos de resolución diferentes:

- Un**Solucionador Skyline** (descomposición de Choles, algoritmo de orden de los nodos Cuthill-McKee, formato de almacenamiento Skyline);
- Un**SolucionadorFrontal** para sistemas dispersos, introducido por Irons [1970] y con el algoritmo de ordenamiento automático propuesto por Izzuddin [1991].
- Un **SolucionadorDisperso / DePerfil**para sistemas dispersos, presentado por Mackayet al. [1991] y presenta un esquema de almacenamiento en hileras compactas utilizando árboles de eliminación propuesto por Liu [1986].
- Un **SolucionadorParaleloDisperso/ De Perfil**para sistemas dispersos, que es la versión paralela del algoritmo de Mackayet al. El método fue introducido por Law y Mackay [1992].

Los usuarios pueden seleccionar entre estas quatro opciones, o dejar que el programa seleccione el solucionador más apropiado, dependiendo de las características del modelo estructural. Debe notarse que, en general, los solucionadores Dispersos/Perfilson considerablemente más rápidos, especialmente en modelos más grandes. En particular, la versión paralela es más eficiente para modelos estructurales más grandes de 500 nodos y más.En contraste, el método Skyline es generalmente más estable y es capaz de acomodar elementos de rigidez diagonal cero. Cuando se selecciona la opción automática, que es la opción predeterminada, el programa realiza una verificación de estabilidad y tamaño antes del análisis. Si el modelo no es muy pequeño (por ejemplo más pequeño que 25 nodos), y si puede ejecutarse con el solucionador Disperso/ De Perfil sin problemas de estabilidad, se utiliza este método; de lo contrario, se elige el método Skyline, paralelo para más de 1000 nodos o de manera serial en caso contrario.

NOTA: Se recomienda fuertemente a los usuarios referirse a la bibliografía existente [por ej.,Cook et al. 1989;Zienkiewicz and Taylor 1991; Bathe 1996; Felippa 2004] por mayores detalles respecto de éstos y otros algoritmos de resolución directa.

Finalmente, independientemente del solucionador seleccionado (en serie o paralelo), el usuario puede seleccionar ejecutar diferentes operaciones del análisis estructural (revisiones iniciales, ensamblaje de la matriz de rigidez, revisiones basadas en códigos y revisiones de los Criterios por Desempeño) en paralelo o no. Poner en paralelo estas operaciones puede ser significativamente más rápido en modelos más grandes, y esta es la opción predeterminada.

No Linealidades Geométricas

Al deseleccionar esta opción se inhabilita la formulación de no linealidad geométrica descrita en el Apéndice A, transformando el análisis en lineal desde el punto de vista de los desplazamientos/rotaciones, lo cual puede resultar particularmente útil para los usuarios que deseen comparar resultados de los análisis con cálculos efectuados a mano. Esta opción se encuentra activa por defectopara elementos de marco y desactivado para elementos de mampostería.

Es posible también ejecutar los análisis considerando las propiedades lineales elásticas de los materiales. Para ello, el usuario debe seleccionar la opción "*Ejecutar el Análisis con Propiedades Lineales Elásticas*".

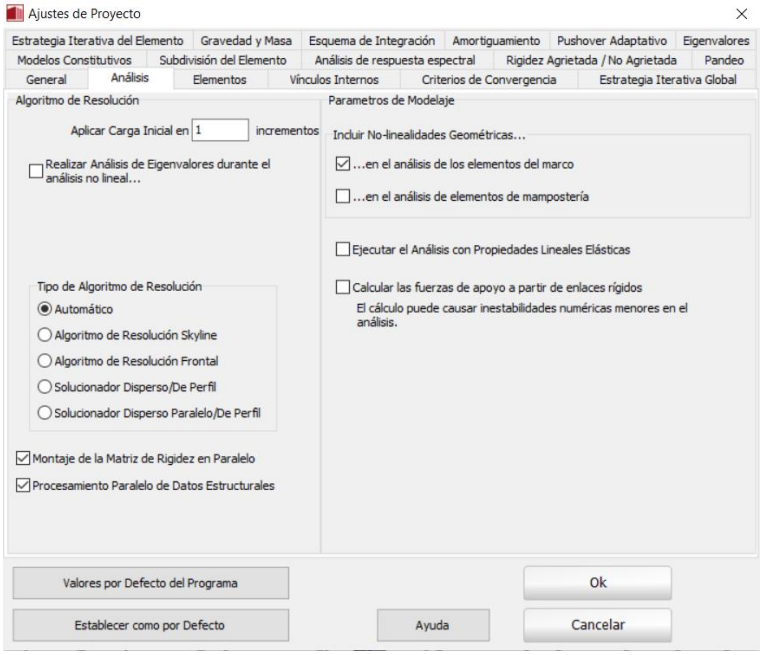
Correr con Propiedades Elástico Lineales

Marcar esta opción deshabilitará la inelasticidad de material y sus propiedades no lineales, haciendo de esta manera que todo el análisis se lleve a cabo de manera elástica. De forma predeterminada esta opción está desactivada, con la excepción del Análisis del Espectro de Respuesta, cuando es la opción predeterminada.

NOTA: Cuando los usuarios deciden ejecutar un análisis considerando las propiedades elásticas lineales de los materiales (ver la opción descrita anteriormente), deben tener en cuenta que, si los elementos se modelan usando secciones de Hormigón Armado y elementos 'infrm', los elementos infrm darán cuenta para el refuerzo; por el contrario, si se emplean elementos 'elfrm', sus propiedades se calculan utilizando el módulo de elasticidad concreto y las dimensiones de la sección, descuidando así el efecto del refuerzo.

Calcular las fuerzas de apoyo a partir de enlaces rígidos

Marcar esta opción permite el cálculo de las fuerzas de apoyo en los casos en que algunos DOF de un vínculo interno (enlace rígido, diafragmas rígidos o DOF igual) se fijan con restricciones. Por defecto, esta opción está inactiva, porque este cálculo puede causar inestabilidades numéricas menores.



Ventana de la pestaña de análisis

Elementos

En esta pestaña es posible definir algunos ajustes relacionados con el análisis de elementos de pórtico.

Efectuar Recuperación de Esfuerzos

Las formulaciones de elementos basadas en desplazamientos, tales como las empleadas actualmente para los elementos de pórtico elásticos e inelásticos, presentan la desventaja de que, si el desplazamiento nodal es cero, se obtienen también deformaciones, esfuerzos y solicitaciones internas nulas (por ej., si uno modela una viga bi-empotrada utilizando un solo elemento y aplica una carga distribuida (en SeismoStruct esto se lleva a cabo definiendo masa adicional), los momentos en los extremos serán nulos, lo cual es evidentemente erróneo). Con el fin de superar esta limitación, es habitual que los programas de elementos finitos utilicen los llamados algoritmos de recuperación de esfuerzos, que permiten la obtención de los esfuerzos internos de un elemento sometido a carga distribuida, incluso si sus nodos no se desplazan. Debe notarse, sin embargo, que dichos algoritmos (i) no permiten la recuperación de los valores correctos de esfuerzos y deformaciones, dado que éstos están caracterizados por un historial de respuesta no lineal, y (ii) ocasionarán un importante aumento del tiempo de análisis de grandes modelos. Por lo tanto, se recomienda a los usuarios inhabilitar esta opción en aquellos casos en los que la obtención de los valores exactos de los esfuerzos internos no resulte de importancia primaria.

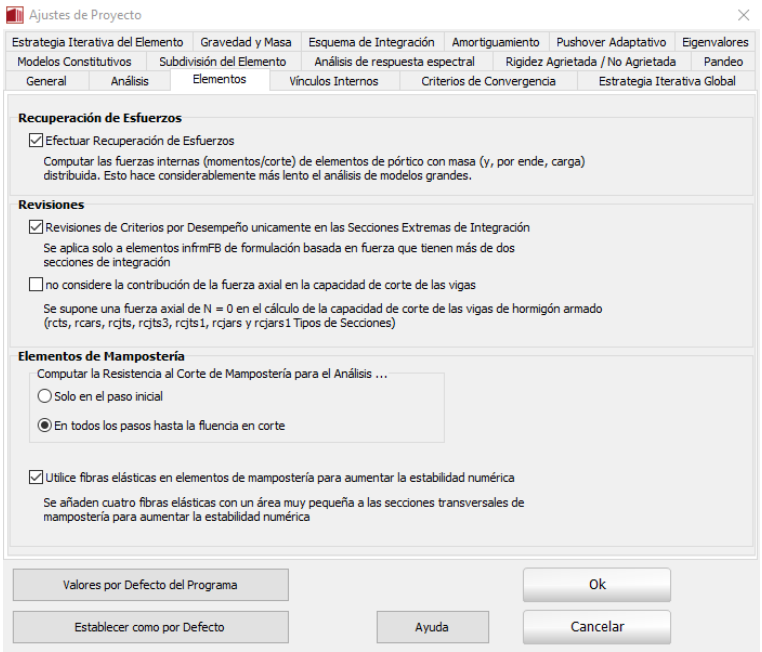
NOTA: La *Recuperación de Esfuerzos* resulta de utilidad sólo cuando se definen cargas distribuidas mediante la utilización del peso específico del material o de masa adicional en la sección/elemento (pero no mediante la introducción de elementos dmass).

Efectuar Revisiones de Criterio por Desempeño solamente en las Secciones de Integración de los Extremos

Al activar esta opción los usuarios pueden seleccionar llevar a cabo revisiones de Criterios por Desempeño solamente en las secciones de integración de los extremos de los elementos inelásticos con formulación basada en fuerza (infrmFB), que son los lugares donde generalmente las revisiones se efectúan. De estamanera, solamente los resultados relevantes se exportan, sin gastar tiempo de procesamiento en el análisis de todas las secciones de integración y sin confundir al usuario con resultados redundantes.

No considere la contribución de la fuerza axial en la capacidad de corte de las vigas

Al activar esta opción,la capacidad de realizar revisiones de corte ignorando la fuerza axial real aplicada sobre el miembro de la viga está disponsible. Esta característica es particularmente importante para las revisiones de la capacidad de corte de las vigas, cuando la interacción entre las vigas de hormigón armado modeladas con fibra y el diafragma rígido adoptado para simular la losa de hormigón (una configuración muy común en los edificios de hormigón armado) puede provocar el desarrollo de fuerzas axiales no deseadas.



Ventana de Pestaña de Elementos

Calcular la Resistencia al Corte de Mampostería para el Análisis

Con esta configuración, los usuarios pueden elegir si desean calcular la resistencia al corte de la mampostería (i) solo en el paso inicial o(ii) en todos los pasos hasta la fluencia al corte por ejemplo aún después de alcanzar la capacidad máxima del miembro. La opción predeterminada es la segunda, actualizar la resistencia al corte hasta alcanzar el rendimiento, que es la mejor combinación de precisión y estabilidad, ya que la actualización de la resistencia al corte en la rama descendente de la curva de capacidad puede producir algunas dificultades de convergencia sin mejorar significativamente la precisión de la solución.

Utilice fibras elásticas en elementos de mampostería para aumentar la estabilidad numérica

Se dispone una mayor estabilidad numérica mediante la adición de fibras elásticas muy pequeñas en los elementos de mampostería. Estas fibras permiten una mejor convergencia durante el análisis sin afectar significativamente la respuesta general del elemento. Por defecto, esta opción está activa.

Vínculos Internos

En los programas de análisis estructural, los vínculos internos son típicamente implementados mediante el uso de (i) **Transformaciones Geométricas**, (ii) **Funciones de Penalización(Funciones "Penalty")**, o (iii) **Multiplicadores de Lagrange**. En análisis geométricamente no lineales (grandes desplazamientos/rotaciones), sin embargo, el primero de los tres tiende a generar dificultades en la convergencia numérica, razón por la cual sólo los dos últimos son empleados habitualmente y han sido implementados en SeismoStruct.

NOTA: Se recomienda a los lectores referirse a la literatura existente [por ej., Cook et al., 1989; Felippa, 2004] por mayor información sobre este tema.

Es digno de mención que mientras las **Funciones Penalty** tienen la ventaja de no introducir variables nuevas (y, por ende, la matriz de rigidez no aumenta y se mantiene definida positiva), pueden ocasionar un incremento significativo en el ancho de banda de las ecuaciones estructurales [Cook et al., 1989].

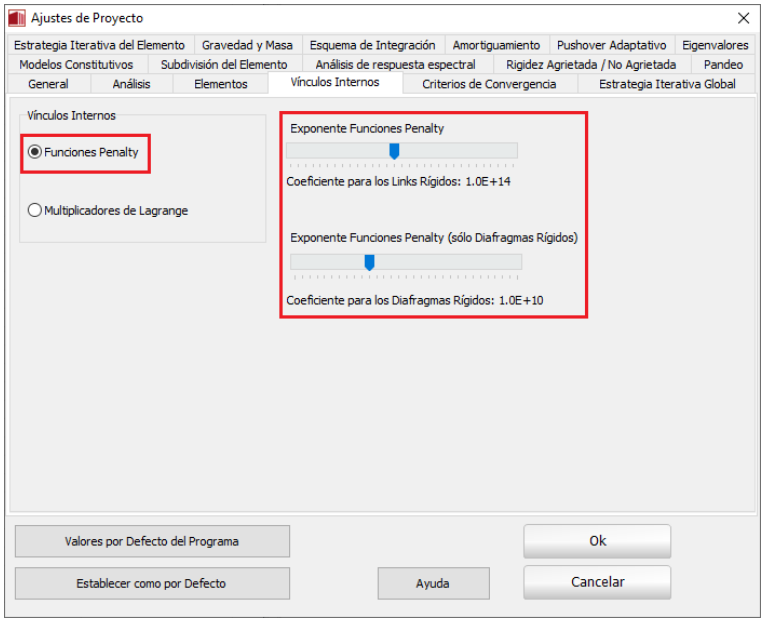
Por otra parte, las **Funciones Penalty** presentan la desventaja de que los números "de penalización" deben ser elegidos dentro de un rango admisible (suficientemente grandes para ser efectivos pero no tan grandes que introduzcan dificultades numéricas), lo cual no resulta necesariamente simple [Cook et al., 1989] y puede conducir a resultados erróneos.

Sin embargo, el uso de los "conceptualmente superiores" **Multiplicadores de Lagrange** puede disminuir considerablemente la velocidad del análisis, razón por la cual las **Funciones Penalty** son sugeridas como opción por defecto en SeismoStruct.

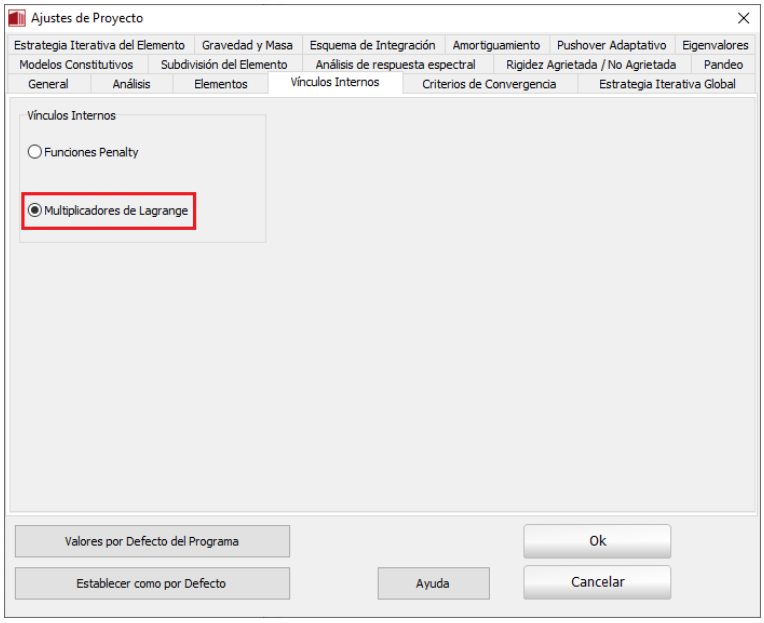
En aquellos casos en los que el uso de los **Multiplicadores de Lagrange** conduzca a dificultades numéricas y los usuarios opten por utilizar **Funciones Penalty**, resulta necesario definir los coeficientes de penalización para diafragmas (típicamente menores) y vínculos rígidos (típicamente mayores); los Factores de Penalización son calculados luego como el producto entre estos coeficientes y el mayor valor encontrado en la matriz de rigidez.

Debe notarse que, por el contrario de lo que podría indicar la intuición, no siempre es necesario utilizar grandes valores para los coeficientes de penalización. De hecho, en modelos donde existen elementos estructurales de gran rigidez, no es necesario que los coeficientes penalty sean demasiado grandes, dado que su producto con dichos grandes valores encontrados en la matriz de rigidez de la estructura conducirán a un elevado factor de penalización, como se indica en el estudio de Pinho et al. [2008a].

NOTA: Felippa [2004] sugiere que el valor óptimo de las Funciones Penalty debe ser el promedio entre la rigidez máxima y la precisión del procesador (1e20, para el caso de SeismoStruct).



Ventana Vínculos Internos – Funciones Penalty



Ventana Vínculos Internos – Multiplicadores de Lagrange

Pushover Adaptativo

En forma adicional a los parámetros definidos en el módulo **Parámetros Adaptativos**, en esta pestaña es posible seleccionar algunos ajustes avanzados. Estos son: (i) el **Tipo de Actualización**, (ii) la **Frecuencia de Actualización** y (iii) el **Método de Combinación Modal**. Los mismos se describen a continuación.

Tipo de Actualización

Esta opción adaptativa define cómo es actualizado el perfil de distribución del vector de carga en cada incremento del análisis. Hay cuatro alternativas disponibles:

- **Actualización Total**. El vector de carga del incremento actual es obtenido mediante una sustitución completa de las cargas existentes equilibradas (vector de carga del incremento anterior) por un nuevo vector de carga, calculado como el producto entre el factor de carga total actual, el vector de escala modal actual y el vector nominal de carga definido inicialmente por el usuario. Esta opción de actualización no es recomendada, ya que carece de una base teórica sólida.
- **Actualización Incremental**. El vector de carga para el incremento actual es obtenido sumando al vector de carga del incremento anterior (cargas existentes equilibradas) un nuevo vector de carga incremental, calculado como el producto entre el incremento del factor de carga actual, el vector de escala modal actual y el vector nominal de carga definido inicialmente por el usuario. La Actualización Incremental es más sólida conceptualmente que la Actualización Total, por cuya razón es la opción por defecto.
- **Actualización Híbrida**. Esta tercera opción de actualización del vector de carga permite combinar los dos métodos descritos anteriormente. De esta forma, el vector de carga del incremento actual es obtenido mediante la sustitución parcial del vector de cargas equilibradas existente por un vector de carga nuevo, y la adición parcial de un nuevo vector de carga incremental. Las proporciones que pueden conducir a una solución óptima, en términos de precisión y estabilidad numérica, varían obviamente de acuerdo con las características del modelo, el tipo de cargas a la que es sujeto (desplazamientos o fuerzas) y el espectro de respuesta utilizado en la determinación del vector de escala modal (si éste está siendo utilizado).
- **Actualización Completamente Incremental**. El vector de carga para el incremento actual es obtenido sumando al vector de carga del incremento anterior (cargas existentes equilibradas) un nuevo vector de carga incremental, que refleja los cambios en las propiedades modales actuales de la estructura.

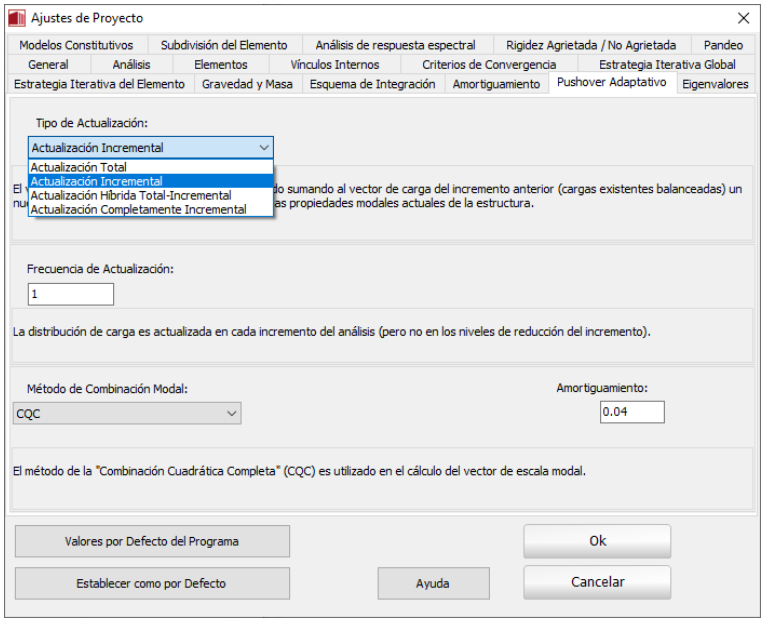
Frecuencia de Actualización

Este parámetro define cómo y cuándo se actualiza el vector de escala modal durante el análisis. Cualquier entero mayor que cero puede ser utilizado. El valor por defecto es 1, lo cual significa que la distribución de carga es actualizada en cada incremento del análisis, con excepción de los incrementos en los cuales la magnitud del incremento ha sido reducida debido a dificultades de convergencia (ajuste automático del incremento). En aquellos casos en los que el usuario desea definir un número muy grande de incrementos para el análisis (es decir, que la carga es aplicada en incrementos muy pequeños), puede resultar ventajoso utilizar un valor de frecuencia mayor que 1 (es decir, que el vector de escala modal no sea actualizado en cada incremento), con el fin de reducir la duración del análisis sin pérdida de precisión.

Método de Combinación Modal

Para el cálculo del vector de escala modal es posible utilizar tres métodos de combinación modal, a saber: (i) el conocido método de la **raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS)**, (ii) el método de la **Combinación Cuadrática Completa (CQC)** y (iii) el método de la **Combinación Cuadrática Completa con tres componentes (CQC3)** [ver por ej. Clough and Penzien, 1993; Chopra, 1995; Menun and Der Kiureghian 1998]. Es sabido que existen importantes limitaciones asociadas al uso de estos tres métodos "aditivos" de combinación modal, como ha sido analizado por varios investigadores [por ej., Kunnath, 2004; Lopez, 2004; Antoniou and Pinho, 2004a], y aún no se ha identificado una metodología ideal óptima. Sin embargo, estas limitaciones pueden ser superadas parcialmente con la utilización del Pushover Adaptativo Basado en Desplazamientos, como es demostrado por Antoniou and Pinho [2004b] y Pinho and Antoniou [2005], entre otros.

Por otra parte, los usuarios pueden utilizar también **un solo modo** para el cálculo del vector de escala modal, en cuyo caso deberán definir el número del modo y el grado de libertad a utilizar. Esto puede resultar de gran utilidad en aquellas situaciones en que el usuario no tenga forma de estimar/representar el input sísmico esperable/de diseño para el sitio en cuestión, en cuyo caso debería utilizar un DAP-primer modo (sólo para edificios).



Ventana Pushover Adaptativo

Eigenvalores

Para la ejecución de análisis de eigenvalores o de pushover adaptativos, los usuarios pueden elegir entre dos algoritmos de resolución: el **Algoritmo de Lanczos** (presentado por Hughes [1987]) o el **Algoritmo de Jacobi con transformación de Ritz.** Cuando se selecciona la opción automática, se utilizará en el el eigensolver más apropiado para el edificio dependiendo del número de los grados de libertad del edificio. Cada algoritmo se describe en detalle a continuación:

Algoritmo de Lanczos

Los siguientes parámetros son utilizados para controlar la forma en que funciona este algoritmo de resolución:

- **Número de eigenvalores**. Es el número máximo de eigenvalores requerido por el usuario. El valor por defecto es 10, el cual normalmente garantiza que, al menos por configuraciones estructurales estándar, todos los modos de interés sean cubiertos adecuadamente. Los usuarios pueden desear incrementar este parámetro para el análisis de edificios irregulares y puentes en tres dimensiones, en los que los modos de interés pueden encontrarse más allá de la 10ª solución.
- **Número máximo de incrementos**. Es el número máximo de pasos incrementales requeridos para alcanzar la convergencia. El valor por defecto es 50, valor suficientemente grande para asegurar que las soluciones siempre sean obtenidas para la gran mayoría de las configuraciones estructurales.

NOTA 1: Dado que el algoritmo de Lanczos implementado en SeismoStruct puede presentar dificultades de convergencia en modelos pequeños con un número limitado de grados de libertad (por ejemplo, de 1 a 3), se recomienda a los usuarios utilizar la opción de Jacobi-Ritz en estos casos.

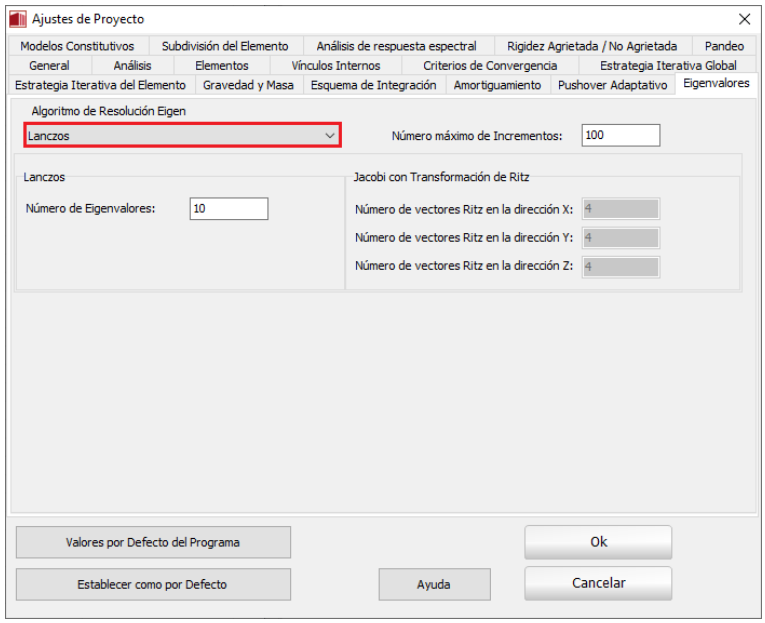
NOTA 2: Al ejecutar un análisis de eigenvalores utilizando el algoritmo de Lanczos puede presentársele al usuario el mensaje "*no se han podido re-ortogonalizar todos los vectores de Lanczos*", lo cual significa que el algoritmo de Lanczos no ha podido calcular todos o alguno de los modos de vibración de la estructura. Este comportamiento puede ser observado en (i) modelos con errores de ensamble (por ej., nodos/elementos desconectados) o (ii) modelos estructurales complejos que contengan links, rótulas, etc. Si el usuario ha chequeado el modelo cuidadosamente y no ha encontrado errores de modelado, quizás pueda entonces intentar "simplificarlo" (mediante la remoción de sus características más complejas) hasta que sea posible alcanzar las soluciones de los eigenvalores. Esto permitirá un mayor entendimiento acerca de la posible causa del problema y, por lo tanto, ayudar a los usuarios a decidir cómo proceder. Este mensaje aparece típicamente cuando se solicita la búsqueda de demasiados modos (por ej., cuando se piden 30 modos en un modelo con 24 GDLs) o cuando, simplemente, el algoritmo de resolución eigen no puede encontrar tantos modos (incluso si el número de grados de libertad es mayor que el número de modos requeridos).

Algoritmo de Jacobi con transformación de Ritz

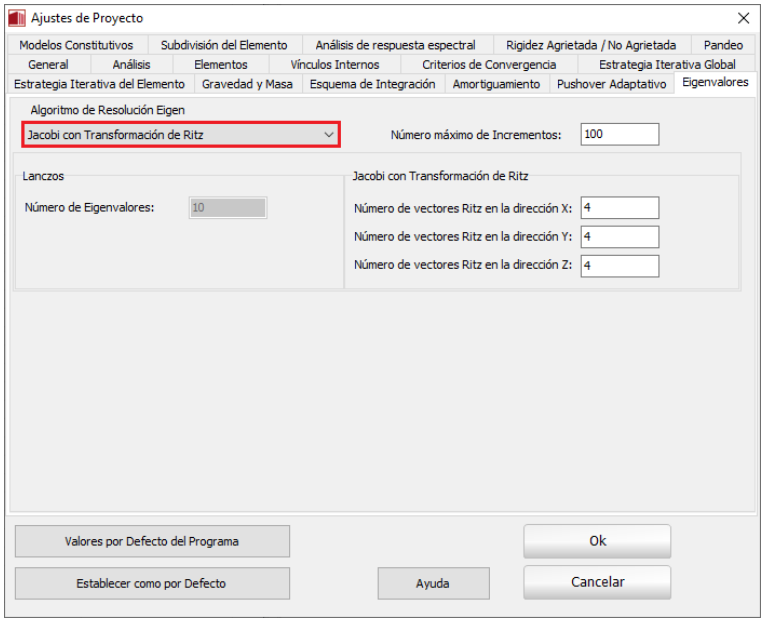
El usuario puede especificar:

- **Número de vectores de Ritz** (es decir, modos) a generar en cada dirección (X, Y y Z). Este número no puede exceder el número de GDL.
- **Número máximo de incrementos**. El valor por defecto de 50 puede, en general, mantenerse inalterado.

NOTA: Los usuarios deben asegurarse de que el número total de vectores de Ritz en las distintas direcciones no exceda el número correspondiente de grados de libertad (o de modos significativos para la estructura) dado que, de lo contrario, formas y valores modales irreales serán generados.



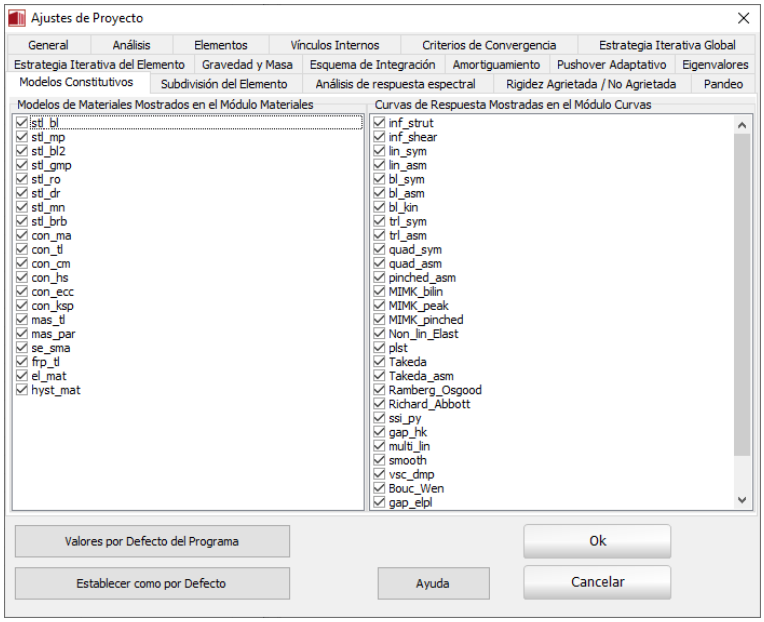
Ventana de pestaña de Eigenvalor – Algoritmo de Lanczos



Ventana Eigenvalores – Algoritmo de Jacobi

Modelos Constitutivos

En esta pestaña es posible activar los modelos de materiales y las curvas de respuesta que se encontrarán visibles en los módulos de *Materiales* y *Clases de Elementos*, respectivamente.



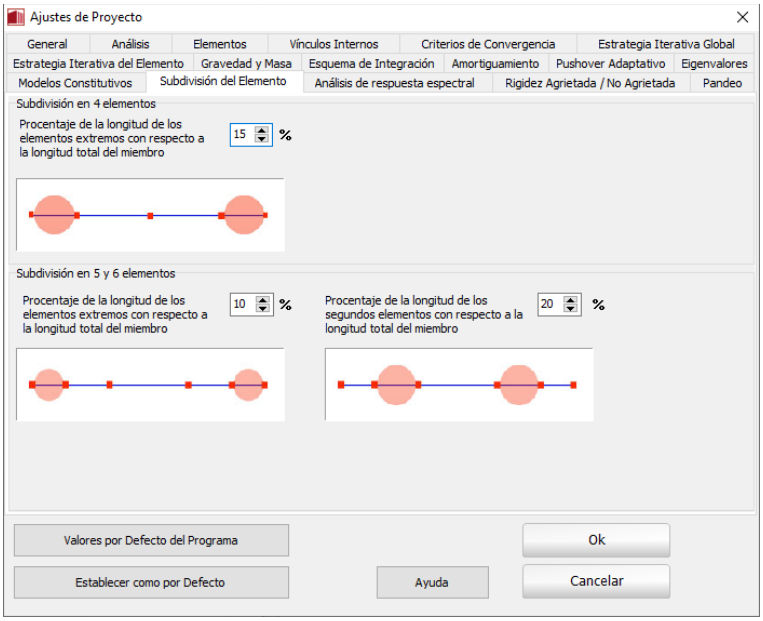
Ventana de pestaña de Modelos Constitutivos

> **NOTA: Por defecto, todos los modelos de materiales están seleccionados.**

Subdivisión de Elementos

Es posible para los usuarios subdividir elementos existentes definidos en el módulo de Conectividad de los Elementos en 2, 4, 5 y 6 componentes aún más pequeños. En este caso, es común que los elementos

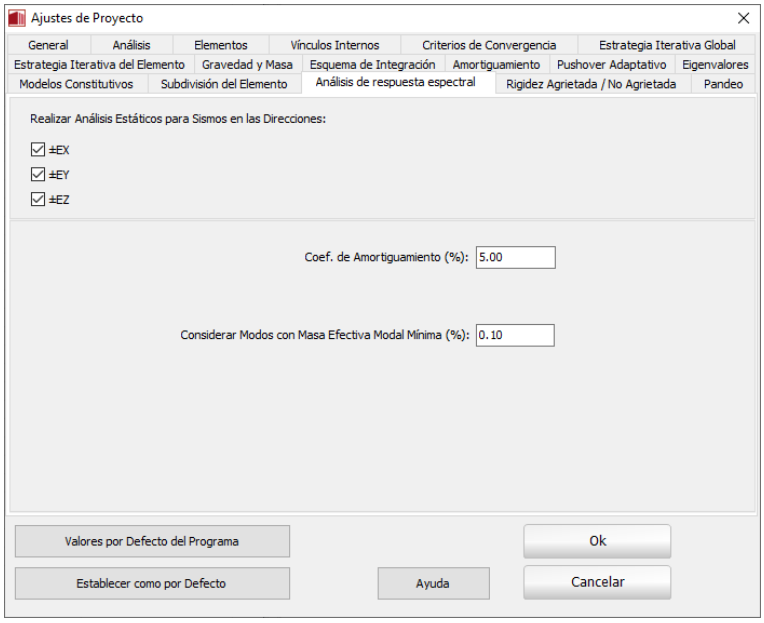
en el borde del miembro, donde la inelasticidad del material usualmente se desarrolla, ser más pequeños para modelar de manera más adecuada la formación de rótulas plásticas. La longitud de dichos elementos extremos puede ser ajustada en este menú. La configuración por defecto es que los elementos extremos posean una longitud igual al 15% de la del miembro estructural, lo cual lleva a una subdivisión del miembro, en términos de longitud, del tipo 15%-35%-35%-15%. Para el caso de la subdivisión en 5 y 6 elementos resulta necesario establecer la longitud de los nuevos elementos extremos (por defecto, 10% de la longitud inicial del elemento) y de los "segundos" componentes (por defecto, 20% de la longitud inicial del elemento).



Ventana Subdivisión & Asistente

Análisis de Espectro de Respuesta

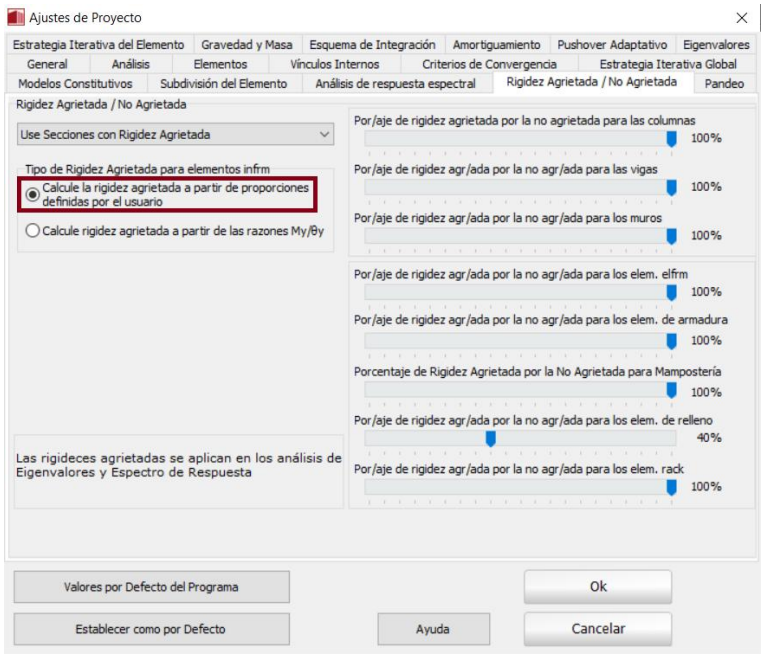
Se ha agregado el Análisis de Espectro de Respuesta en la versión v7.0 de SeismoStruct. Aquí los usuarios pueden escoger en qué dirección los componentes serán tomados en consideración; de forma predeterminada todas las direcciones, ±EX, ±EY, ±EZ, son seleccionadas. Además, la razón de amortiguamiento del modelo y cuales modos se tomarán en consideración de acuerdo a la mínima masa modal efectiva se definen también. El valor predeterminado para el amortiguamiento es 5% donde un límite de 0.1% está establecido como la mínima masa modal efectiva de los modos considerados.



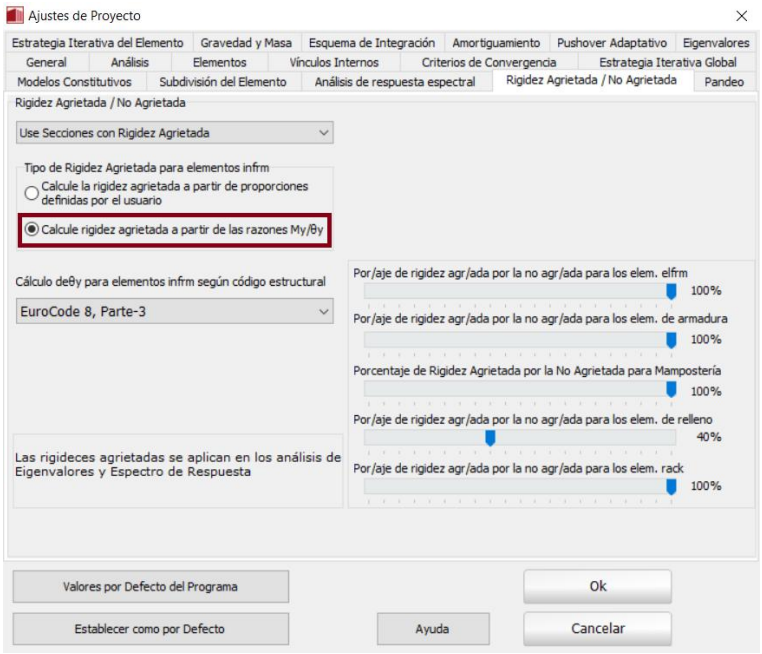
Ventana del Análisis de Respuesta Espectral

Rigidez Agrietada/No Agrietada

Los usuarios pueden tener en cuenta el efecto del agrietamiento durante los análisis lineales, es decir, Análisis de eigenvalores y del espectro de respuesta, seleccionando para usar secciones con rigidez agrietada. La rigidez agrietada se puede calcular a partir del uso de las relaciones donde la rigidez de la sección agrietada se define como un porcentaje de las secciones no agrietadas correspondientes, o, en el caso de elementos de marco inelásticos solamente, de la sección de M_y/θ_y(momento de flexión en rendimiento / capacidad de rotación de la cuerda en el rendimiento). En este último caso, los usuarios deben seleccionar el Código empleado para el cálculo de la capacidad de rotación de cuerda y de fluencia.



Ventana del Análisis de Relaciones de Agrietamiento/NoAgrietamiento Definidas por el Usuario



Ventana del Análisis de Rigidez Agrietada/NoAgrietada– relaciones M_y/θ_y

Pandeo

Cuando se necesita realizar un análisis de pandeo, se lleva a cabo un análisis de eigenvalores , para determinar los modos de vibración de la estructura.El **algoritmo de Jacobi con transformación de Ritz** se emplea por defecto, mientras que para modelos más pequeños también se puede realizar la inversión directa de la matriz de rigidez (que es más estable).

Algoritmo de Jacobi con transformación de Ritz

En el algoritmo de Jacobi con transformación de Ritz el usuario puede especificar:

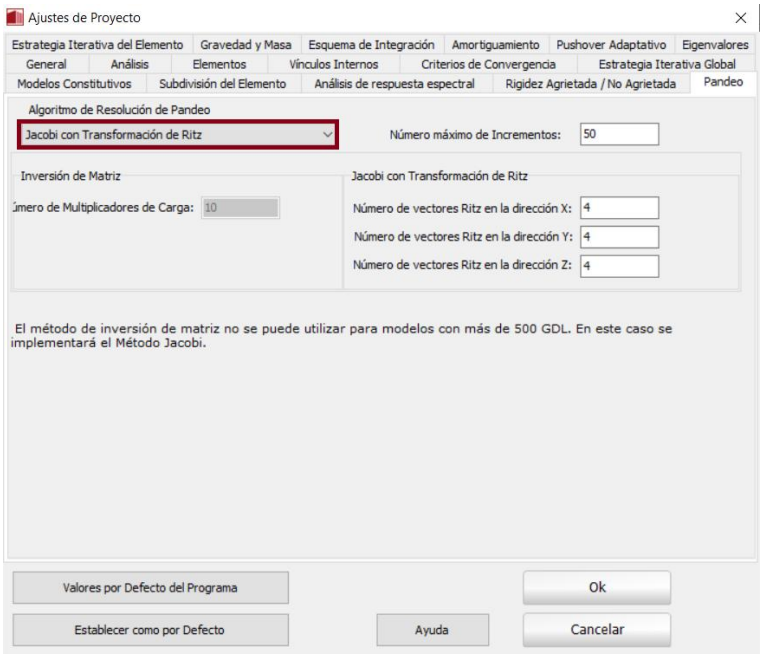
• **El Número de los vectores Ritz** (es decir, modos) que se generaren en cada dirección (X, Y y Z). Este número no puede exceder el número de los grados de libertad.

• **Número máximo de pasos.** El valor predeterminado de 50 puede, en general, quedarse sin cambios.

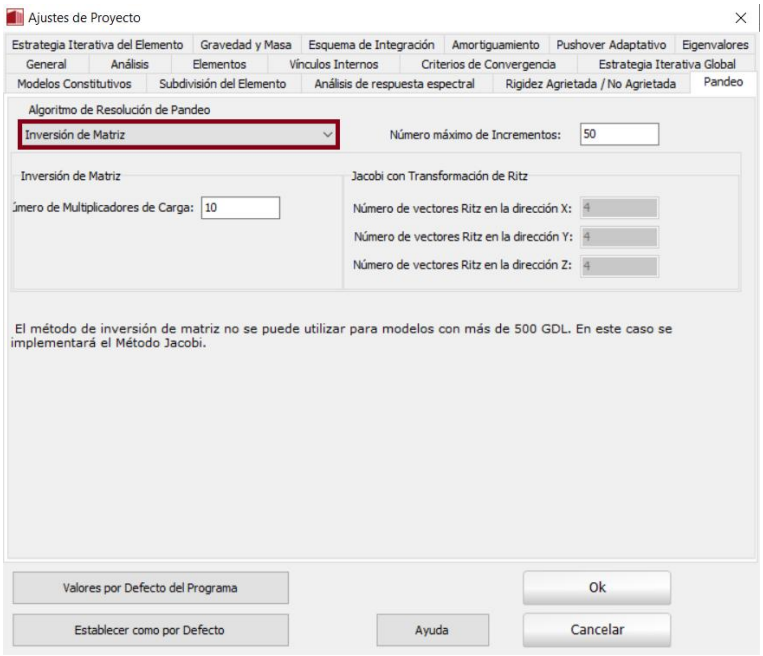
Inversión de Matriz

El **Número de multiplicadoresde carga** debe definirse en inversión de matriz. El número máximo de multiplicadores de carga requeridos por el usuario. El valor predeterminado es 10. Es posible que los usuarios deseen aumentar este parámetro al analizar edificios muy flexibles.

NOTA: Los usuarios deben asegurarse de que el número total de vectores de Ritz en las distintas direcciones no exceda el número correspondiente de grados de libertad (o de modos significativos para la estructura) dado que, de lo contrario, formas y valores modales irreales serán generados.



Ventana de Pandeo – Transformación de Jacobi-Ritz



Ventana de Pandeo – Inversión de Matriz

Criterios de Convergencia

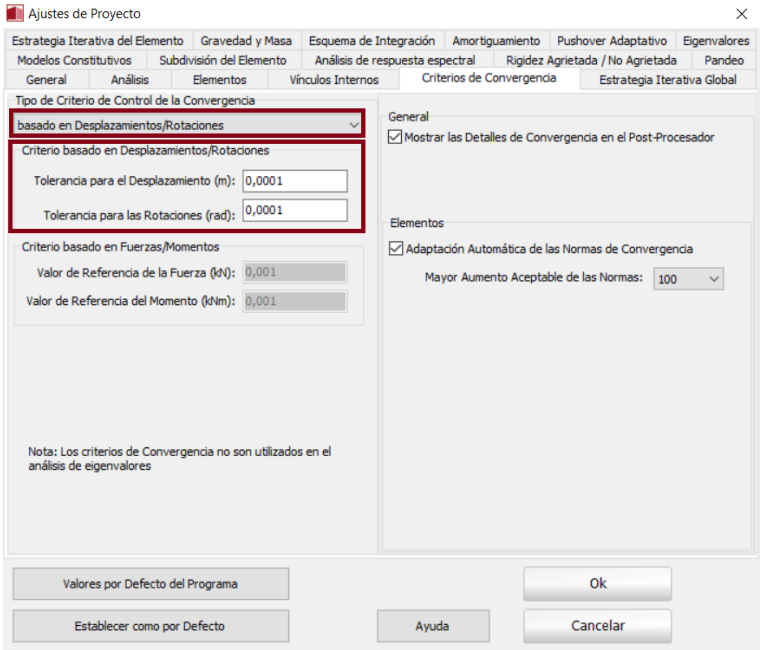
Se disponen en SeismoStruct de cuatro esquemas diferentes para verificar la convergencia de la solución al final de cada iteración:

- basado en desplazamientos/rotaciones
- basado en fuerzas/momentos
- basado en desplazamientos/rotaciones Y fuerzas/momentos
- basado en desplazamientos/rotaciones O fuerzas/momentos

NOTA: Se recuerda a los usuarios que no existe un conjunto de parámetros de criterios de convergencia que funcione para todo tipo de análisis. En SeismoStruct, los valores por defecto serán habitualmente apropiados para la gran mayoría de las aplicaciones, pero pueden necesitar retoques y modificaciones para proyectos particularmente demandantes, en los que ocurran importantes irregularidades en la respuesta (por ej., grandes diferencias de rigidez, pandeo de alguno/s de los miembros estructurales, cambios drásticos en los patrones de carga e intensidad, etc). Como ejemplo, debe notarse que un control de convergencia más estricto puede conducir a una mayor estabilidad numérica, al evitar que la estructura siga una trayectoria de respuesta incorrecta y menos estable pero, si el control resulta estricto por demás, puede también llevar a que alcanzar la convergencia resulte prácticamente imposible.

Esquema basado en Desplazamientos/Rotaciones

La verificación de que, para cada grado de libertad individual de la estructura, el desplazamiento/rotación actual sea menor o igual a una tolerancia especificada por el usuario, permite a éste tener control directo sobre el grado de precisión o, inversamente, aproximación, adoptado en la solución del problema. Por otra parte, y para la gran mayoría de los análisis, dicha verificación de la precisión local es también suficiente para garantizar la precisión global de la solución obtenida. Por lo tanto, este criterio de verificación de la convergencia es la opción por defecto en SeismoStruct, con una tolerancia de desplazamiento de 0.1 mm y una tolerancia de rotación de 1e-4 rads, que conducen a soluciones precisas y estables en la mayoría de los casos.

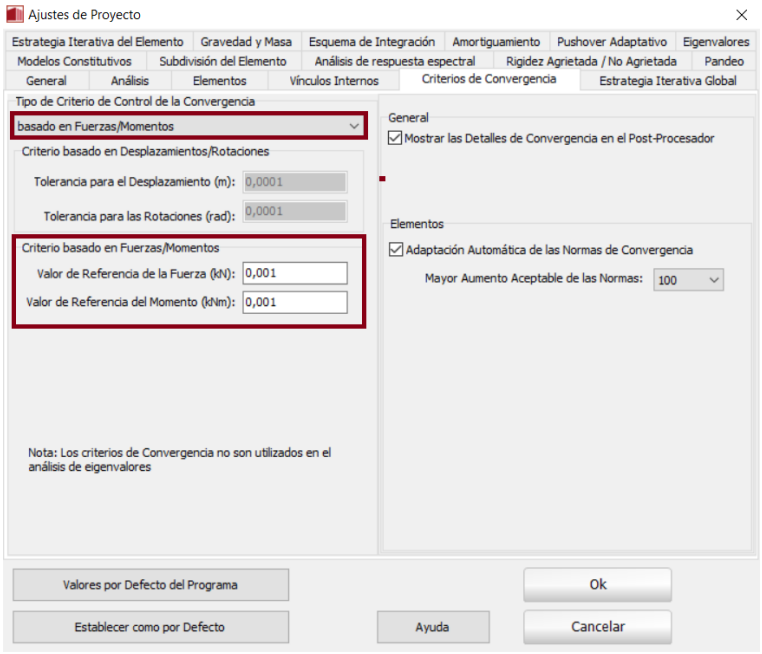


Ventana Criterios de Convergencia – Basados en Desplazamientos/Rotaciones

Esquema basado en Fuerzas/Momentos

Existen ocasiones en las que el uso de un criterio de convergencia basado en desplazamientos/rotaciones no es suficiente para garantizar una solución numéricamente estable y/o precisa, debido al hecho de que el equilibrio de desplazamientos/rotaciones no garantiza, en dichos casos especiales, el equilibrio de fuerzas/momentos. Este es el comportamiento típico, por ejemplo, de sistemas estructurales simples (como es el caso de una ménsula vertical) en los que la convergencia de desplazamientos/rotaciones es obtenida mediante unas pocas iteraciones, debido a la simplicidad del sistema y su deformada, lo cual puede no resultar suficiente para que los esfuerzos internos de los elementos resulten balanceados adecuadamente. Particularmente, para el caso de un muro de hormigón

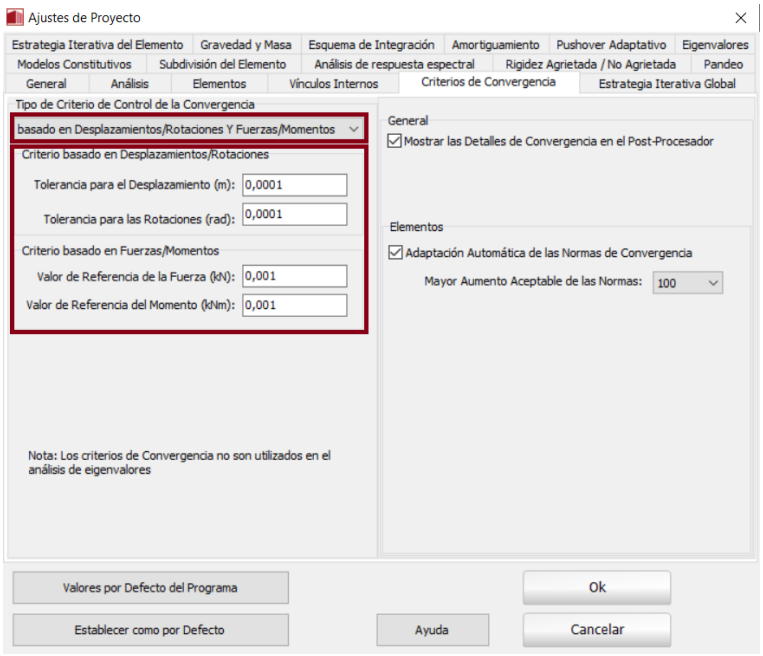
armado, la distribución de esfuerzos-deformaciones a lo largo de la sección puede adoptar patrones muy complejos, en virtud de sus notables dimensiones, y generar la necesidad de realizar un número de iteraciones mucho más alto para alcanzar el equilibrio. En dichos casos, si no se utiliza un criterio de convergencia basado en fuerzas/momentos, la respuesta de la estructura resulta altamente irregular, con variaciones abruptas irreales de los valores de fuerzas/momentos (por ej., una curva de respuesta fuerza-desplazamiento oscilante en un análisis de pushover). Como se describe en el Apéndice A, una tolerancia global adimensional es utilizada en este caso, con un valor por defecto igual a 1e-3.



Ventana Criterios de Convergencia – Basados en Fuerzas/Momentos

Esquema basado en Desplazamiento/Rotación Y Fuerza/Momento

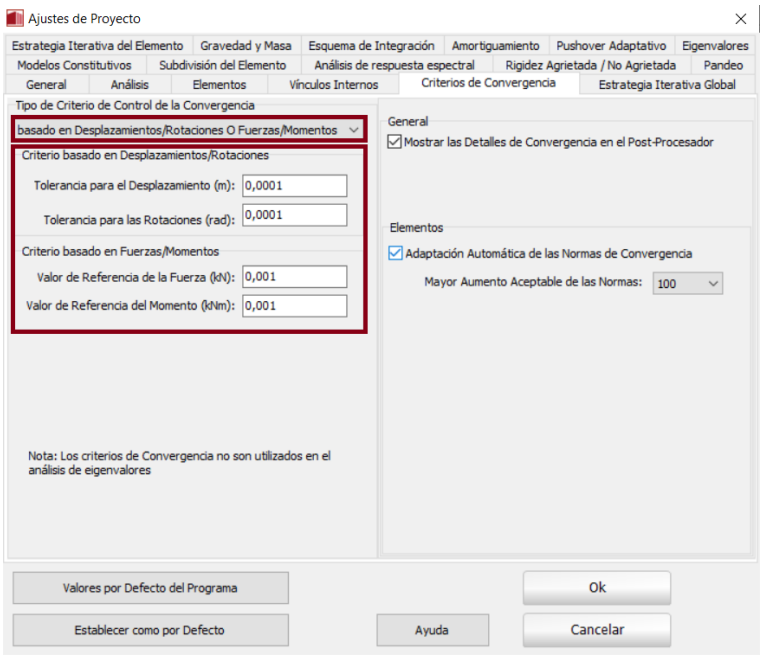
Tomando en cuenta la discusión anterior, resulta claro que la precisión máxima y el control de la solución debería obtener combinando criterios de convergencia desplazamiento/rotación y fuerza/momento. Esta opción, sin embargo, no es la predeterminada debido a que la formulación basada en fuerza/momento en ocasiones crea dificultades en los modelos donde conexiones infinitamente rígidas se modelan con elementos tipo link, tal y como se discute en el Apéndice A. Aun así, es el criterio de control de precisión y convergencia más estricto que tiene SeismoStruct, y se recomienda a los usuarios con experiencia tomar ventaja del esquema siempre y cuando la precisión sea primordial.



Ventana Criterios de Convergencia – BasadosDesplazamiento/Rotación Y Fuerzas/Momentos

Esquema basado en Desplazamientos/Rotaciones O Fuerzas/Momentos

Este último criterio de convergencia provee a los usuarios con la máxima flexibilidad en lo referente a estabilidad en el análisis, ya que la convergencia se alcanza cuando uno de los dos criterios se revisa. Se recomienda esta opción cuando llegar a una solución estructural final es el objetivo primerio del análisis y la exactitud se asume, al menos momentáneamente, en un papel secundario.



Ventana Criterios de Convergencia – Basados en Desplazamientos/Rotaciones O Fuerzas/Momentos

General

Los usuarios pueden seleccionar si las dificultades de convergencia que pueden surgir durante el análisis serán visibles en el Postprocesador. La opción por defecto es mostrar las dificultades de convergencia.

Elementos

Si se selecciona la Adaptación Automática de las Normas de Convergencia, en particular los pasos del análisis, donde la convergencia es difícil de lograr, el programa puede aumentar inteligentemente las normas de convergencia definidas, para permitir la convergencia y permitir que el programa avance a los siguientes pasos. Con el fin de no permitir un aumento infinito en el valor de las normas de convergencia, se establece un límite mediante la casilla deMayor Aumento Aceptable de normas. La opción predeterminada es permitir la adaptación automática de la norma de convergencia.

NOTA 1: Las dificultades de convergencia en los elementos basados en fuerzas a menudo son causadas por el empleo de un gran número de secciones de integración (por ejemplo, el valor predeterminado de 5) junto con la discretización del elemento (normalmente en vigas, donde los detalles de refuerzo cambian). En tales casos, los usuarios deben disminuir el número de secciones de integración a 3.

NOTA 2: Como se analiza en el Apéndice A, las formulaciones de FB pueden tomar en cuenta las cargas que actúan a lo largo del miembro, evitando así la necesidad de que las cargas distribuidas se transformen en puntos/fuerzas de puntos equivalentes en los nodos finales del elemento, y un proceso de recuperación de esfuerzos muy largo luego.

Estrategia IterativaGlobal

En SeismoStruct, todos los análisis son tratados como potencialmente no lineales (a excepción del cálculo de eigenvalores), por lo cual se aplica, en todos los casos, un procedimiento de solución iterativo incremental, mediante el cual las cargas son aplicadas en incrementos predefinidos y equilibradas a través de un procedimiento iterativo. La modalidad de funcionamiento y la base teórica del algoritmo de resolución son descritas en la sección Procedimiento para la Solución de Problemas No Lineales del Apéndice A, a la cual pueden referirse los usuarios para profundizar en el significado de los parámetros descritos a continuación.

Número máximo de iteraciones

Este parámetro define el número máximo de iteraciones a realizar dentro de cada incremento de carga (paso del análisis). El **valor por defecto** es **40**, y es habitualmente apropiado para la mayoría de las aplicaciones prácticas. Sin embargo, cuando las estructuras son sometidas a niveles extremadamente elevados de no linealidad geométrica y/o inelasticidad de los materiales, puede que sea necesario aumentar este valor. Lo mismo ocurre cuando se utilizan elementos link con valores de rigidez demasiado altos o bajos, dado que éstos pueden generar la necesidad de realizar un mayor número de iteraciones para alcanzar el equilibrio estructural.

Número de actualizaciones de la rigidez

Este parámetro define el número de iteraciones, desde el inicio del incremento, en que la matriz de rigidez tangencial de la estructura es recalculada y actualizada. Resulta digno de mención que asignar un valor nulo a este parámetro significa, en efecto, adoptar el método modificado de Newton-Raphson (mNR), mientras que asignarle un valor igual al Número de Iteraciones transforma el procedimiento de solución en el método Newton-Raphson (NR).

Habitualmente, el número ideal de actualizaciones de la rigidez se encuentra comprendido entre el 50% y el 75% del número máximo de iteraciones dentro de un incremento, lo cual provee un equilibrio entre la reducción del tiempo de análisis y la estabilidad resultante de no actualizar la matriz de rigidez, y el aumento correspondiente en el esfuerzo computacional debido a la necesidad de un mayor número de iteraciones para alcanzar la convergencia. El **valor por defecto** de este parámetro (**35**) es, sin embargo, ligeramente más conservativo, y conlleva a la adopción de una solución híbrida entre los enfoques clásicos de NR y mNR (ver también Algoritmo Incremental Iterativo).

Iteración de Divergencia

Este parámetro define la iteración después de la cual se llevan a cabo las verificaciones de divergencia y predicción de la iteración (ver divergencia y predicción de la iteración por mayores detalles). En todas las iteraciones sucesivas del incremento actual, si la solución resulta divergente o si el número predicho de iteraciones requeridas para la convergencia excede el máximo número de iteraciones definido por el usuario, las iteraciones del incremento actual son interrumpidas, la magnitud del incremento de carga (o de tiempo) es reducida y el análisis es recomenzado a partir del último punto de equilibrio (final del incremento anterior).

Si bien estas dos verificaciones pueden ser muy útiles para evitar el cálculo de iteraciones de equilibrio infructuosas en los casos en los cuales la falta de convergencia resulta evidente en una etapa muy temprana de un incremento de carga dado, es muy difícil, si no imposible, recomendar un valor ideal que funcione para todos los tipos de análisis. De hecho, si la iteración de divergencia es muy baja, es posible que haga imposible que problemas altamente no lineales converjan hacia una solución, mientras que si es demasiado elevada, puede permitir la evolución de la solución hacia un modo numéricamente espurio para el cual la convergencia nunca pueda ser alcanzada (caso típico de modelos en los que se utilizan elementos con valores de rigidez muy grandes para modelar vínculos rígidos). Un valor cercano al 75% del máximo número de iteraciones dentro de un incremento es, habitualmente, un buen punto de partida. El **valor por defecto** en SeismoStruct es **32**.

Tolerancia Máxima

Como se explica en la sección acerca de la Inestabilidad Numérica, en cada iteración, desde el comienzo de cualquier incremento de carga dado, se verifica la posibilidad de que la solución devenga numéricamente inestable, al comparar la norma euclidiana de las cargas no equilibradas (ver el Apéndice A por mayores detalles) con una tolerancia máxima predefinida (fijada **por defecto** en **1e20**), varios órdenes de magnitud mayor que el vector de carga aplicado. Si la norma no equilibrada supera esta tolerancia, entonces se asume que la solución es numéricamente inestable, las iteraciones del incremento actual son interrumpidas, la magnitud del incremento de carga (o de tiempo) es reducida y el análisis es recomenzado a partir del último punto de equilibrio (final del incremento o paso anterior).

Máxima Reducción del Incremento

En caso de falta de convergencia, divergencia de la solución o inestabilidad numérica, el algoritmo de ajuste automático del incremento de SeismoStruct impone una reducción al incremento de carga o de tiempo antes de que el análisis sea recomenzado desde el último punto de equilibrio (final del incremento o paso anterior). Sin embargo, con el fin de evitar que análisis mal definidos (que nunca alcanzan la convergencia) continúen ejecutándose indefinidamente, se impone y verifica luego de cada reducción automática del incremento un factor de máxima reducción del incremento. En otras palabras, el nuevo incremento del análisis resultante de la reducción automática es comparado con el incremento de carga o de tiempo inicial definido por el usuario al comienzo del análisis y, si la razón del primero respecto del último es menor al valor de la máxima reducción del incremento, el análisis es entonces interrumpido. El **valor por defecto** para este parámetro es **0.001**, lo cual significa que si dificultades de convergencia llevan a que se adopte una magnitud del incremento 1000 veces menor que el incremento inicial especificado por el usuario, se considera que el problema está mal definido y el análisis es interrumpido.

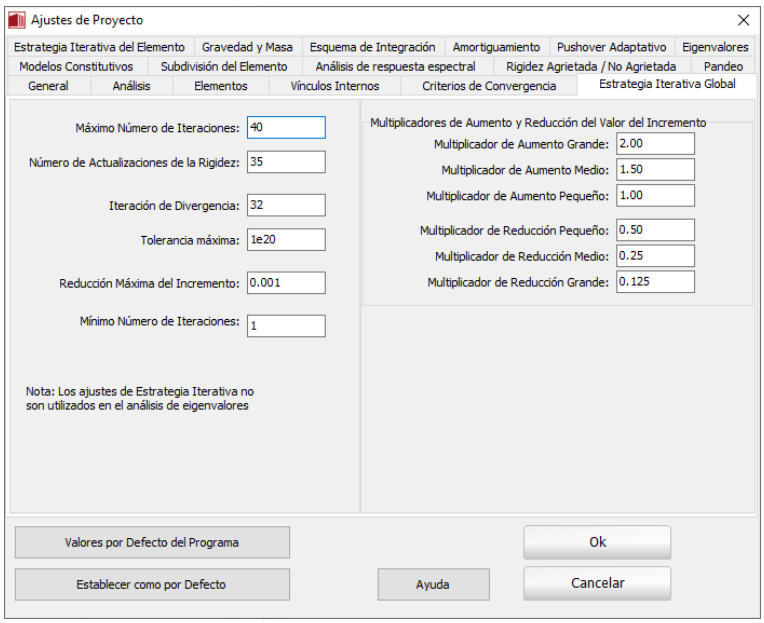
Mínimo Número de Iteraciones

Este parámetro define el mínimo número de iteraciones a realizar dentro de cada incremento de carga. El **valor por defecto** es **1**. A través de este parámetro es posible alcanzar una mejor convergencia cuando el criterio basado en desplazamientos es holgado y, el basado en fuerzas, demasiado estricto (esto ocurre con pequeños modelos, en el rango altamente inelástico).

Multiplicadores de Aumento y Reducción del Valor del Incremento

En SeismoStruct, el algoritmo de ajuste automático del incremento presenta la posibilidad de utilizar reducciones adaptativas de la magnitud del incremento, las cuales dependen del nivel de no-convergencia que se verifique. Cuando la solución no convergente obtenida se encuentra muy lejos de la convergencia, se utiliza un multiplicador grande de reducción del incremento (por defecto=0.125, es decir, el incremento actual del análisis es subdividido en 8 incrementos iguales antes de retomar el análisis). Si, por el otro lado, la solución no convergente obtenida se encuentra muy cercana a la convergencia, se utiliza entonces un multiplicador pequeño de reducción del incremento (por defecto=0.5, es decir, el incremento actual del análisis es aplicado consecuentemente en 2 incrementos). Para los casos intermedios, se utiliza un *multiplicador* intermedio de reducción del incremento (por defecto=0.25, es decir, el incremento actual del análisis es dividido en cuatro).

Como se describe también en la sección acerca del ajuste automático del incremento, una vez alcanzada la convergencia, el incremento de carga o de tiempo puede ser incrementado gradualmente hasta un valor máximo posible igual al especificado inicialmente por el usuario. Esto es llevado a cabo mediante el uso de los factores de aumento del incremento. Cuando el análisis converge de manera eficiente (ver detalles en Apéndice A), se utiliza un multiplicador pequeño de aumento del incremento (por defecto=1.0, es decir que el incremento actual se mantendrá inalterado en los pasos sucesivos). Si, por el otro lado, la solución convergente es obtenida en forma altamente ineficiente (ver detalles Apéndice A), se emplea entonces un multiplicador grande de aumento del incremento (por defecto=2.0, es decir, la magnitud del incremento actual se duplica). Para los casos intermedios, se utiliza un multiplicador intermedio de aumento del incremento (por defecto=1.5, es decir, se aplica un aumento del 50% sobre la magnitud actual del incremento).



Ventana Estrategia Iterativa Global

NOTA: Se recuerda a los usuarios que no existe un conjunto de parámetros incrementales/iterativos que funcione para todo tipo de análisis. En SeismoStruct, los valores por defecto serán habitualmente apropiados para la gran mayoría de las aplicaciones, pero pueden necesitar retoques y modificaciones para proyectos particularmente demandantes, en los que ocurren importantes irregularidades en la respuesta (por ej., grandes diferencias de rigidez, pandeo de alguno/s de los miembros estructurales, cambios drásticos en los patrones de carga e intensidad, etc). Como ejemplo, debe notarse que un incremento de carga más pequeño puede conducir a una mayor estabilidad numérica, al evitar que la estructura siga una trayectoria de respuesta incorrecta y menos estable pero, si el incremento es demasiado pequeño, puede también llevar a que alcanzar la convergencia resulte prácticamente imposible. Se invita a los usuarios que experimenten dificultades a consultar el Foro de Soporte Técnico, en el cual se proveen ulteriores sugerencias.

Estrategia Iterativa del Elemento

En SeismoStruct, todos los análisis se tratan como potencialmente no lineales y, por lo tanto, Se necesitauna solución iterativa incremental

Tipo de Elemento de Formulación Basada en Fuerzas / Tipo de Elemento de Rótula Plástica de Formulación Basada en Fuerzas

Los elementos de marco individuales basados en la fuerza requieren que se realicen varias iteraciones para alcanzar el equilibrio interno [por ej.,Spacone et al. 1996; Neuenhofer and Filippou 1997]. El número máximo de estas iteraciones de bucle de elementos, junto con el criterio de convergencia (fuerza) o tolerancia correspondiente, se puede definir aquí:

- **Tolerancia de convergencia del bucle del elemento**. El valor predeterminado es 1e-5 (los usuarios pueden necesitar relajarlo, por ejemplo, 1e-4, en caso de dificultades de convergencia)
- **Iteraciones máximas del bucle del elemento (elm_ite)**. El valor predeterminado es 300 (aunque ya es un valor muy grande (normalmente no se requieren más de 30 iteraciones para alcanzar la convergencia), los usuarios pueden necesitar aumentarlo a 1000 en caso de mensajes de error persistentes de elm_ite)

Mientras se realiza un análisis, se pueden mostrar mensajes de indicador elm_inv y elm_ite en el registro de análisis, lo que significa, respectivamente, que la matriz de rigidez del elemento no se pudo invertir o que se alcanzó el número máximo permitido de iteraciones de bucle de elementos. En ambos casos, el incremento de carga global se subdivide, como se describe en el Apéndice A, a menos que el usuario haya desactivado la opción "*No permitir fuerzas de elementos desbalanceadas en caso de elm_ite*" que se describe a continuación.

Los usuarios también tienen la posibilidad de permitir que las fuerzas del elemento se salen y envian al vector de fuerzas internas globales al alcanzar las iteraciones máximas, incluso si no se alcanza la convergencia. Esta opción no predeterminada puede facilitar la convergencia del análisis a nivel global/de estructura, ya que evita la subdivisión del incremento de carga (debe notarse que las fuerzas desbalanceadas del elemento deben ser equilibradas en las iteraciones posteriores).

Tipo de Elemento de Rótula Plástica de Formulación Basada en Desplazamientos

Dado que el elemento está formado por una serie de tres subelementos (dos elementos de link en los extremos del miembro y un elemento de marco elástico en el medio), se requiere un procedimiento iterativo para alcanzar el equilibrio interno.

Los parámetros requeridos para la estrategia iterativa del elemento son las iteraciones permitidas máximas y mínimas, y el valor para la norma de convergencia. Se observa que se da un valor prestablecido relativamente pequeño para el número máximo de iteraciones, ya que se ha observado que normalmente se alcanza la convergencia entre un número limitado de iteraciones. Entonces, si la convergencia no se alcanza relativamente temprano, es muy probable que no se alcance en general.

Finalmente, se proporciona un ajuste adicional para emplear una rama descendente más suave en la curva momento-rotación de la rótula plástica para tener un resultado más fluido y estable numéricamente. Esta configuración se aplica solo cuando los usuarios eligen la definición automática de los parámetros de modelado por parte del programa, pero no cuando definen los parámetros de modelado de las rótulas a, b y c.

Tipo de Elemento de Mampostería

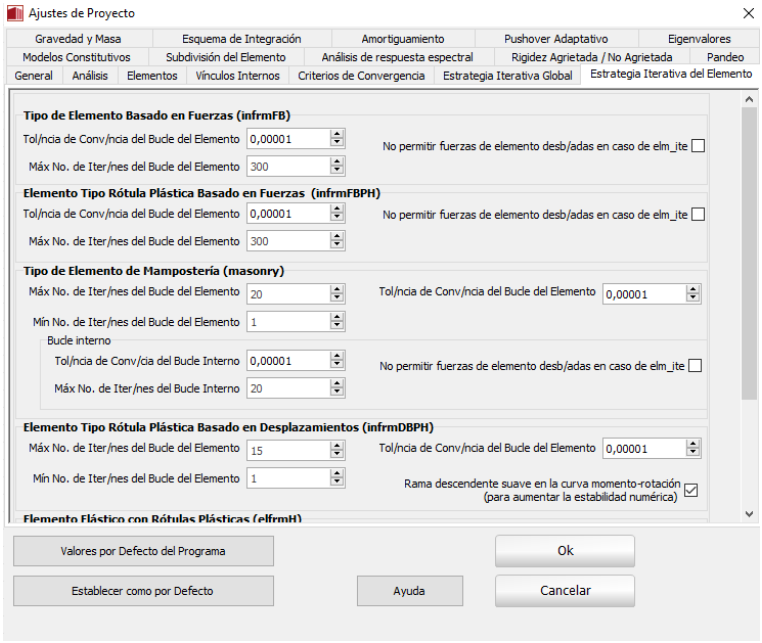
Dado que el elemento consiste en un tipo de elementode formulación basada en las fuerzas (denominado "subelemento interno"), empleado principalmente en el modelado, del comportamiento de flexión del miembro de mampostería, con dos elementos de link en los dos extremos (denominados "links externos" o "subelementos de link"), que se emplean para simular el comportamiento de corte del miembro, se requieren dos procedimientos iterativos internos, para lograr el equilibrio en el nivel del elemento: uno para el subelemento interno basado en las fuerzas y el segundo para el ensamblaje de los tres subelementos, los dos links y el elemento de marco.

A consecuencia, se deben proporcionar parámetros para ambos procedimientos iterativos. Los parámetros para el subelemento interno basado en la fuerza son los mismos para los elementos típicos basados en la fuerza y tienen los mismos valores predeterminados. Los parámetros para el bucle externo de todo el elemento son las iteraciones máximas y mínimas y el valor para la norma de convergencia. Se observa que se proporciona un valor relativamente pequeño por defecto para el número máximo de iteraciones, ya que se ha observado que típicamente la convergencia se logra dentro de un número pequeño de iteraciones.

Tipo de Elemento Elástico con Rótulas Plasticas y tipo de Elemento Rack con Rótulas Plasticas

Dado que estos elementos constan de una serie de tres subelementos (dos links en los bordes del miembro y un elemento de marco elástico en el medio), se requiere un procedimiento iterativo para lograr el equilibrio interno.

Los parámetros requeridos para la estrategia iterativa del elemento son las iteraciones máxima y mínima permitidas, y el valor de la norma de convergencia. Cabe señalar que se proporciona un valor relativamente pequeño como valor predeterminado para el número máximo de iteraciones, ya que se ha observado que normalmente la convergencia se logra dentro de un número limitado de iteraciones. Por lo tanto, si la convergencia no se logra relativamente pronto, es muy probable que no se logre.



Ventana de Estrategia de Elemento Iterativa

Gravedad y Masa

Como se indica en el módulo de **Materiales**, los usuarios tienen la posibilidad de definir los pesos específicos de los materiales, con los cuales puede ser calculada la masa propia distribuida de la estructura. Además, en el módulo **Secciones** es posible indicar masa distribuida adicional, la cual puede ser utilizada para representar cualquier masa que no esté asociada al peso propio de la estructura (por ej., la losa, terminaciones, paneles divisorios, carga viva, etc.). Finalmente, en el módulo **Clases de Elementos** es posible definir elementos de masa concentrada y distribuida, que pueden agregarse al modelo en el módulo **Conectividad de Elementos** y que tienen como fin modelar distribuciones de masa que no pueden ser representadas utilizando las herramientas previamente mencionadas en los módulos de *Materiales*/*Secciones* (por ej., la masa de un tanque de agua en la cima del edificio).

En esta pestaña, los usuarios pueden definir si y cómo la masa debe ser transformada en cargas y qué grados de libertad deben ser considerados en el análisis dinámico.

Ajustes de Masa

Tres opciones se ofrecen para definir la masa en el análisis dinámico, IDA y análisis de eigenvalores: i) A partir de los elementos Tipo Marco, basándose en el peso específico de los materiales y las masas adicionales de las secciones, así como de los Elementos de Masa (lmass y dmass), ii) A partir de las cargas, puntuales y distribuidas (la masa se aplica únicamente en la dirección de la gravedad, y su valor se basa en el valor de g), y iii) De ambas opciones (i) y (ii) anteriores, p. ej. ambos Elementos de Masa/Marco y Cargas. La primera opción está establecida de forma predeterminada.

Además, cuando se corren análisis dinámicos, algunas veces puede ser útil tener la posibilidad de restringir los grados de libertad dinámicos a solo las direcciones de interés, de manera que la velocidad de los análisis se incrementa y se eliminan modos de vibración no relevantes, para los cuales la malla estructural intencionalmente no estaba adecuadamente definida. Esto puede hacerse aquí, al desmarcar los grados de libertad que no son de interés (de forma predeterminada, todos los grados están activados, es decir, marcados). También debe notarse que estos ajustes toman precedencia sobre las 'direcciones de masa' definidos en los elementos de masa distribuida/concentrada, es decir, si un elemento de masa distribuida solo debe definirse con masa en la dirección x, pero todos los grados de libertad se seleccionan en los Ajustes de Direcciones de Masa Global, entonces aun cuando la contribución de masa de dicho elemento se tome en cuenta en la matriz global de Masa de la estructura, solamente la dirección x, el análisis dinámico considerará de todas formas todos los grados de libertad activos.

NOTA: Los análisis de modelos grandes que tienen masa/cargas distribuidas son inevitablemente más largos que aquellos cuyas masas están concentradas y las cargas puntuales, usados para modelar, demanera más simplificada, la masa y el peso de la estructura. Si el usuario no esta interesando en obtener información sobre esfuerzos locales de los elementos estructurales (p. ej. la distribución de momentos de una viga), si no que esta concentrado únicamente en la respuesta general de la estructura (p. ej. desplazamiento del piso superior o la cortante basal), entonces el uso de modelaje con masas y fuerzas concrentadas sería la mejor opción, con respecto a la contraparte de cantidades distribuidas.

Ajustes de Gravedad

En SeismoStruct las cargas pueden definirse de dos maneras: (i) explícitamente en el módulo de cargas aplicadas, y (ii) indirectamente a partir de la transformación de masas del modelo estructural en cargas.

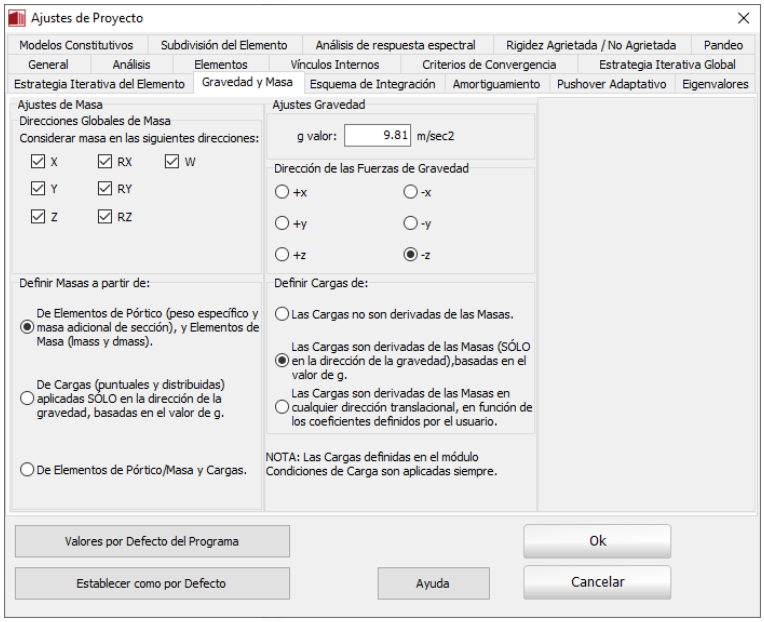
Hay tres opciones disponibles para modelar Cargas a partir de las masas: i) Las cargas no se derivan a partir de las masas, ii) las cargas se derivan a partir de las masas, basándose en el valor g, pero únicamente en la dirección de la gravedad, la cual es la opción predeterminada, y iii) las cargas se derivan a partir de las masas en cualquier dirección de acuerdo con los coeficientes definidos por el usuario.

NOTA 1: Las Cargas definidas en el módulo de Cargas Aplicadas siempre se aplican en el modelo estructural, sin importar la opción escogida para las transformaciones de masas a cargas.

NOTA 2: Las cargas derivadas a partir de masa son internamente transformadas en fuerzas/momentos nodales, con la excepción de de los elementos elásticos de tipo marco, en los cuales las cargas derivadas a partir de la masa se distribuyen a lo largo del elemento.

Por otra parte, el usuario puede también definir el valor de la aceleración de la gravedad *g* (que será multiplicado por las masas con el fin de obtener las cargas permanentes) y la dirección en la que ésta debe ser considerada. Evidentemente, para la gran mayoría de las aplicaciones estándar, los valores por defecto (g=9.81 m/s2, considerada en la dirección -z) no deben ser modificados.

NOTA: La recuperación de esfuerzos (*Ajustes de Proyecto > Elementos > Efectuar Recuperación de Esfuerzos*) puede ser utilizada para obtener las solicitaciones internas correctas cuando se definen cargas distribuidas (mediante la utilización del peso específico del material o de masa adicional en la sección/element, pero no mediante la introducción de elementos *dmass*).



Ventana de pestaña de Gravedad y Masa

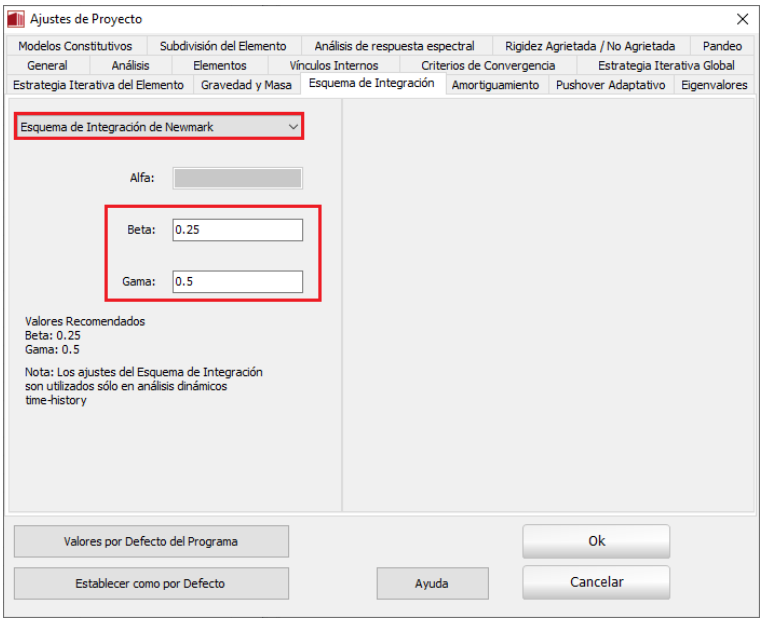
Esquema de Integración

En los análisis dinámicos no lineales debe utilizarse un esquema de integración numérica directa para resolver el sistema de ecuaciones de movimiento [por ej., Clough and Penzien, 1993; Chopra, 1995]. En SeismoStruct, dicha integración puede ser llevada a cabo mediante dos algoritmos de integración implícitos diferentes: (i) el **esquema de integración de Newmark** [Newmark, 1959] o (ii) el **algoritmo de integración de Hilber-Hughes-Taylor** [Hilber et al., 1977].

NOTA: El algoritmo de integraciñon de Hilber-Hughes-Taylor es la opción por defecto.

Esquema de Integración de Newmark

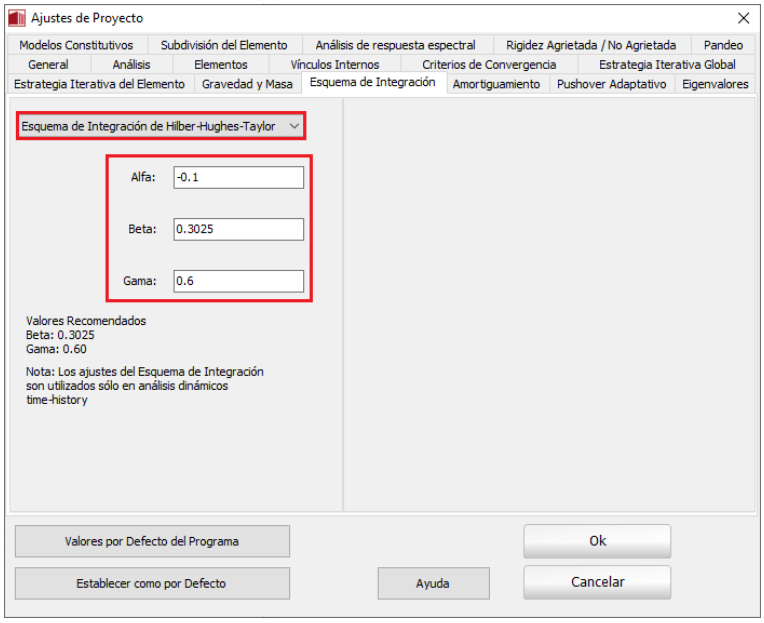
El **esquema de integración de Newmark** requiere de la definición de dos parámetros: beta (β) y gama (γ). Es posible obtener una estabilidad incondicional, independientemente de la magnitud del incremento de tiempo utilizada, para valores de $\beta \geq 0.25(\gamma+0.5)^2$. Por otra parte, si se adopta $\gamma = 0.5$, el esquema de integración se reduce a la conocida regla trapezoidal no discipativa, en la cual no se introduce amortiguamiento numérico, condición que puede resultar ventajosa para muchas aplicaciones. Los valores por defecto son, entonces, $\beta=0.25$ y $\gamma=0.5$.



Ventana Esquema de Integración – Newmark

Esquema de Integración de Hilber-Hughes-Taylor

El **algoritmo de Hilber-Hughes-Taylor**, por su parte, requiere la caracterización de un parámetro adicional alfa (α) utilizado para controlar el nivel de disipación numérica. El mismo puede jugar un rol beneficioso en los análisis dinámicos, principalmente a través de la reducción de la contribución de modos altos espurios a la solución (los cuales se manifiestan típicamente en forma de picos muy altos y de breve duración), aumentando tanto la precisión de los resultados como la estabilidad numérica del análisis. De acuerdo con sus autores [Hilber et al., 1977], y como ha sido confirmado en otros estudios [por ej., Broderick et al., 1994], se obtienen soluciones óptimas, en términos de precisión de la solución, estabilidad numérica y amortiguamiento numérico, para valores de $\beta=0.25(1-\alpha)^2$ y $\gamma=0.5-\alpha$, con $-1/3 \leq \alpha \leq 0$. En SeismoStruct, los valores por defecto son $\alpha=-0.1$, $\beta=0.3025$ y $\gamma=0.6$.



Ventana Esquema de Integración - Hilber-Hughes-Taylor

NOTA: Para una mayor profundización en los temas de procedimientos de solución paso-a-paso, métodos explícitos versus métodos implícitos, condiciones de estabilidad, amortiguamiento numérico, etc., se recomienda a los usuarios referirse a la literatura disponible, como los trabajos de Clough and Penzien [1993], Cook et al. [1988] y Hughes [1987], por citar algunos.

Amortiguamiento

En los análisis dinámicos no lineales, el amortiguamiento histerético, que es habitualmente responsable de la disipación de la mayoría de la energía sísmica, se encuentra incluido implícitamente en la formulación del modelo con fibras no lineales de los elementos inelásticos de pórtico (infrm, infrmPH) o dentro de la curva de respuesta fuerza-desplazamiento no lineal utilizada para caracterizar la respuesta de los elementos link. Existe, sin embargo, una cantidad relativamente pequeña de amortiguamiento no histerético que es también movilizado durante la respuesta dinámica de las estructuras, a través de fenómenos como la fricción entre elementos estructurales y no estructurales, fricción en las fisuras abiertas del hormigón, radiación de energía a través de las fundaciones, etc., y que puede no haber sido modelado en el análisis. Tradicionalmente, dichas fuentes modestas de disipación energética han sido consideradas mediante el uso del amortiguamiento de Rayleigh [por ej., Clough and Penzien, 1993; Chopra, 1995] con valores de amortiguamiento viscoso equivalente (ξ) de entre 1% y 8%, dependiendo de la tipología estructural, los materiales utilizados, los elementos no estructurales, el período y magnitud de la vibración, el modo de vibración considerado, etc. [por ej., Wakabayashi, 1986].

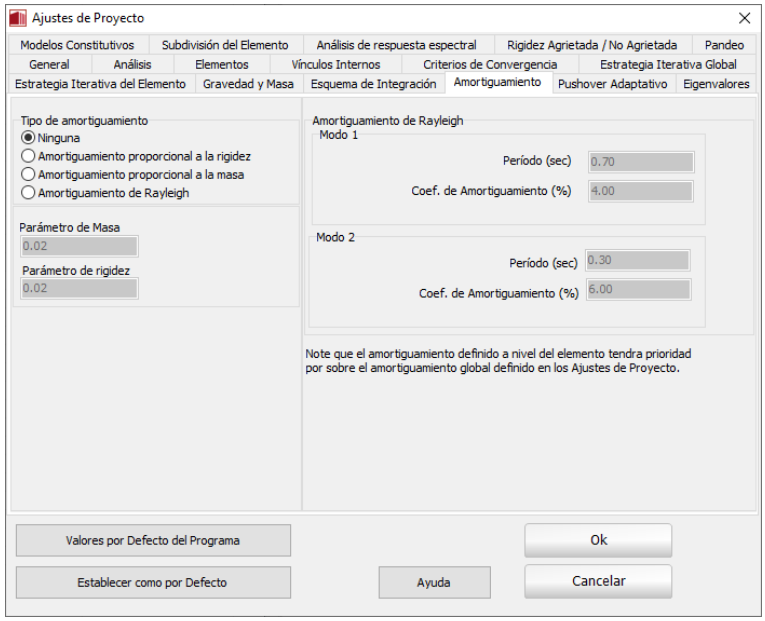
Existe cierto grado de desacuerdo en la comunidad científica/ingenieril respecto del uso del amortiguamiento viscoso equivalente para representar fuentes de disipación de energía que no se encuentren incluidos explícitamente en el modelo. De hecho, algunos autores [por ej., Wilson, 2001] sugieren fuertemente evitar todo uso del mismo, mientras que otros [Priestley and Grant, 2005; Hall, 2006] recomiendan su uso pero no mediante el amortiguamiento de Rayleigh, que es proporcional tanto a la rigidez como a la masa, sino a través del uso de amortiguamiento proporcional a la rigidez solamente; como es descrito por Pegon [1996], Wilson [2001], Abbasi *et al.* [2004] y Hall [2006], entre otros, si una estructura dada es "insensible" al movimiento de cuerpo rígido, el amortiguamiento proporcional a la masa genera disipación energética espuria (es decir, irreal). El enfoque de modelado del amortiguamiento proporcional a la rigidez puede ser subdividido, a su vez, en amortiguamiento proporcional a la rigidez inicial y amortiguamiento proporcional a la rigidez tangencial, siendo este

último posiblemente la opción más sólida para las estructuras comunes, como ha sido demostrado por Priestley and Grant [2005].

Sin embargo, incluso si uno pudiese incluir todas las fuentes de disipación energética en un modelo de elementos finitos dado, es decir, modelar explícitamente los paneles divisorios, dispositivos discipativos, la interacción suelo-estructura, etc. (lo cual es, sin lugar a dudas, la mejor opción), la introducción de una cantidad muy pequeña de amortiguamiento viscoso equivalente puede resultar altamente beneficiosa para la estabilidad numérica de análisis dinámicos altamente inelásticos, dado que la matriz de amortiguamiento viscoso tiene un efecto "estabilizador" en el sistema de ecuaciones. Por lo tanto, su uso es generalmente recomendado, aunque con valores suficientemente pequeños.

En la ventana de diálogo *Amortiguamiento*, el usuario puede optar por:

- no utilizar amortiguamiento viscoso;
- utilizar **amortiguamiento proporcional a la rigidez**;
- introducir **amortiguamiento proporcional a la masa;**
- utilizar el **amortiguamiento de Rayleigh**.



Ventana de Amortiguamiento

Amortiguamiento proporcional a la Rigidez

Para el **amortiguamiento proporcional a la rigidez**, el usuario debe especificar el valor del multiplicador de la matriz de rigidez (α_K) que desea utilizar.

Típicamente, aunque no de manera exclusiva, dicho valor es calculado utilizando la siguiente ecuación:

$$\alpha_K = \frac{T\xi}{\pi}$$

El usuario debe también especificar si el amortiguamiento es proporcional a (i) la rigidez inicial o (ii) la rigidez tangencial.

NOTA 1: El valor de la matriz de *amortiguamiento proporcional a la rigidez tangencial* es actualizado con cada incremento de carga, no en cada iteración, ya que esto ocasionaría mayor inestabilidad numérica y aumento del tiempo de ejecución.

NOTA 2: Si surgieran dificultades numéricas por el uso del *amortiguamiento proporcional a la rigidez tangencial*, se recomienda al usuario utilizar entonces *amortiguamiento proporcional a la rigidez inicial*, utilizando un coeficiente de amortiguamiento viscoso equivalente reducido, a fin de evitar la introducción de efectos de amortiguamiento viscoso exageradamente elevados. En otras palabras, mientras un amortiguamiento viscoso del 2-3% puede ser una suposición razonable para una estructura de hormigón armado que haga uso del *amortiguamiento proporcional a la rigidez tangencial*, un valor mucho menor (0.5-1%) debe ser especificado si se utiliza, en cambio, el *amortiguamiento proporcional a la rigidez inicial*.

Amortiguamiento proporcional a la Masa

Para el **amortiguamiento proporcional a la masa**, el usuario debe especificar el valor del multiplicador de la matriz de masa (α_M) que desea utilizar.

Típicamente, aunque no de manera exclusiva, dicho valor es calculado utilizando la siguiente ecuación:

$$\alpha_M = \frac{4\pi\xi}{T}$$

Amortiguamiento de Rayleigh

Para el **amortiguamiento de Rayleigh**, el usuario debe especificar los valores del período (T) y amortiguamiento (ξ) del primer y último modo de interés (llamados aquí modo 1 y 2).

Los multiplicadores de la matriz de masa (α_M) y rigidez (α_K) son calculados por el programa, utilizando las expresiones dadas a continuación, que aseguran que el verdadero amortiguamiento de Rayleigh sea obtenido (si se utilizaran coeficientes definidos arbitrariamente, se estaría empleando, en efecto, amortiguamiento matricial en lugar de amortiguamiento de Rayleigh):

$$\alpha_M = 4\pi \frac{\xi_1 T_1 - \xi_2 T_2}{T_1^2 - T_2^2} \qquad and \qquad \alpha_K = \frac{T_1 T_2}{\pi} \frac{\xi_2 T_1 - \xi_1 T_2}{T_1^2 - T_2^2}$$

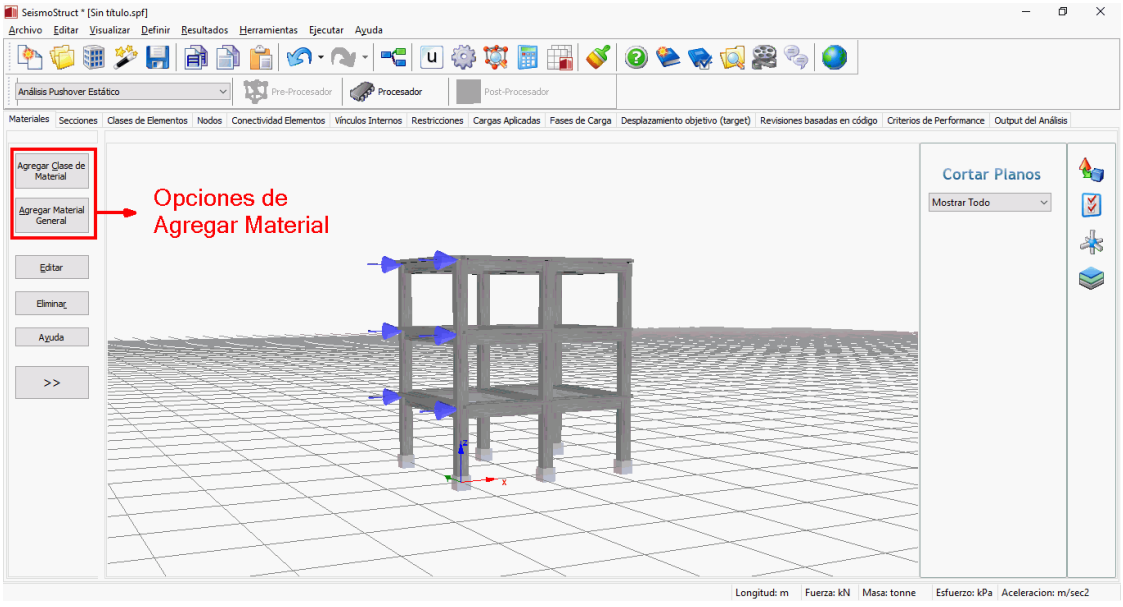
NOTA 1: Existe una amplia variedad de tipos de amortiguamiento matricial que son utilizados en diferentes programas de elementos finitos. Estas variaciones pueden presentar ventajas respecto al tradicional amortiguamiento de Rayleigh (por ejemplo, la reducción del nivel de amortiguamiento introducido en los modos altos, etc). Sin embargo, consideramos que dicho nivel de refinamiento no es necesariamente requerido por la mayoría de los análisis, razón por la cual sólo las tres modalidades de amortiguamiento viscoso presentadas anteriormente se encuentran disponibles en SeismoStruct.

NOTA 2: Existe una dispersión significativa en las diferentes propuestas respecto a los valores efectivos de *amortiguamiento viscoso equivalente* a ser utilizados en la ejecución de análisis dinámicos, por lo que se recomienda al usuario investigar en profundidad este asunto con el fin de determinar los valores más adecuados para su análisis en particular. Éstos dependen del tipo de material (típicamente, se utilizan mayores valores para el hormigón que para el acero, por ejemplo), configuración estructural (un pórtico de varios pisos con paneles divisorios/de cerramiento puede presentar valores mayores que una pila de un puente de un solo GDL), nivel de deformación (para bajos niveles de deformación, puede resultar justificable la utilización de valores de amortiguamiento viscoso equivalente mayores que aquellos utilizados en análisis en los que los edificios son llevados hasta altos niveles de respuesta inelástica, dado que es probable que en este último caso la contribución de los elementos no estructurales resulte de menor importancia, por ejemplo), estrategia de modelado (por ejemplo, en el modelado con fibras la fisuración es tenida en cuenta en forma explícita y, por ende, no necesita ser representada mediante el amortiguamiento viscoso equivalente, como en el caso del modelado con plasticidad concentrada utilizando relaciones bi-lineales de momento-curvatura).

NOTA 3: Las fuerzas de amortiguamiento en modelos que presenten elementos con una rigidez muy elevada (por ej., puentes con estribos rígidos, edificios con muros rígidos, etc.) pueden resultar irreales - el amortiguamiento general en el modelo de un puente puede introducir fuerzas de amortiguamiento significativas, debido, por ejemplo, a la elevada rigidez de los estribos.

MATERIALES

Los materiales disponibles en SeismoStruct se encuentran definidos en el módulo **Materiales**, donde debe indicarse (i) un nombre (utilizado para identificar el material dentro del proyecto), (ii) el tipo (seleccionado de la lista enumerada a continuación) y (iii) las propiedades mecánicas (resistencia, módulo de elasticidad, endurecimiento por deformación, etc.) de cada material en particular.

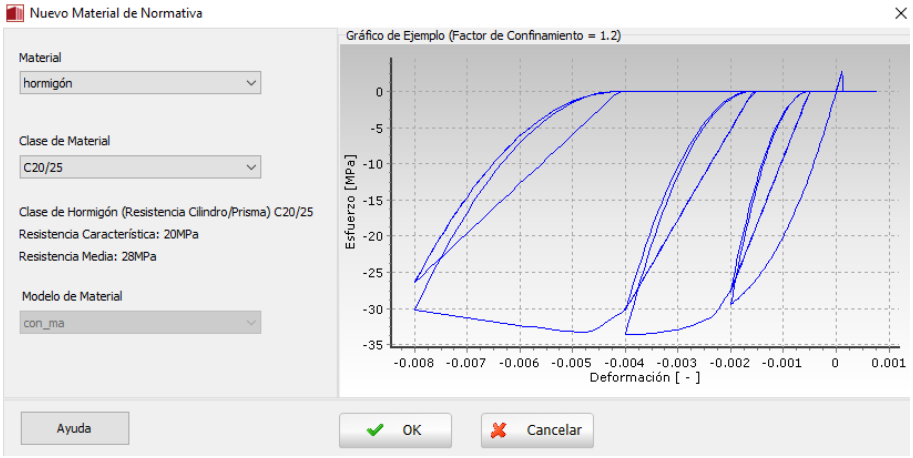


Módulo de Materiales

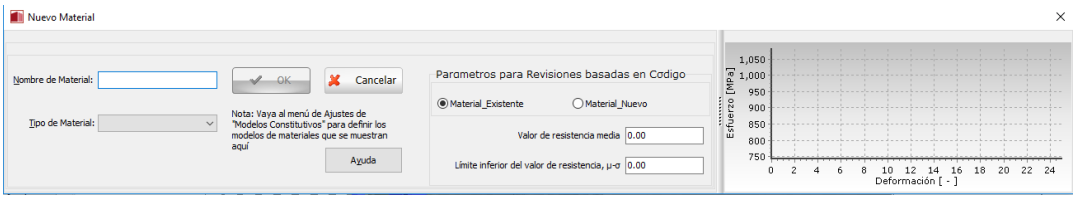
IMPORTANTE: En el módulo Materiales sólo aparecerán los tipos de materiales que hayan sido activados previamente en la ventana de Modelos Constitutivos (*Herramientas > Ajustes de Proyecto > Modelos Constitutivos*).

Como se anticipó durante el Tutorial 1, se dispone de dos opciones para la introducción de un nuevo material:

1. *Agregar Clase de Material*;
2. *Agregar Material General.*



Módulo Materiales – Opción Agregar Material General



Módulo Materiales – Opción Agregar Clase de Material

Actualmente hay veinte tipos de materiales disponibles en SeismoStruct. Por defecto, solo nueve pueden ser seleccionados sin ningún cambio en el panel *Ajustes de Proyecto*. La lista completa de materiales es la siguiente:

- Modelo bi-lineal para acero- stl_bl
- Modelo de Menegotto-Pinto para acero - stl_mp
- Modelo Bilineal de Acero con Endurecimiento por Deformación Isotrópica-stl_bl2
- Modelo de Giuffre-Menegoto con Endurecimiento Isotrópico- stl_gmp
- Modelo de acero de Ramberg-Osgood -stl_ro
- Modelo de Acero Dodd-Restrepo - stl_dr
- Modelo de Monti-Nuti para acero - stl_mn
- Modelo por Riostras de Acero Restringidas al Pandeo – stl_brb
- Modelo no lineal de Mander et al. para hormigón - con_ma
- Modelo tri-lineal para hormigón - con_tl
- Modelo no lineal de Chang-Mander para hormigón - con_cm
- Modelo no lineal de Kappos y Konstantinidis para hormigón de alta resistencia - con_hs
- Modelo para Hormigón Flexible (ECC) – con_ecc
- Modelo para hormigón de Kent-Scott y Park – con_ksp
- Modelo trilineal para mampostería – mas_tl
- Modelo parabólico para mampostería – mas_par

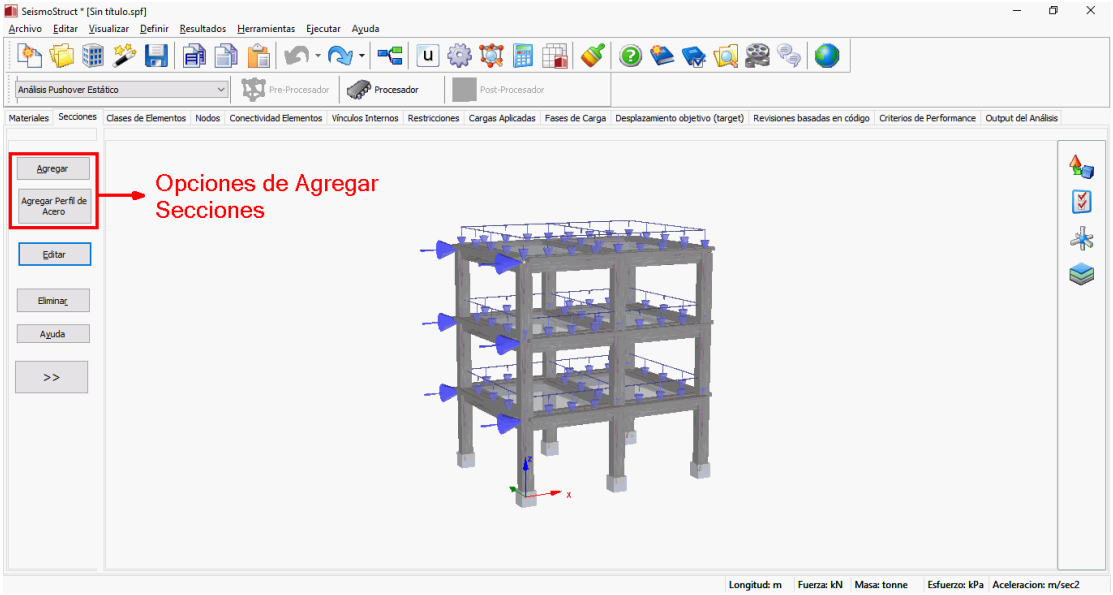
- Modelo para aleaciones superelásticas con memoria de forma - se_sma
- Modelo tri-lineal para FRP- frp_tl
- Modelo de material elástico genérico - el_mat
- Material Histerético Genérico – hyst_mat

NOTA: En SeismoStruct, el coeficiente de Poisson se assume igual a 0.2 para el hormigón y 0.3 para el acero.

Por una descripción detallada de los tipos de materiales, por favor referirse al Apéndice C- Materiales.

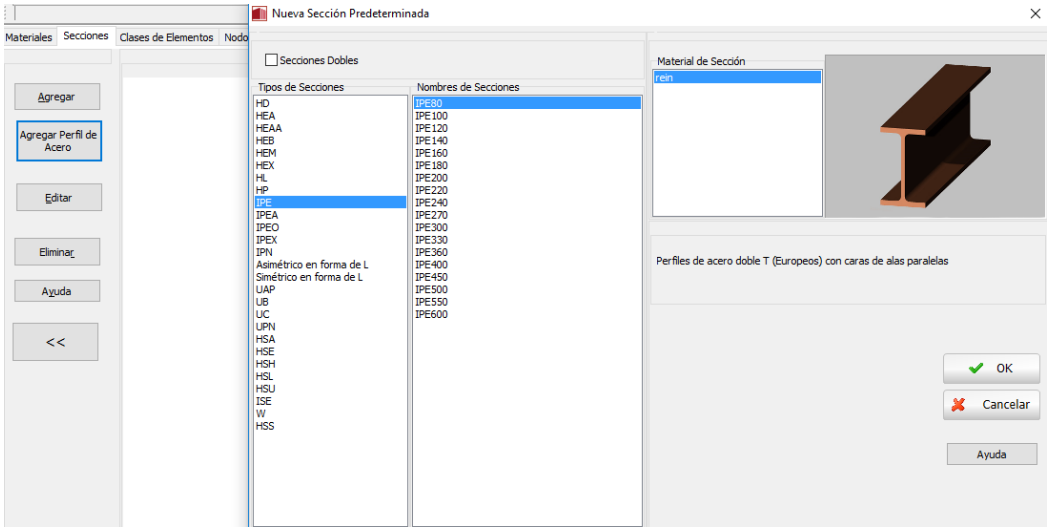
SECCIONES

Las secciones transversales que se encontrarán disponibles dentro de un determinado proyecto de SeismoStruct son definidas en el módulo Secciones, en el cual debe indicarse (i) su nombre (utilizado para identificar la sección en el contexto del proyecto), (ii) el tipo (de la lista presentada a continuación), (iii) los materiales (como fueran definidos en el módulo Materiales), (iv) sus dimensiones (ancho, alto, etc.) y (v) armadura (si corresponde).



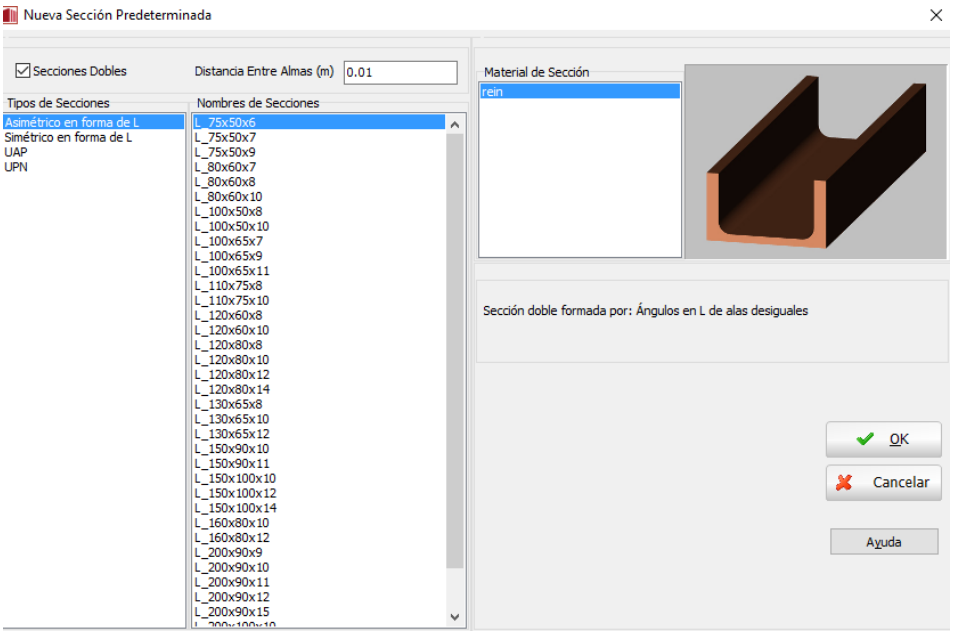
Módulo Secciones

SeismoStruct permite también la selección de secciones de acero predefinidas, haciendo clic sobre el botón *Agregar Perfil de Acero*. Una base de datos que contiene los perfiles de acero más comunes (por ej., HEA, HEB, IPE, etc.) se encuentra disponible.



Módulo Secciones – Opción Agregar Perfil de Acero

Desde SeismoStruct v7.0 en adelante, es posible introducir secciones de acero dobles, poniendo un check en la casilla correspondiente en la ventana de dialogo de Sección Nueva Predefinida:



Módulo Secciones – Opción Agregar Perfil de Acero

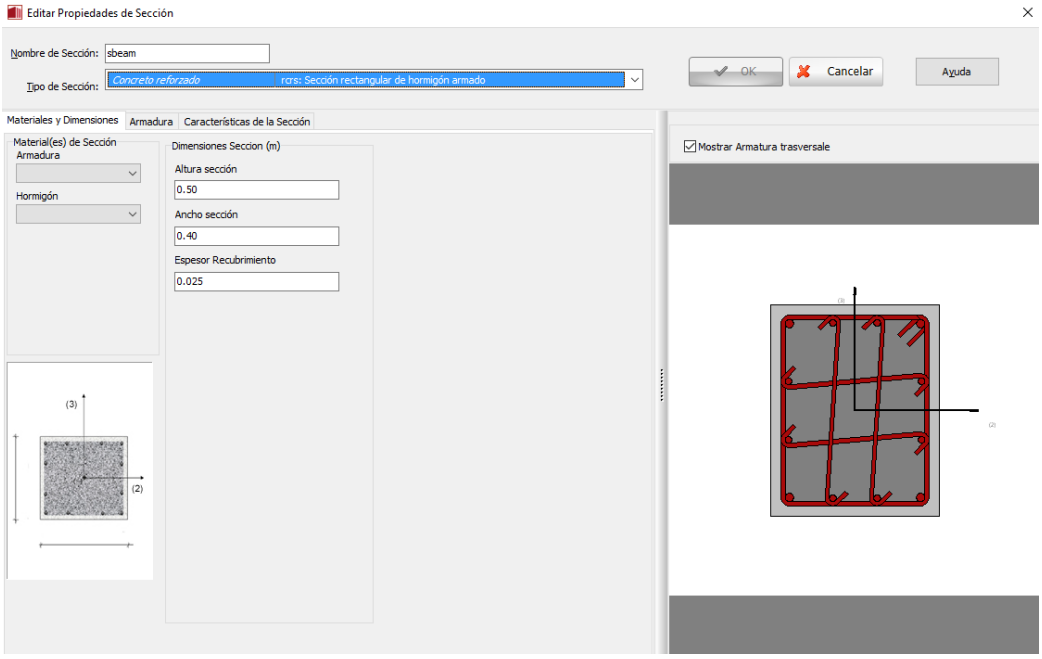
En SeismoStruct se dispone, actualmente, de setenta y dostipos de secciones, que incluyen desde simples secciones macizas de un solo material hasta secciones más complejas, tanto en hormigón armado como compuestas:

- Sección Rectangular Sólida - rss
- Sección Rectangular Hueca - rhs
- Sección Circular Sólida - css
- Sección Circular Hueca - chs
- Sección T o doble-T simétrica - sits
- Sección genérica asimétrica - agss
- Sección de perfil angular doble o canal - dacss
- Sección doble I tipo 1 - di1

- Sección doble I tipo 2 - di2
- Sección doble I tipo 1 con placas inferior y superior - di1tbp
- Sección doble I tipo 2 con placas inferior y superior - di2tbp
- Sección doble I tipo 1 con placas en el alma - di1wp
- Sección doble I tipo 2 con placas en el alma - di2wp
- Sección doble I tipo 1 con placas superior, inferior y en el alma - di1tbwp
- Sección doble I tipo 2 con placas superior, inferior y en el alma - di2tbwp
- Sección hecha de doble perfil en canal - bbdc
- Sección hecha de doble perfil en canal con placa de conexión - bbdcc
- Sección hecha de doble perfil en canal con placa superior e inferior - bbdctbp
- Sección hecha de doble perfil en angular - bbda
- Sección hecha de doble perfil en angular – bbdacp
- Sección I con placas superior e inferior - itbp
- Sección I con placas superior e inferior y en el alma - itbwp
- Sección I con placa superior - itp
- Sección I con placa inferior- ibp
- Sección I refozada con sección I en la parte inferior - ibri
- Sección I refozada con sección T en la parte inferior - ibrt
- Sección de estrella compuesta de angulares - sfa
- Sección de doble angular de espalda a espalda - dabtb
- Sección hecha de cuatro angulares - bbfa
- Sección de doble angular conectados a lo largo de la diagonal – dadg
- Sección Cruciforme - cfs
- Sección rectangular de concreto reforzado - rcrs
- Sección de concreto cuadrilateral - rcqs
- Sección de concreto reforzado con esquinas redondeadas - rcrrcs
- Sección circular de concreto reforzado - rccs
- Sección de columna de concreto reforzado en forma de Z - rczcs
- Sección de concreto reforzado en forma de L - rclcs
- Sección de concreto reforzado en forma de T - rctc
- Sección T de concreto reforzado - rcts
- Sección de concreto reforzado rectangular asimétrica - rcars
- Sección rectangular de muro de concreto reforzado - rcrws
- Sección de muro rectangular de concreto reforzado sin elementos de borde - rcbws
- Sección de muro en forma de U de concreto reforzado - rcuws
- Sección de muro de concreto reforzado en forma de Z - rczws
- Sección de muro en forma de L de concreto reforzado - rclws
- Sección rectangular hueca de concreto reforzado - rcrhs
- Sección de concreto reforzado rectagular hueca con esquinas redondeadas - rcrrchs
- Sección circular hueca de concreto reforzado - rcchs
- Sección de viga-cajón de concreto reforzado - rcbgs
- Sección rectangular encamisada de concreto reforzado - rcjrs
- Sección de concreto encamisado reforzado rectangular con esquinas redondeadas – rcjrrcs
- Sección de concreto encamisado en 3 lados - rcjrs3
- Sección de concreto encamisado en 2 lados - rcjrs2
- Sección de concreto encamisado en 1 lado - rcjrs1
- Sección circular encamisada de concreto reforzado - rcjcs
- Sección de concreto encamisado en forma de Z - rcjzcs
- Sección de columna encamisada de concreto reforzado en forma de L - rcjlcs
- Sección de concreto encamisado en 3 lados en forma de L - rcjlcs3
- Sección de columna encamisada de concreto reforzado en forma de T - rcjtcs
- Sección de concreto encamisado en 3 lados en forma de T - rcjtcs3
- Sección encamisada de concreto reforzado en forma de T – rcjts

- Sección de concreto encamisado en 3 lados en forma de T - rcjts3
- Sección de concreto encamisado en 1 lado en forma de T - rcjts1
- Sección encamisada de concreto reforzado asimétrica rectangular - rcjars
- Sección asimétrica de concreto encamisado en 1 lado - rcjars1
- Sección I compuesta - cpis
- Sección I parcialmente revestida - pecs
- Sección I completamente revestida - fecs
- Sección rectangular compuesta - crs
- Sección circular compuesta – ccs
- Sección de Muro de Mampostería – mws
- Sección de Antepecho de Mampostería - mss

Se hace notar que a partir de la versión 2016 en adelantelos usuarios pueden visualizar el refuerzo a cortante de la sección.



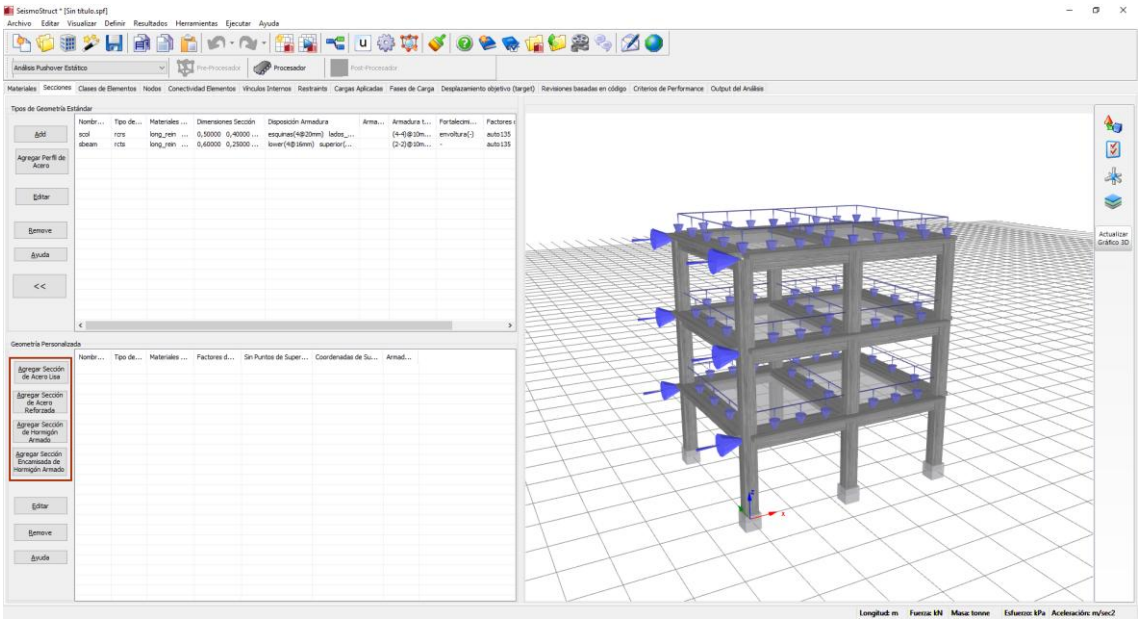
Módulo de Propiedades de Sección – Mostrar Refuerzo Transversal

Al hacer uso de los diferentes tipos de secciones, el usuario puede crear un número ilimitado de secciones transversales diferentes, que se pueden utilizar para definir las clases de elementos de un modelo estructural.

Para una descripción detallada de los tipos de secciones, consulte el Apendice D – Secciones.

SECCIONES PERSONALIZADAS

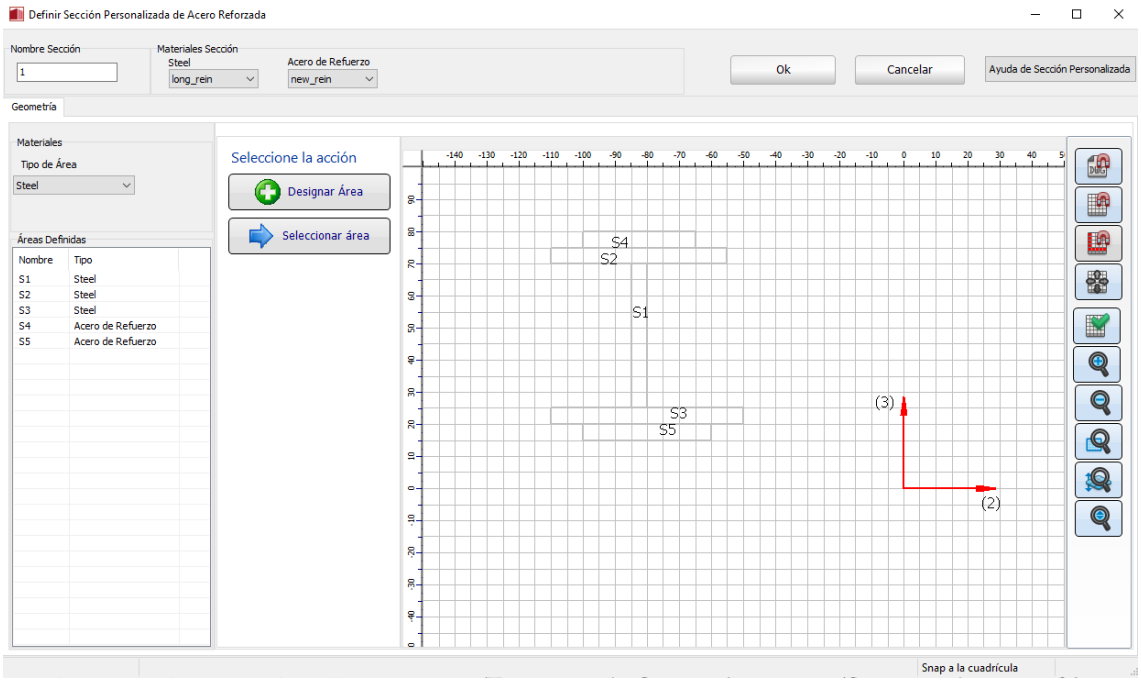
Además de las secciones estándar de la biblioteca SeismoStruct, también se pueden definir secciones personalizadas de acero u hormigón armado de cualquier forma. Se admiten variaciones de las secciones tanto simples como reforzadas.



Módulo de secciones personalizadas

Los usuarios pueden definir hasta 10 áreas de sección. Las áreas se especifican gráficamente por su perímetro después de hacer clic en el botón Dibujar Área. Las áreas definidas se pueden seleccionar y luego eliminar con los botones correspondientes. Las funciones y comandos en el lado derecho de la pantalla (amplificar a áreas existentes, ajustar a grilla, orto, panorámica, alejar, alejar, a ventana y acercar todo) pueden facilitar aún más la entrada gráfica.

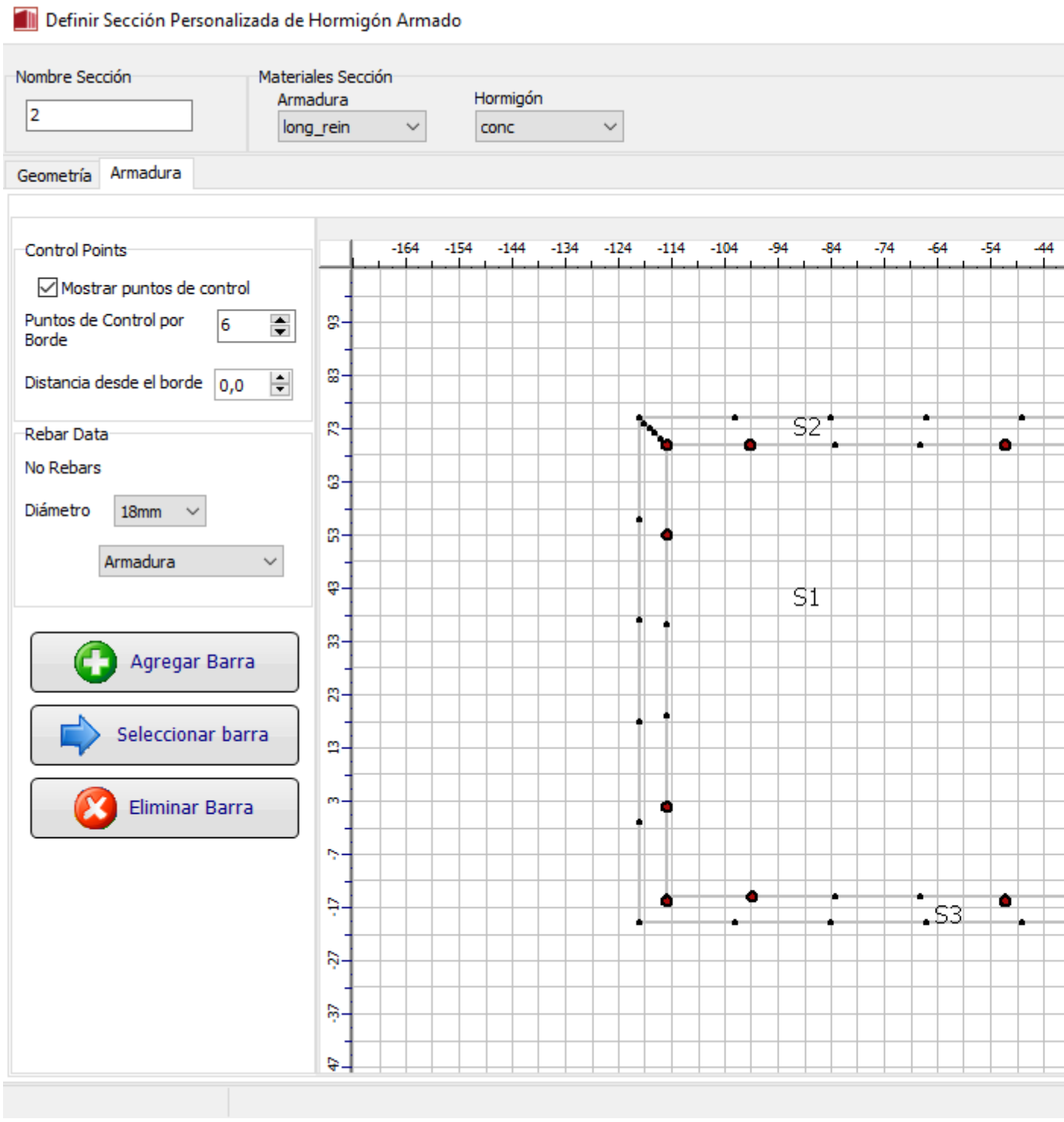
Para las secciones de acero lisas se debe especificar un material, mientras que para las secciones de acero reforzadas se requieren dos materiales, uno para la parte existente de la sección y otro para el refuerzo. Se solicita a los usuarios (i) el nombre de la sección, (ii) los materiales empleados, y (iii) el tipo de las diferentes áreas de la sección (lisas o reforzadas).



Módulo de Secciones Personalizadas: Opción Agregar Sección de Acero Reforzada

Para las secciones lisas de hormigón armado se deberán especificar dos materiales, el del hormigón y el de la armadura. Para las secciones reforzadas (encamisadas), en cambio, se necesitan 4 materiales, para el hormigón y el refuerzo de la sección existente y para el hormigón y el refuerzo de la camisa. Se pueden asignar diferentes factores de confinamiento a las diferentes áreas concretas. Cabe señalar que la parte existente/interna de la sección se puede compensar para crear rápidamente el recubrimiento y el encamisado (en el caso de secciones reforzadas), en lugar de agregar manualmente estas áreas.

El refuerzo de la sección se especifica en la pestaña correspondiente con la ayuda de varios puntos de control en el interior o en el perímetro de las zonas introducidas. Nuevamente la entrada se realiza gráficamente con clics en los puntos de control.

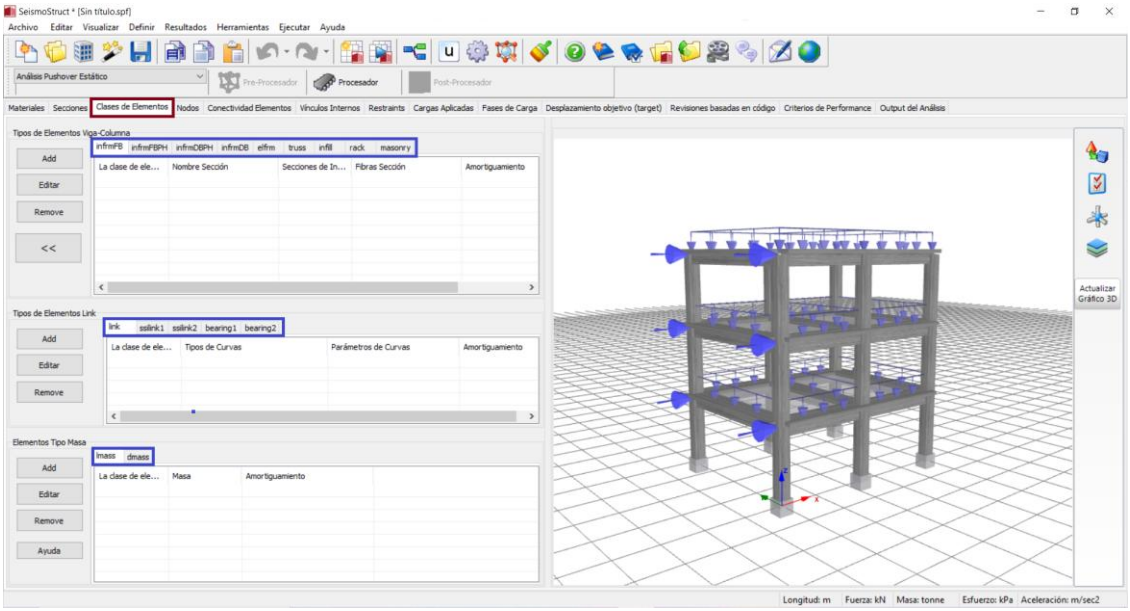


Módulo de Secciones Personalizadas: Opción Agregar sección de hormigón armado

Clases de Elementos

Los elementos que estarán disponibles dentro de un proyecto de SeismoStruct son definidos en el módulo **Clases de Elementos**. Los tipos de elementos son utilizados para definir clases de elementos exactamente al igual que los tipos de materiales son utilizados para definir materiales o los tipos de

secciones son empleados para definir secciones. Por lo tanto, al igual que para el caso de los materiales y las secciones, en un proyecto de SeismoStruct puede existir un gran número de clases diferentes de elementos que pertenezcan al mismo tipo de elemento (por ej., para modelar dos columnas el usuario necesita definir dos clases de elementos diferentes, ambas pertenecientes al mismo tipo de elemento "pórtico"). Las clases de elementos definidas en este módulo son luego utilizadas en el módulo de **Conectividad de Elementos** para crear los elementos que efectivamente permiten la construcción del modelo estructural.



Módulo Clases de Elementos

Actualmente, hay veintidós tipos de elementos disponibles en SeismoStruct, que pueden ser agrupados en tres categorías (*elementos tipo viga-columna*, *elementos tipo link* y *elementos tipo disipadores viscosos*):

- Elementos inelásticos de pórtico - infrmDB, infrmFB
- Elemento inelástico de pórtico con rótula plástica - infrmDBPH, infrmFBPH
- Elemento elástico de pórtico – elfrm
- Elemento elástico de pórtico con rótulas plásticas - elfrmH
- Elemento inelástico infill panel - infill
- Elemento inelástico reticulado – truss
- Elemento de marco de mampostería inelástica – masonry
- Elemento Shell – shell4
- Elemento de Rack – rack
- Elemento Rack con rótulas plásticas – rackH
- Elemento Link Lineal - linlink
- Elemento link no lineal - NLlink
- Macroelemento para Cimentaciones Superficiales – ssilink1
- Macroelemento para Parte-Superior de Pila – ssilink2
- Elemento de Aislador Elastomérico (Bouc Wen) – isolator1
- Aislador/Sistema de Péndulo Friccional –isolator2
- Elementos de masa - lmass & dmass
- Elemento disipador viscoso (dashpot) - dashpt
- Elemento disipador no lineal - NLdashpt

Mediante el uso de estos tipos de elementos, el usuario puede crear un número ilimitado de diferentes clases de elementos que no sólo pueden representar con precisión los miembros estructurales (columnas, vigas, muros, uniones viga-columna, etc.) y no estructurales (paneles infill, dispositivos de

disipación de energía, masas inerciales, etc.) tanto en estado intacto como reparado/reforzado, sino que también permiten modelar diferentes condiciones de borde, como fundaciones flexibles, aislación sísmica, golpeteo estructural, etc.

NOTA 1: Algunos tipos de elementos (por ej., elementos de masa y amortiguamiento) no pueden ser utilizados en ciertos tipos de análisis (por ej., análisis estáticos) y, por lo tanto, no estarán siempre disponibles en el módulo de Clases de Elementos.

NOTA 2: Los usuarios pueden encontrar información y sugerencias interesantes referentes al modelado de elementos estructurales y no estructurales en el NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 4 (por favor, consulte la sección Bibliografía).

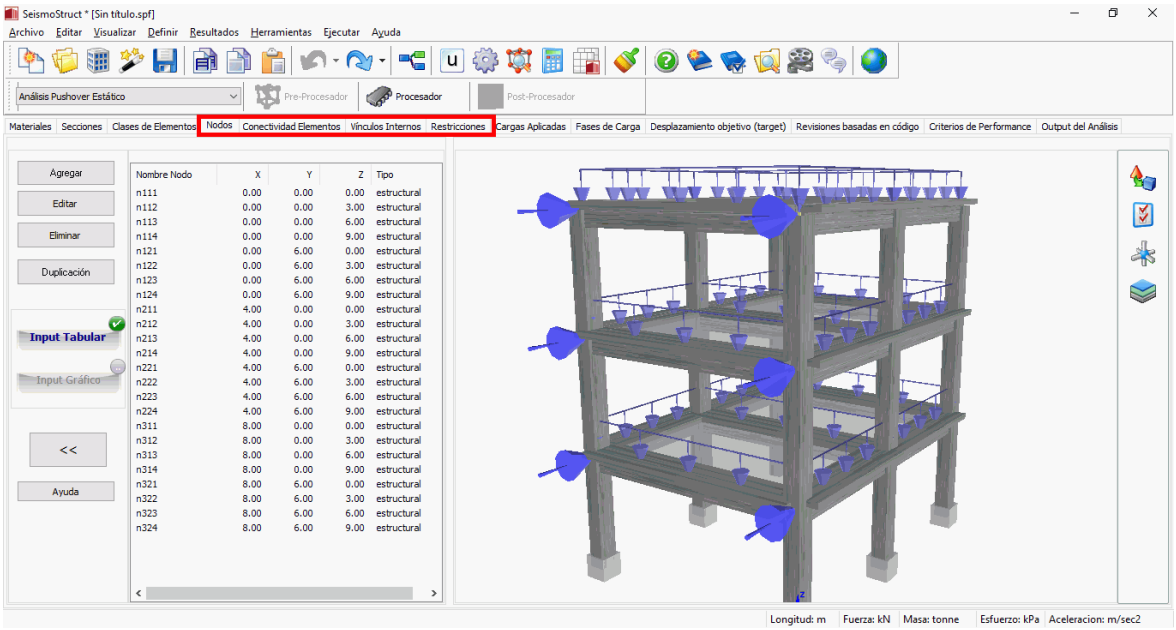
Por una descripción detallada de los tipos de elementos, diríjase al Apéndice E – Clase de Elementos.

GEOMETRÍA ESTRUCTURAL

La definición de la geometría de la estructura a modelar implica un ***procedimiento de tres pasos***. En primer lugar, se definen todos los *nodos estructurales* y *no estructurales*, luego de lo cual es posible estipular la *conectividad de los elementos*. El proceso finaliza con la asignación de *vínculos externos*, que caracterizan por completo las condiciones de borde de la estructura. Es posible también definir, en forma "opcional", *restricciones nodales internas*.

Por ende, la **geometría estructural** es definida a través de los siguientes módulos, que se describen a continuación:

- Nodos
- Conectividad de Elementos
- Vínculos Internos
- Vínculos Externos



Módulos de Geometría Estructural

NOTA: El número máximo de nodos o elementos que pueden ser definidos en un modelo de SeismoStruct es 50 mil.

Nodos

En SeismoStruct es posible definir dos tipos de nodos: **estructurales** y **no estructurales**.

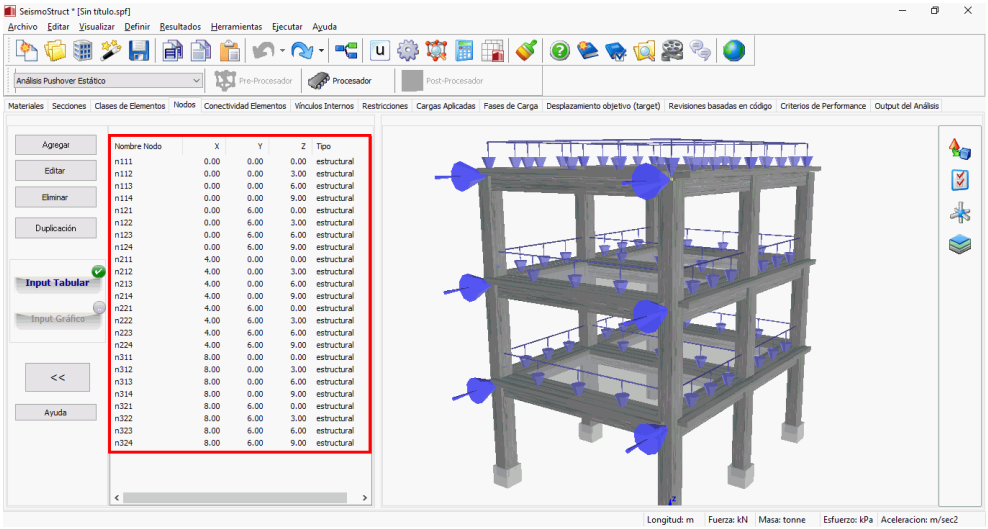
Nodos Estructurales

Son todos aquellos a los cuales se conectan elementos estructurales. De hecho, no es posible ejecutar análisis de ningún tipo en SeismoStruct si un nodo que ha sido definido como "estructural" no presenta al menos un elemento conectado a él. En otras palabras, los nodos estructurales son todos aquellos a los que les son asignados grados de libertad y son incluidos en el ensamblaje de la matriz de rigidez y los vectores de cargas/desplazamientos.

Nodos No Estructurales

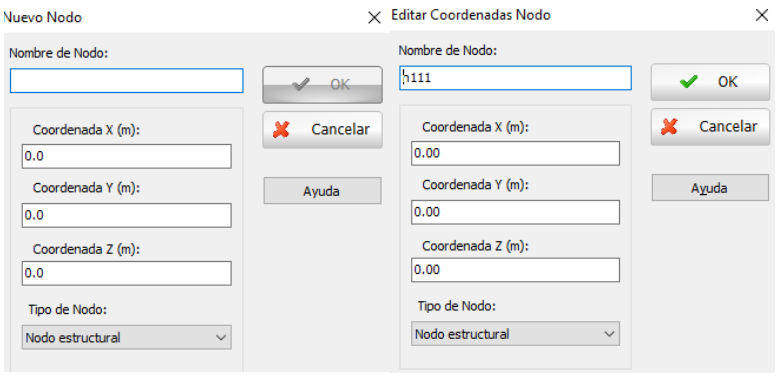
Por el otro lado, hay nodos que no deben ser considerados en la solución de la estructura pero son necesarios para definir la orientación de los ejes locales de ciertos tipos de elementos (como se describe en conectividad de elementos). Ningún tipo de elemento puede ser conectado a este tipo de nodos y, aunque es evidente que los nodos estructurales también pueden ser utilizados como puntos de referencia para la definición de los ejes locales, habitualmente resulta mucho más simple y claro reservar este rol para su contraparte no estructural. Por mayores detalles sobre el tema, se recomienda a los usuarios referirse al capítulo sistemas de ejes globales y locales. Por defecto, los nodos no estructurales no son visualizados en el gráfico 3D del modelo; esto puede ser modificado a través de los ajustes de visualización.

NOTA: Cuando se definen nodos no estructurales con coordenadas muy grandes y luego la visualización de dichos nodos es activada, el modelo será inevitablemente reducido a dimensiones de visualización muy pequeñas. Para evitar esto, el usuario deberá (i) colocar los nodos no estructurales en las proximidades de la estructura, (ii) inhabilitar la visualización de éstos o (iii) acercar la imagen manualmente cada vez que se actualice el gráfico 3D.



Módulo de Nodos

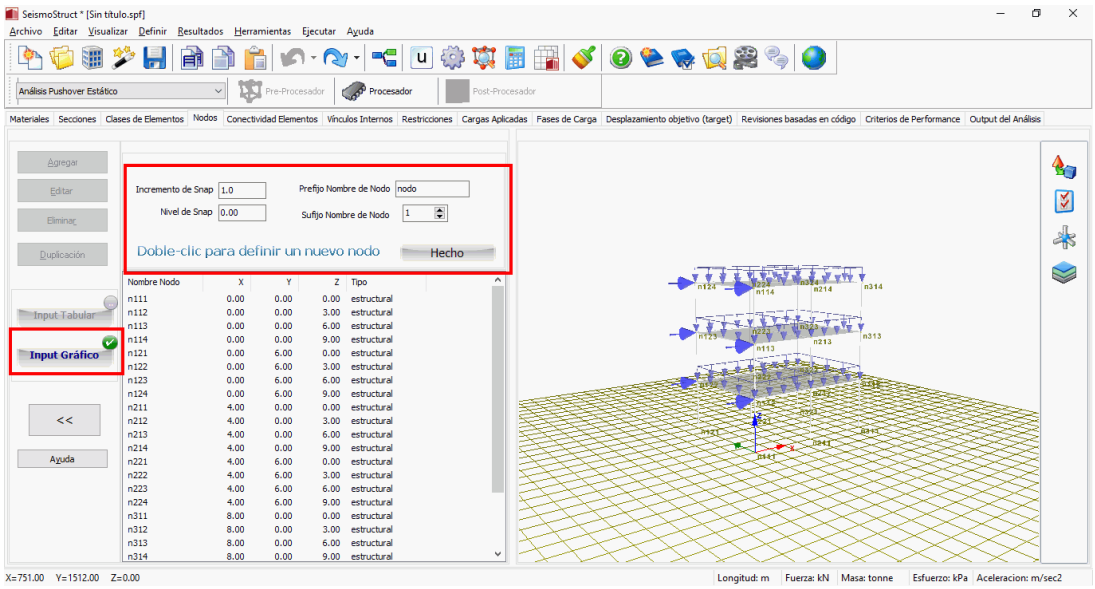
Al igual que en todos los otros módulos, el usuario puede agregar nuevos nodos (también en modo de *Input Gráfico*) y eliminar/editar nodos existentes que se encuentren seleccionados.



Agregar/Editar Nodos

En el modo *Input Gráfico*, el usuario debe:

1. Seleccionar el Nivel de Snap (0 por defecto);
2. Eventualmente, cambiar el Incremento de Snap (1 por defecto), el Prefijo y Sufijo de los Nombres de Nodos (por defecto, "nodo" y "1", respectivamente);
3. Hacer doble-clic sobre la cuadrícula para definir el nodo;
4. Repetir la operación hasta haber generado todos los nodos;
5. Al final del procedimiento, hacer clic sobre *Hecho* para regresar al modo *Input Tabular*.



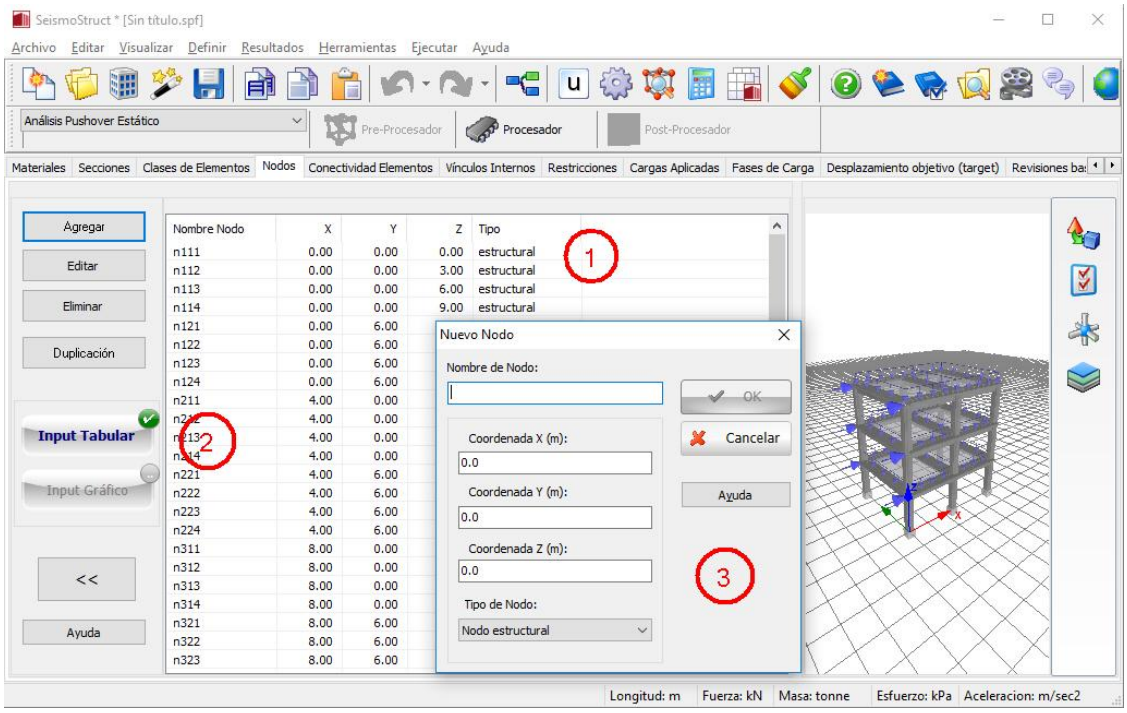
Agregar Nodos (herramienta Input Gráfico)

NOTA: Una herramienta de edición que puede resultar muy útil para los usuarios es la posibilidad de modificar un tipo de coordenada de un gran número de nodos mediante una sola operación, haciendo una selección múltiple de los nodos en cuestión y abriendo la ventana de diálogo Editar. Esta operación puede ser muy práctica, por ejemplo, cuando se necesita cambiar las coordenadas en *y* de todos los nodos de un pórtico que debe ser trasladado a una posición diferente en el espacio.

Los nodos pueden ser ordenados de acuerdo con sus nombres o sus coordenadas x, y o z. Al hacer clic una vez en el encabezado de la columna correspondiente, se adopta un orden ascendente, mientras que, al hacer un segundo clic, los nodos se reacomodan en orden descendente (por mayores detalles respecto al ordenamiento de datos, ver el capítulo Funciones de Edición).

El módulo **Nodos** posee una herramienta de *Duplicación*, mediante la cual el usuario puede crear nuevos nodos mediante la "repetición" de nodos existentes. Esto puede hacerse:

1. Seleccionando una serie de nodos que servirá como base para la duplicación;
2. Haciendo clic sobre el botón *Duplicación*;
3. Especificando el incremento a utilizar en el nombre y las coordenadas del/de los nodo/s, y finalmente indicando el número de "repeticiones" a efectuar.

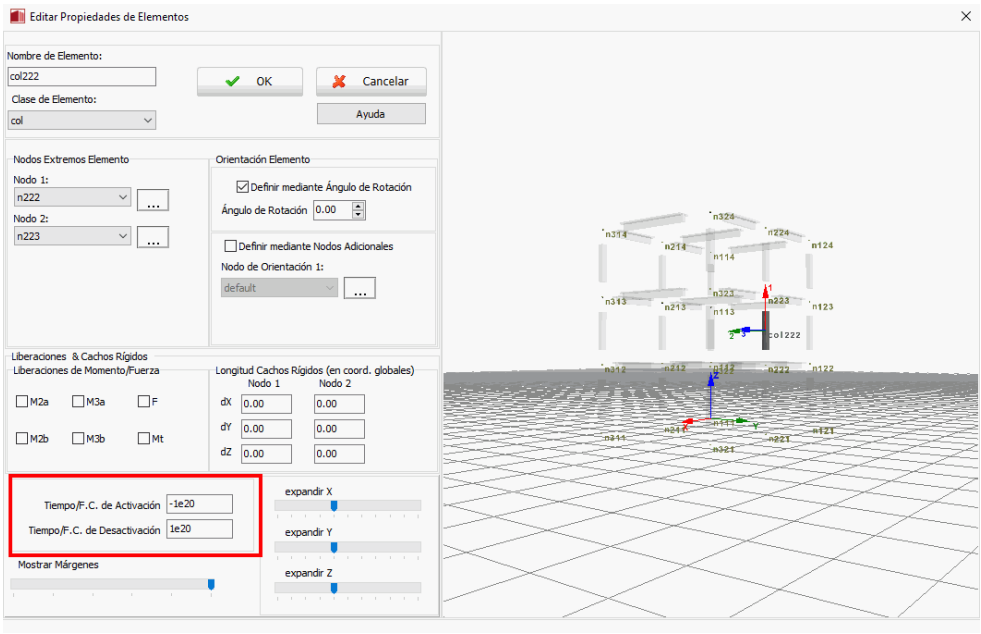


Herramienta de Incrementación – Nodos

Conectividad de los Elementos

Los diferentes elementos de la estructura se definen en el módulo de **Conectividad de Elemento,** donde su nombre, clase y nodos, entremos rígidos, liberaciones de fuerza/momento y su eventual tiempo de activación /L.F se identifican.

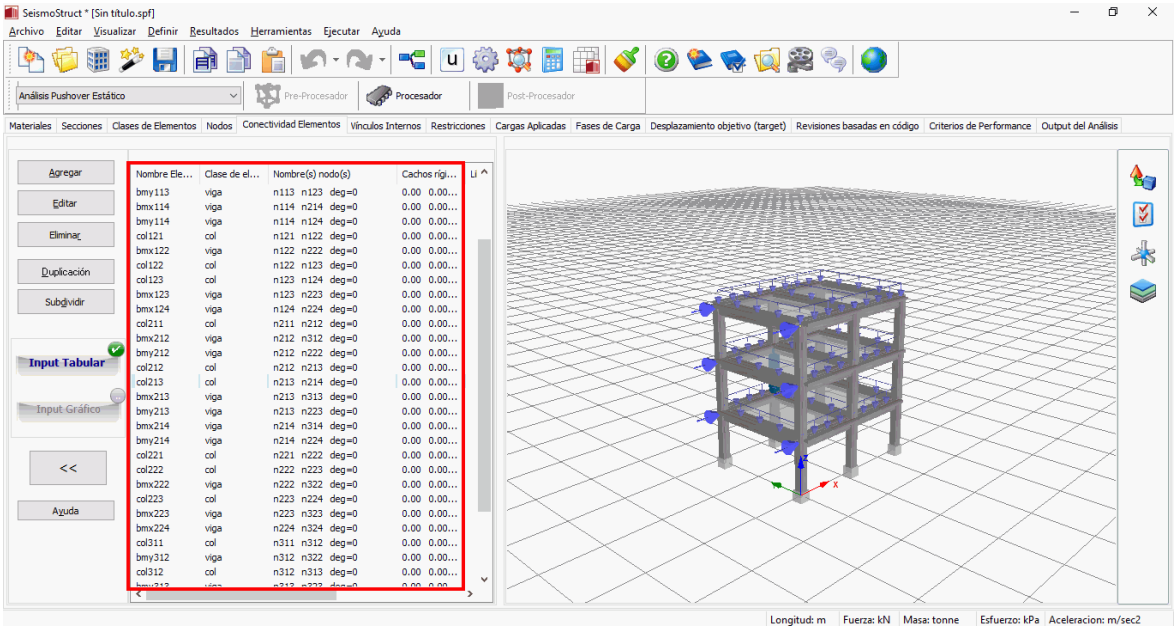
Debe notarse que la posibilidad de definir un tiempo de activación (y desactivación)/L.F. se provee dentro de cada elemento. Los valores predefinidos son -1e20 para la activación (para poder efectuar análisis cíclicos de pushover) y 1e20 para la desactivación; esto significa que el elemento se activa al inicio de cualquier análisis y no será desactivado.



Conectividad de Elemento Nuevo – Tiempo de activación y desactivación / L.F.

Al igual que en todos los módulos, el usuario puede agregar nuevos elementos (también en modo de *Input Gráfico*) y eliminar/editar elementos existentes que se encuentren seleccionados (ver el capítulo Funciones de Edición).

NOTA: Los usuarios pueden cambiar en una simple operación, por ejemplo, el nodo no estructural utilizado para un gran número de elementos, aprovechando las herramientas de selección y edición múltiple.

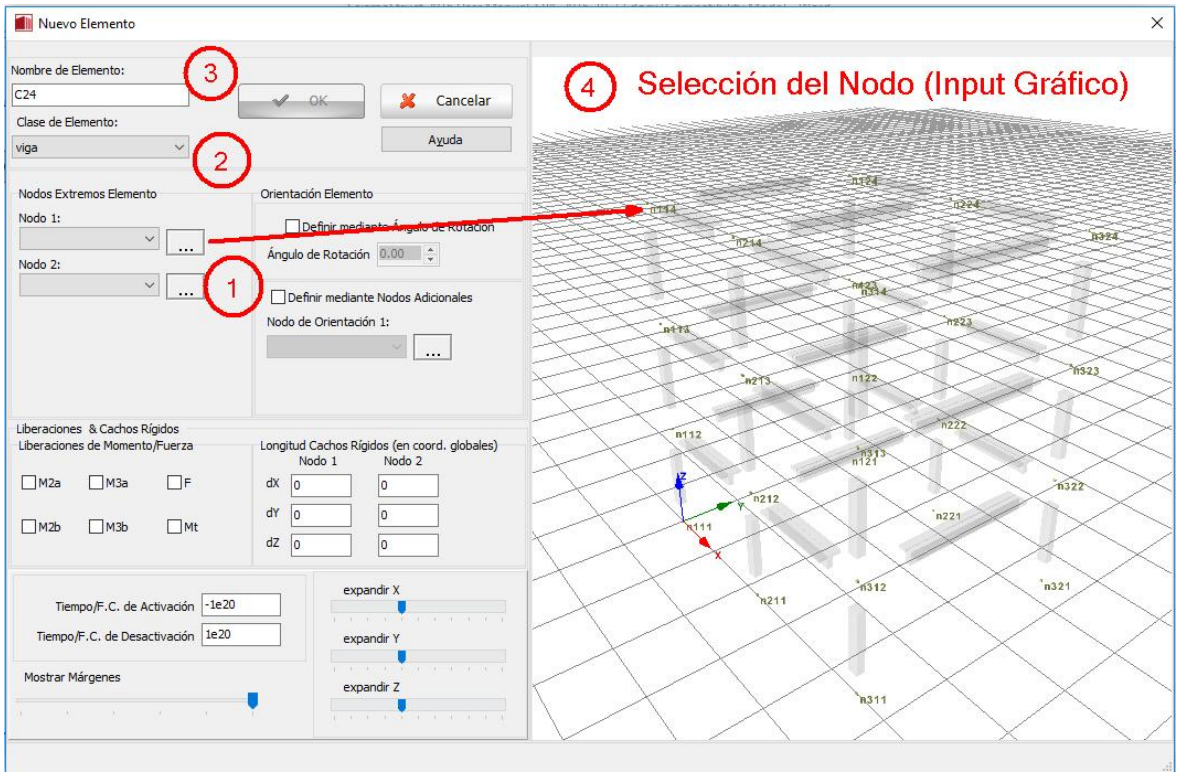


Módulo Conectividad de Elementos

Para agregar un nuevo elemento en el modo *Input Tabular*, el usuario debe:

1. Hacer clic sobre el botón *Agregar*;

2. Asignar un nombre;
3. Seleccionar la Clase de Elemento en el menú desplegable;
4. Seleccionar los nodos correspondientes utilizando los menúes desplegables respectivos (o en forma gráfica).
5. Definir la orientación del elemento por su Ángulo de Rotación o mediante Nodos Adicionales.
6. Seleccionar el tiempo de Activación y Desactivación / L.F.



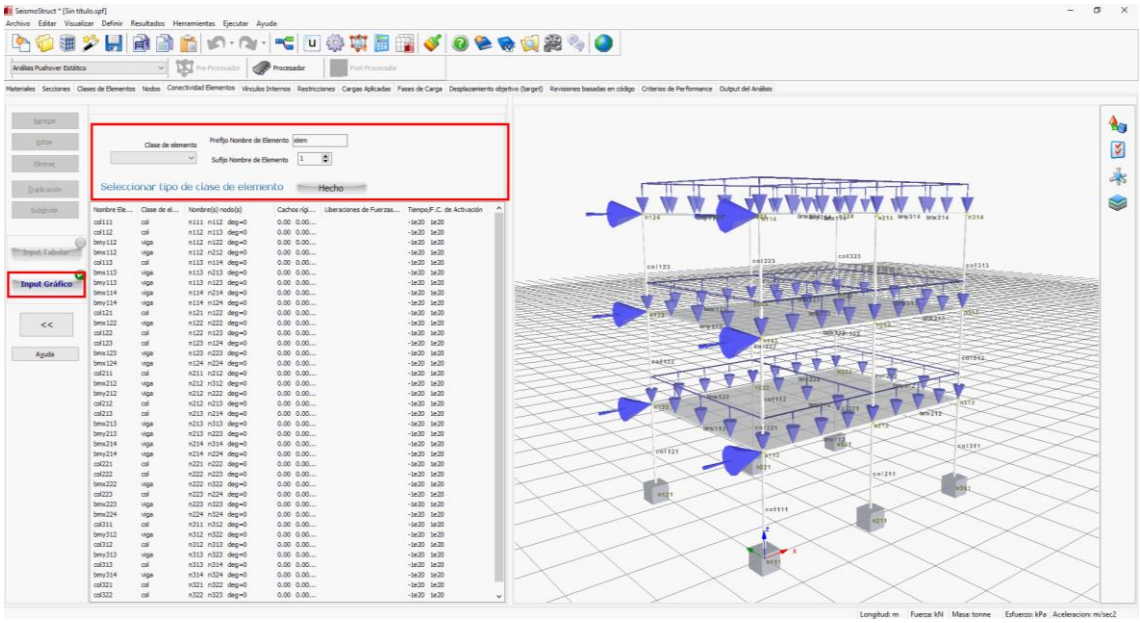
Agregar Nuevo Elemento (modo Input Tabular)

NOTA 1: El número de nodos a seleccionar depende de la Clase de Elemento.

NOTA 2: Los usuarios pueden usar el 'tiempo de activación' para excluir las cargas de gravedad de los elementos de reforzamiento o intervención estructual (p. ej. activando los elementos de intervención estructural de reforzamiento únicamente luego del primer análisis, que requiere de la aplicación de cargas de gravedad.)

De otra manera, para agregar gráficamente un Nuevo elemento in modo de *Input Gráfico,* el usuario tiene que:

1. Dar clic en el botón de *Input Gráfico*;
2. Seleccionar la Clase de Elemento de menú desplegable;
3. Dar doble clic en el 'espacio gráfico' para definir todos los nodos de los elementos.

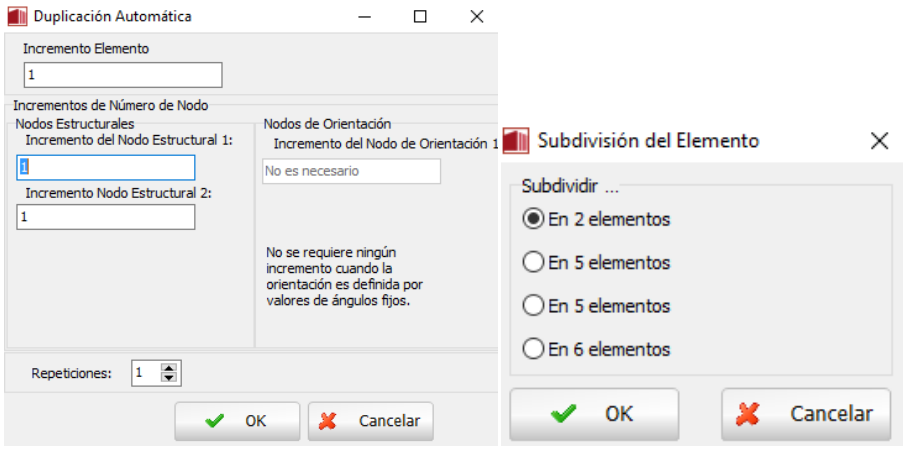


Agregar Nuevo Elemento (modo Input Gráfico)

NOTA: El nombre del nuevo elemento resulta de la concatenación del prefijo y el sufijo.

Por otra parte, también se encuentran disponibles las herramientas de *Duplicación* y *Subdivisión*. Al igual que para el caso de los nodos, la *duplicación de elementos* posibilita la generación automática de nuevos elementos mediante la "repetición" de elementos existentes. Funciona en forma muy similar a la generación automática de nodos, con la diferencia de que, en lugar de incrementar coordenadas nodales, son incrementados los nombres de los nodos. Esta herramienta obviamente requiere que los nombres de los elementos sigan un formato *numérico* (por ej. 100) o *alfa-numérico* (por ej. elm20).

La *Subdivisiónde elementos*, por otro lado, tiene como fin proveer al usuario una herramienta simple y rápida para la subdivisión de elementos de pórtico existentes, de modo tal de refinar la discretización en zonas localizadas (por ejemplo, para aumentar la precisión del análisis en zonas con elevado desarrollo de inelasticidad que hayan sido detectadas sólo luego de ejecutar un primer análisis con un menor nivel de discretización). Las operaciones de creación de los nuevos nodos internos, generación de los nuevos elementos más pequeños y actualización de la conectividad son realizadas automáticamente por el programa. Los usuarios pueden subdividir los elementos existentes en 2, 4, 5 y 6 componentes más pequeños, cuya longitud es calculada como un porcentaje de la longitud original del elemento, definido en los *Ajustes de Proyecto > Subdivisión & Asistente*.



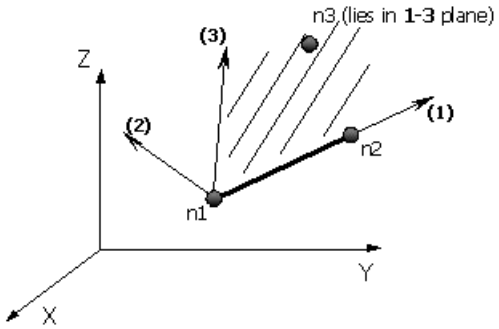
Duplicación de Elementos y Subdivisión de Elementos

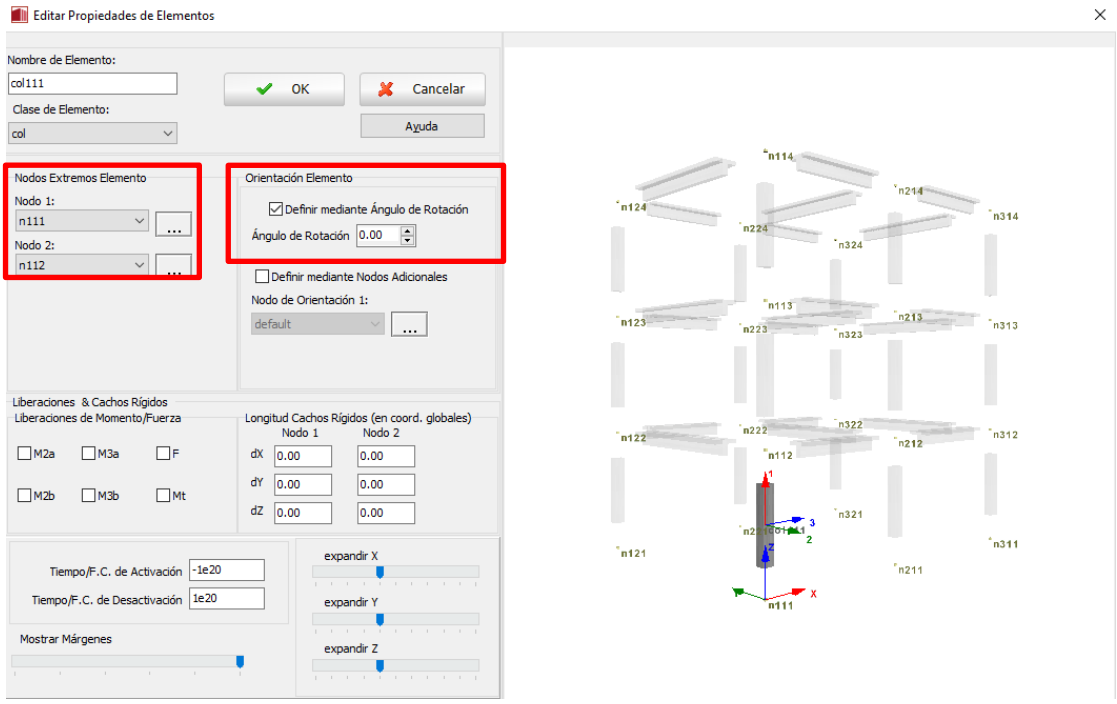
NOTA: Mientras una discretización demasiado gruesa puede imposibilitar la reproducción precisa de ciertos mecanismos/formas de respuesta, un refinamiento extremo puede incrementar innecesariamente y en demasía el tiempo de ejecución del análisis y conducir, a veces, a soluciones menos estables. Por lo tanto, se recomienda a los usuarios tomar decisiones bien equilibradas respecto al nivel de refinamiento que decidan introducir e, idealmente, realizar estudios de sensibilidad para determinar el punto de equilibrio óptimo entre precisión, estabilidad numérica y tiempo de ejecución del análisis.

A continuación se brinda una visión general de los requerimientos de conectividad para cada uno de los **tipos de elementos** disponibles en SeismoStruct.

Elementos de pórtico elásticos e inelásticos - infrmFB, infrmDB, infrmFBPH, elfrm & elfrmH

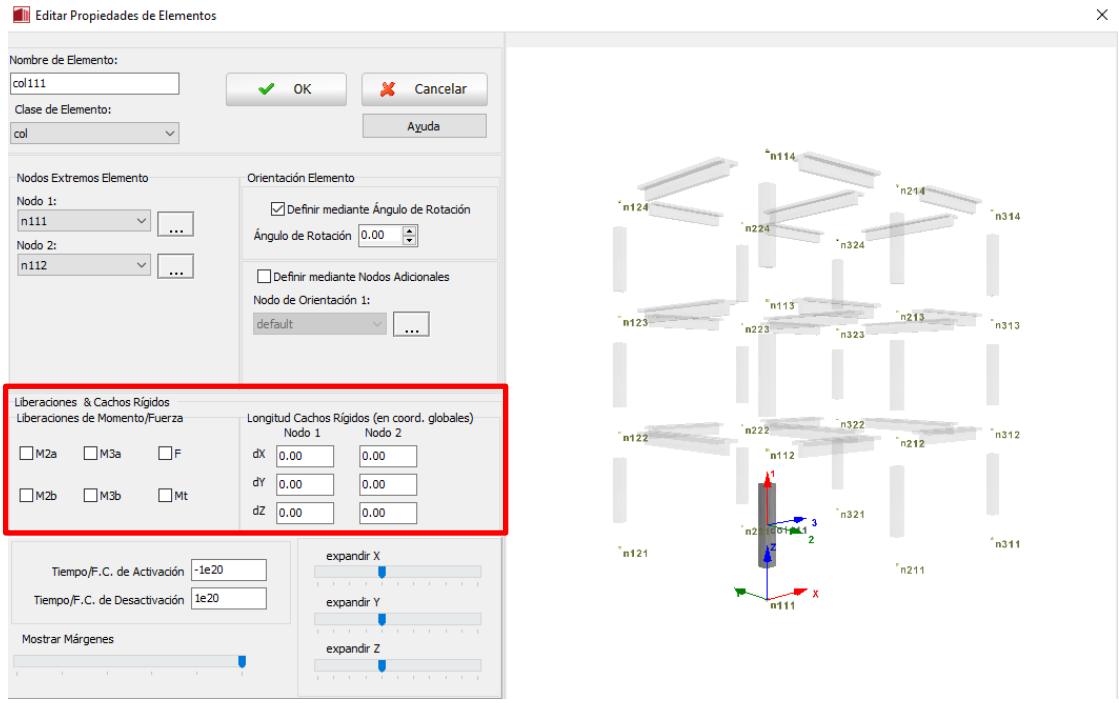
Para este tipo de elementos es necesario definir tres nodos. Los dos primeros son los nodos extremos del elemento, por lo que definen su longitud, posición en el espacio y dirección (eje local 1). El tercer nodo es necesario para determinar la orientación de la sección transversal del elemento (ejes locales 2 y 3), como se describe en la sección acerca de Sistemas de Ejes Globales y Locales.





Editar Elemento

Por otra parte, para cada elemento de pórtico es posible especificar *Longitudes de Cachos Rígidos* (en coordenadas globales), asignando un valor de dX, dY y dZ a cada nodo extremo (designados como Nodos 1 y 2). Además, los usuarios pueden también "liberar" uno o más grados de libertad (fuerzas o momentos) del elemento en las uniones.



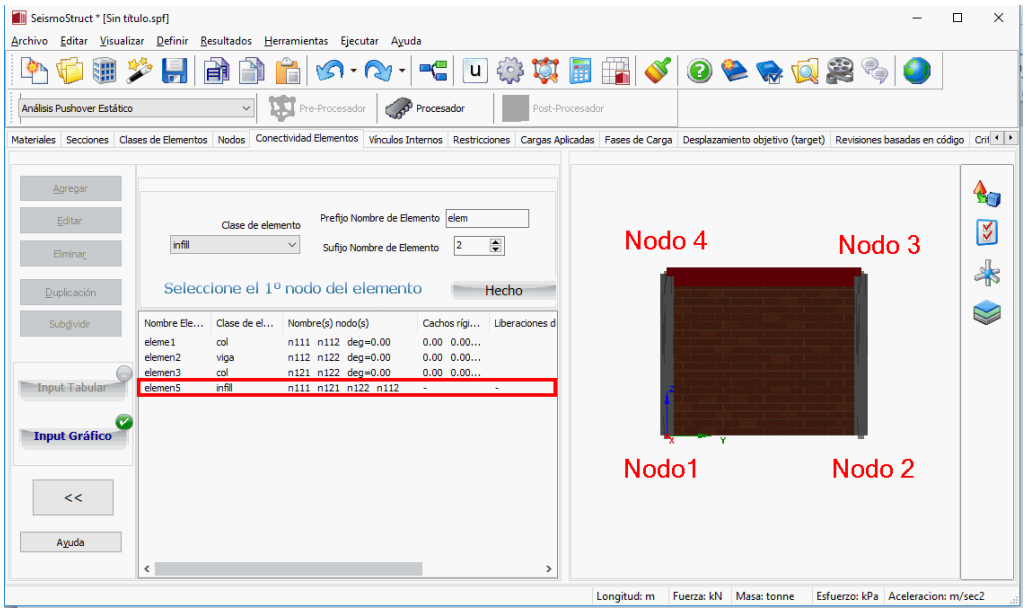
Longitudes de Extremos Rígidos y Liberación de Momentos/Fuerzas

NOTA: Las liberaciones de fuerzas/momentos son siempre especificadas en el sistema de coordenadas locales del elemento.

Elemento infill panel - infill

Para este tipo de elementos es necesario definir cuatro nodos que corresponden a las esquinas del panel, deben ser ingresados en secuencia anti-horaria comenzando por la esquina inferior izquierda, y deben encontrarse todos en el mismo plano.

NOTA: Las bielas internas 1, 2 y 5 del panel serán aquellas que conectan su primer y tercer nodo, mientras que las bielas internas 3, 4 y 6 conectarán la segunda y cuarta esquina del mismo.



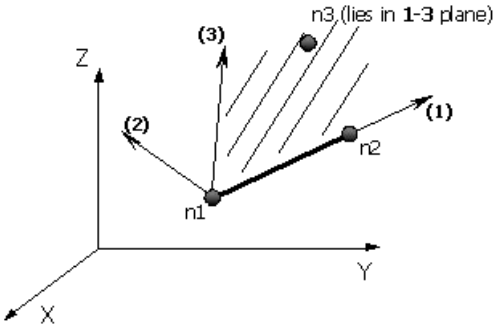
Módulo Conectividad de Elementos – Elemento infill panel

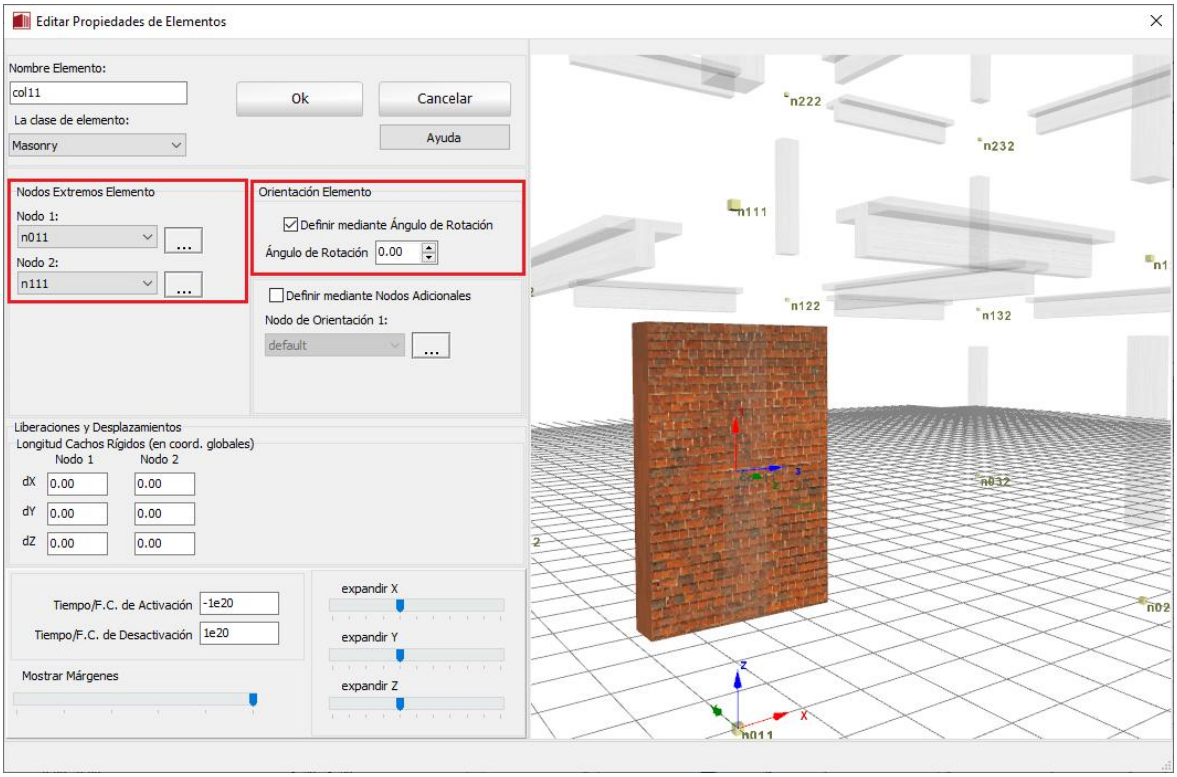
Elemento inelástico reticulado - truss

Para este tipo de elementos es necesario definir dos nodos, que usualmente corresponden a las extremidades de los miembros estructurales (es decir, se utiliza un elemento *truss* por cada miembro estructural), a menos que sea necesario modelar la inestabilidad de los elementos, en cuyo caso dos o más elementos *truss* (que incluyan una imperfección inicial) deben ser utilizados por cada miembro.

Elemento de mampostería - masonry

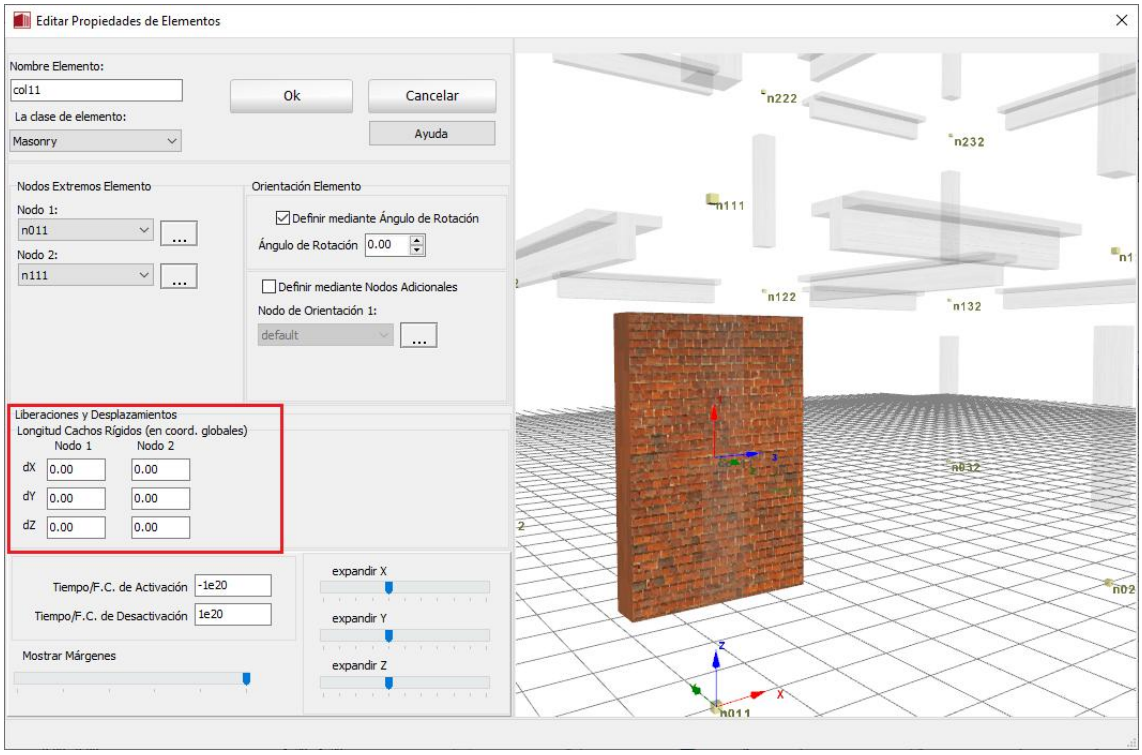
Para estetipo de elementos es necesario definir dos nodos que representan los extremos del elemento, definiendo así su longitud, posición en el espacio y dirección (eje local 1). Un ángulo de rotación o un tercer nodo se requiere para definir la orientación de la sección del elemento (ejes locales 2 y 3), como se describe en el sistema de ejes global y local.





Editar elemento

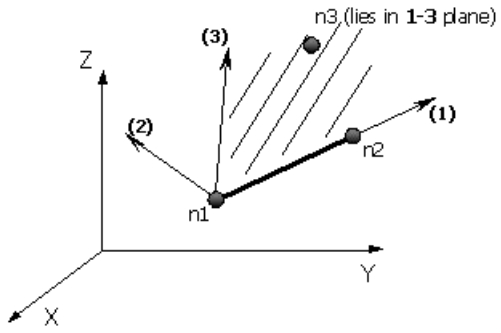
Por otra parte, para cada elemento de mampostería es posible especificar *Longitudes de Cachos Rígidos* (en coordenadas globales), asignando un valor de dX, dY y dZ a cada nodo extremo (designados como Nodos 1 y 2).

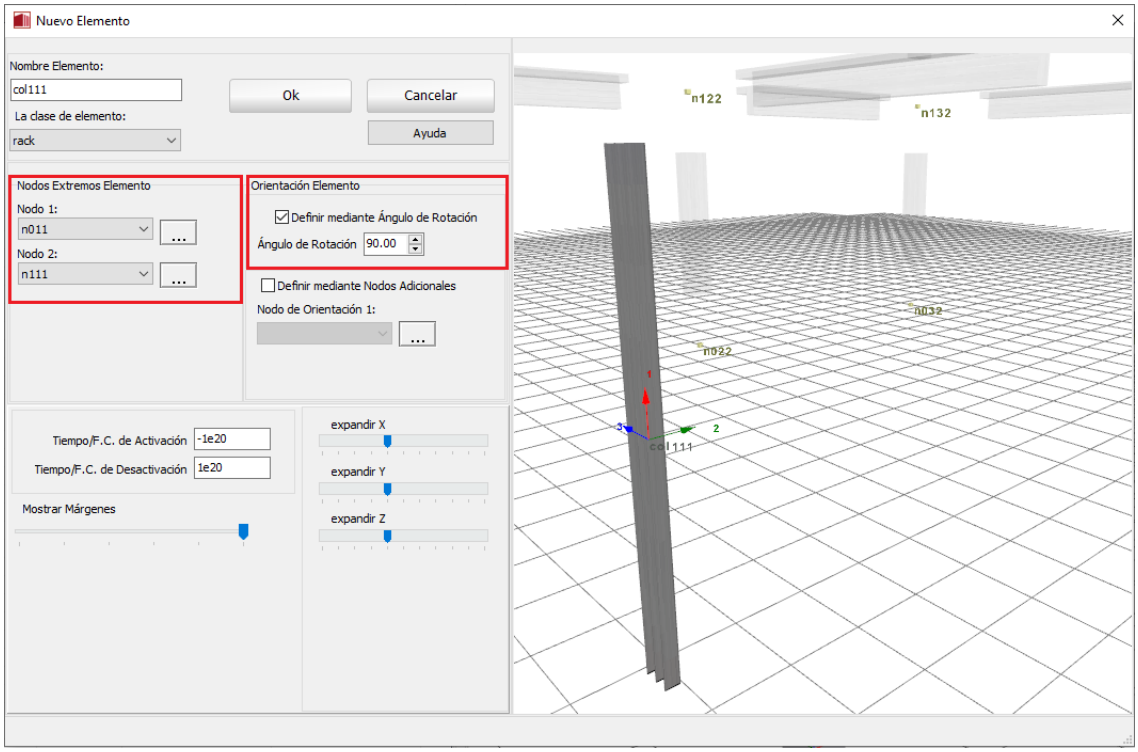


Longitudes de Extremos Rígidos

Elementos Rack - rack & rackH

Para estos tipos de elementos es necesario definir dos nodos que representan los extremos del elemento, definiendo así su longitud, posición en el espacio y dirección (eje local 1). Un ángulo de rotación o un tercer nodo se requiere para definir la orientación de la sección del elemento (ejes locales 2 y 3), como se describe en el sistema de ejes global y local.

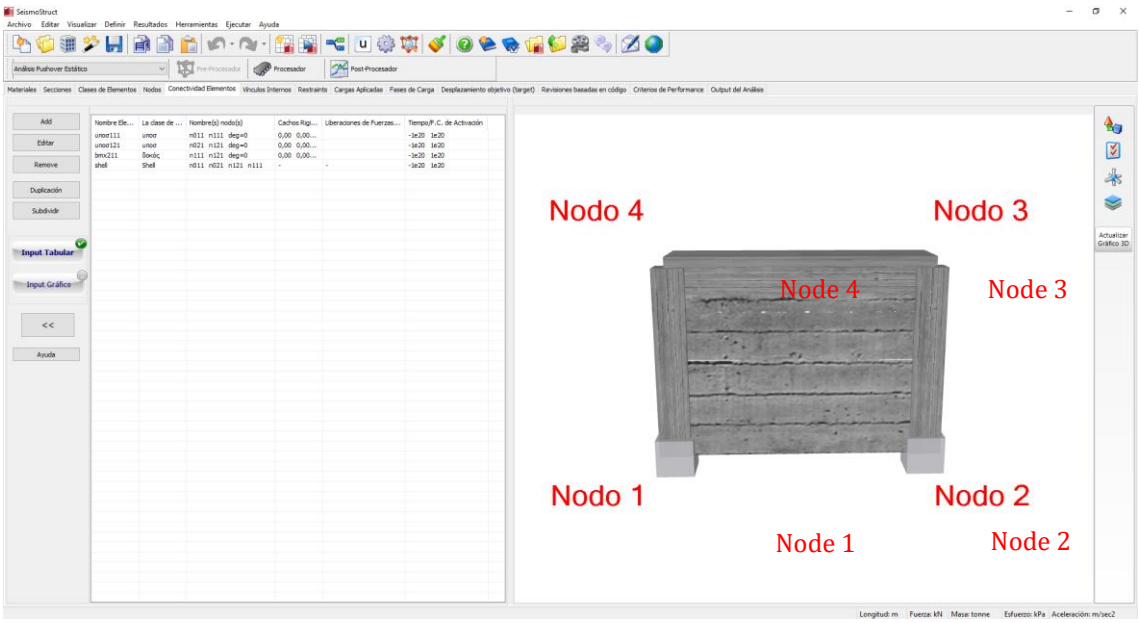




Editar Elemento

Elemento Shell - shell4

Para este tipo de elemento es necesario definir cuatro nodos. Éstos corresponden a las esquinas del elemento shell, deben introducirse en sentido contrareloj empezando por la esquina inferior izquierda y deben pertenecer todos al mismo plano.

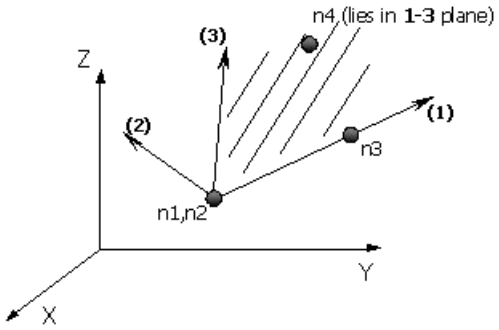


Módulo Connectividad Elementos – Elemento Shell4

Elementos link - linlink,NLlink, ssilink1 & ssilink2, isolator1 & isolator2

Para este tipo de elementos es necesario definir cuatro nodos. Los dos primeros son los nodos extremos del elemento y deben ser inicialmente coincidentes, ya que todos los elementos link poseen una longitud inicial igual a cero. Esta última condición implica también que un tercer nodo es requerido para definir el eje local (1), observando que la orientación de este eje luego de la deformación es determinada por su orientación inicial y la rotación global del primer nodo del elemento. El cuarto nodo es utilizado para definir los ejes locales (2) y (3), siguiendo la convención descrita en Sistemas de Ejes Globales y Locales.

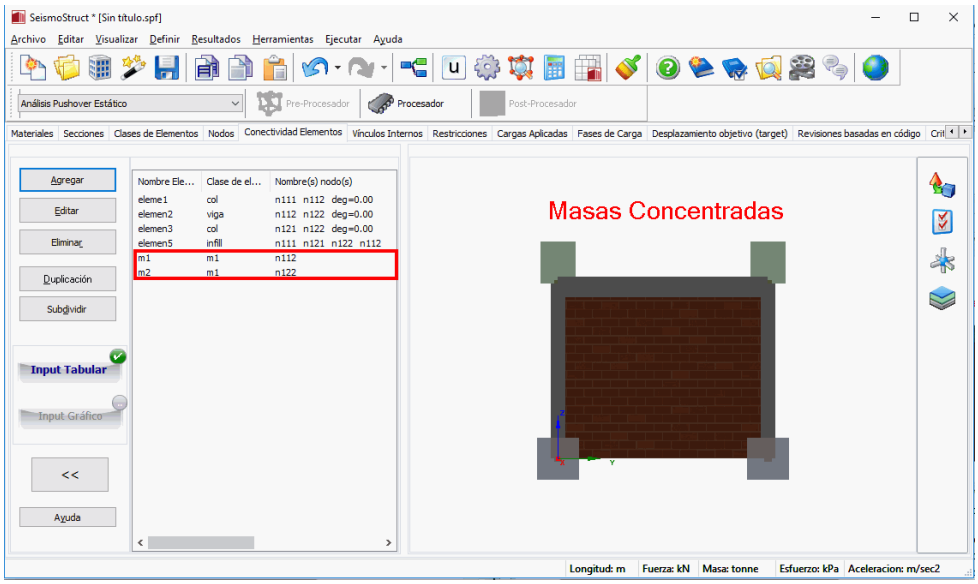
NOTA 1: En vez de definir un tercer u cuarto nodo, los usuarios puede simplemente utilizar la palabra 'predeterminado', la cual implica que el eje local 1 va a lo largo del eje global X y que el eje local 3 va a lo largo del eje global Z.



NOTA 2: Se recomienda a los usuarios hacer uso de nodos no estructurales para la definición del tercer y cuarto nodo del elemento.

Elemento masa concentrada - lmass

Para este tipo de elementos es necesario definir sólo un nodo.



Módulo Conectividad de Elementos – Elemento masa concentrada

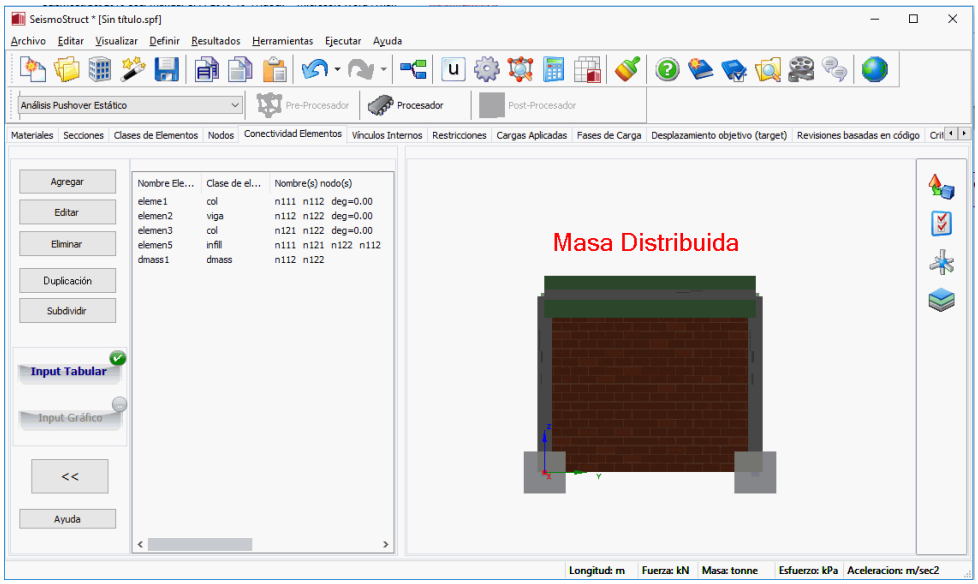
Para este tipo de elementos es necesario definir sólo un nodo. En edificios aporticados sujetos a excitación horizontal, es habitual asignar una masa concentrada a cada conexión viga-columna, aunque

un elemento masa por piso suele brindar la precisión necesaria para la mayoría de las aplicaciones (en las que la excitación vertical y la deformación axial de las vigas sean despreciables).

En el modelado de puentes, por otra parte, es frecuente concentrar la masa de inercia del tablero en los nodos de intersección de éste con las pilas, a menos que sea necesario utilizar un enfoque más riguroso [por ej., Casarotti and Pinho, 2006].

Elemento masa distribuida - dmass

Para este tipo de elementos es necesario definir dos nodos, habitualmente correspondientes a los extremos de miembros estructurales (es decir, un elemento *dmass* por cada columna, viga, etc.), a menos que se prevean desplazamientos muy grandes, en cuyo caso deben utilizarse dos o más elementos de masa distribuida por cada miembro.



Módulo Conectividad de Elementos – Elemento masa distribuida

Elementos disipador viscoso (dashpot) – dashpt & NLdashpt

Para este tipo de elementos es necesario definir sólo un nodo (se asume que el segundo nodo del disipador se encuentra fijo en el suelo).

Vínculos Internos

Las diversas condiciones de vínculo internas de la estructura son definidas en el módulo **Vínculos Internos**, en el cual se especifican el tipo de vínculo, el nodo maestro asociado, los GDLs restringidos y los nodos esclavos.

En SeismoStruct hay disponibles tres tipos de **vínculos internos**, que son:

- Vínculo rígido
- Diafragma rígido
- GDL enlazado

Al igual que en todos los módulos, es posible agregar nuevas condiciones (también en el modo de *Input Gráfico*) y eliminar/editar condiciones existentes (ver capítulo

INSERCIÓN DE MIEMBROS DE LA CIMENTACIÓN

La cimentación de la superestructura se puede modelar introduciendo zapatas, vigas de conexión y zapatas corridas. Para activar la capacidad de insertar elementos de cimentación, los usuarios deben seleccionar trabajar en el modo de Cimentación en lugar del modo de superestructura. Cuando se

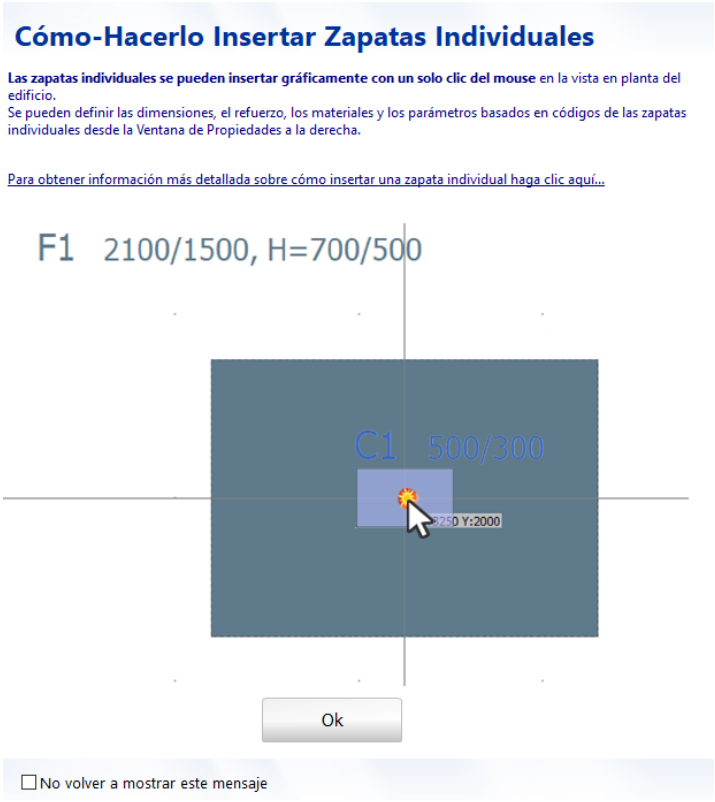
trabaja en el modo de cimentación, los miembros verticales de la superestructura (es decir, columnas, muros, etc.) están visibles para que el usuario pueda definir su cimentación.

Zapatas Individuales

Las Zapatas Individuales se pueden insertar haciendo clic en el botón  de la barra de herramientas correspondiente. Aparecerá la ventana de propiedades de las Zapatas Individuales, donde se pueden definir explícitamente las siguientes propiedades:

(i) Geometría, es decir, las dimensiones (alto y ancho)
(ii) Materiales
(iii) Carga
(iv) Modelado avanzado, que incluye las propiedades avanzadas de los miembros y los parámetros de modelado

Las Zapatas Individuales se pueden insertar en el proyecto con un solo clic del mouse siempre que una columna ya insertada esté completamente encerrada por la zapata individual en la posición donde se introduce la Zapata Individual.
Una vez que se selecciona el comando Insertar una Zapata Individual, aparece un mensaje informativo que brinda información breve sobre cómo insertar una Zapata Individual.



Ventana de Cómo insertar Zapatas Indviduales

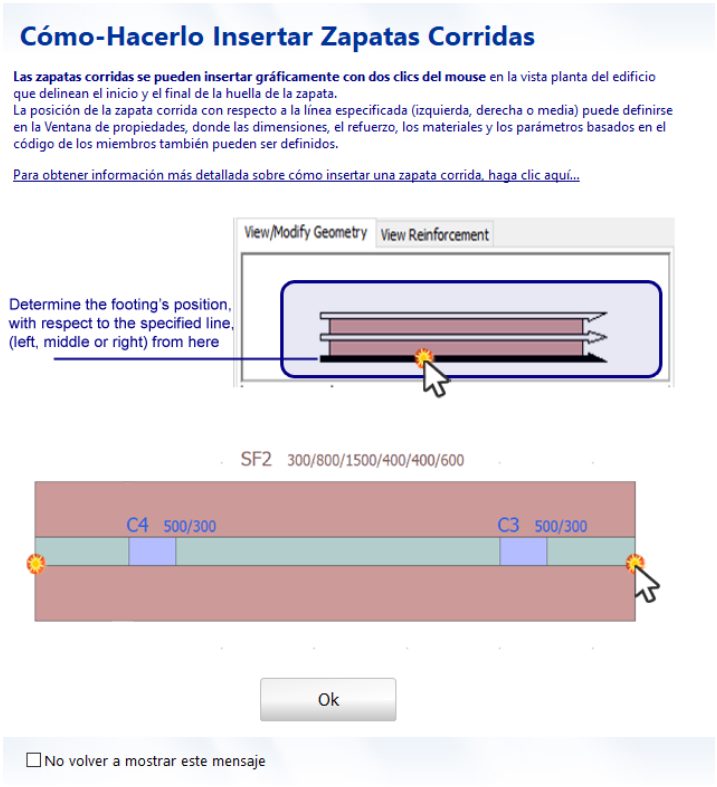
Para obtener una descripción completa sobre las inserciones de Zapatas Individuales en el Modelador de Edificios, consulte el Apéndice D: Inserción de miembros estructurales.

Zapatas Corridas

Las Zapatas Corridas se pueden insertar haciendo clic en el botón  de la barra de herramientas correspondiente. Aparecerá la ventana de propiedades de las Zapatas Corridas, donde se pueden definir explícitamente las siguientes propiedades:

(i) Geometría, es decir, las dimensiones (alto y ancho)
(ii) Materiales
(iii) Carga
(iv) Modelado avanzado, que incluye las propiedades avanzadas de los miembros y los parámetros de modelado

Las Zapatas Corridas se pueden insertar en el proyecto con dos clics del mouse siempre que una columna ya insertada esté completamente encerrada por la zapata corrida.
Una vez que se selecciona el comando Insertar una Zapata Corrida, aparece un mensaje informativo que brinda información breve sobre cómo insertar una Zapata Corrida.



Ventana de Cómo insertar una Zapata Corrida

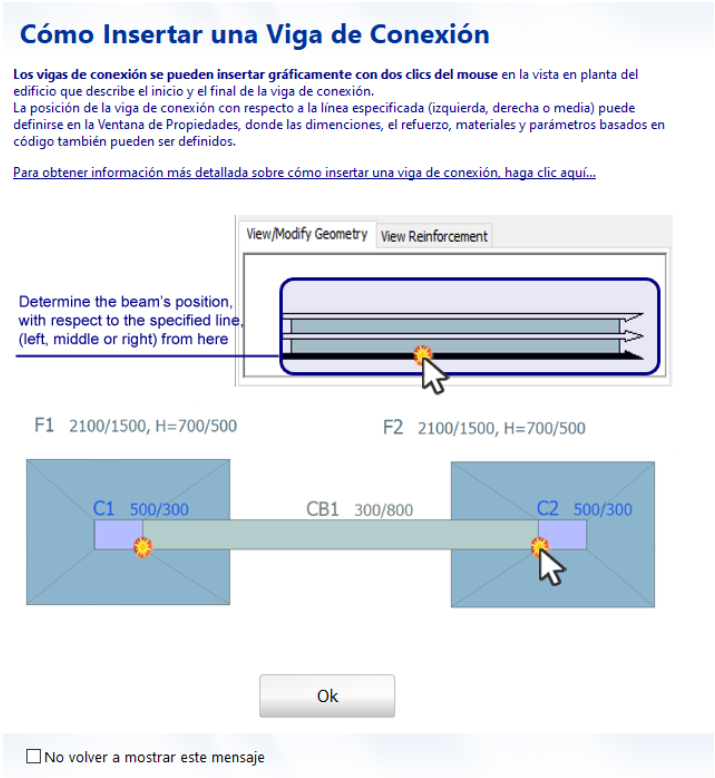
Para obtener una descripción completa sobre las inserciones de Zapatas Corridas en el Modelador de Edificios, consulte el Apéndice D: Inserción de miembros estructurales.

Vigas de Connexión

Las Vigas de Connexión se pueden insertar haciendo clic en el botón  de la barra de herramientas correspondiente. Aparecerá la ventana de propiedades de las Zapatas Corridas, donde se pueden definir explícitamente las siguientes propiedades:

(i) Geometría, es decir, las dimensiones (alto y ancho)
(ii) Materiales
(iii) Carga
(iv) Modelado avanzado, que incluye las propiedades avanzadas de los miembros y los parámetros de modelado

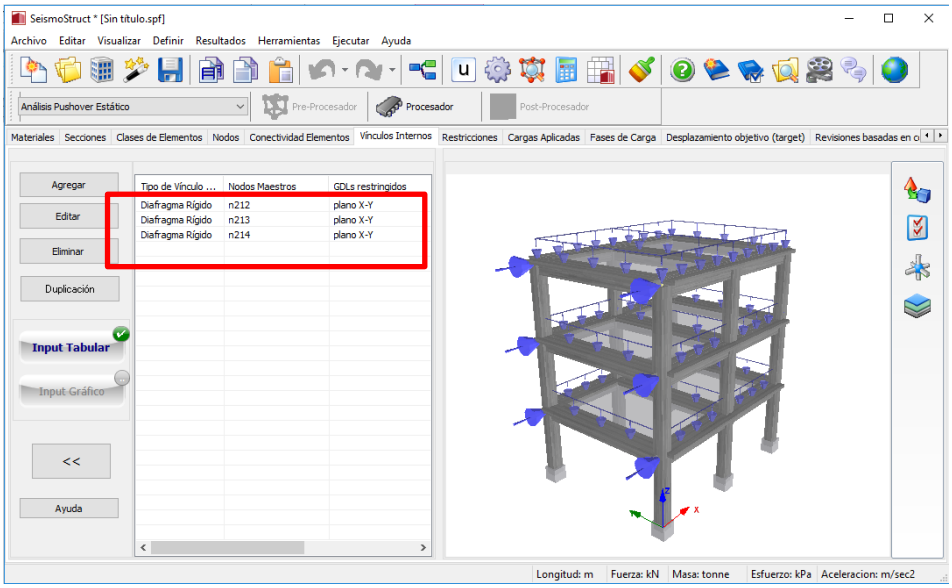
Las Vigas de Connexión se pueden insertar en el proyecto con dos clics del mouse.
Una vez que se selecciona el comando Insertar una Viga de Connexión, aparece un mensaje informativo que brinda información breve sobre cómo insertar una Viga de Connexión.



Ventana de Cómo insertar una Viga de Connexión

Para obtener una descripción completa sobre las inserciones de Vigas de Connexión en el Modelador de Edificios, consulte el Apéndice D: Inserción de miembros estructurales.

Editando Miembros Estructurales).



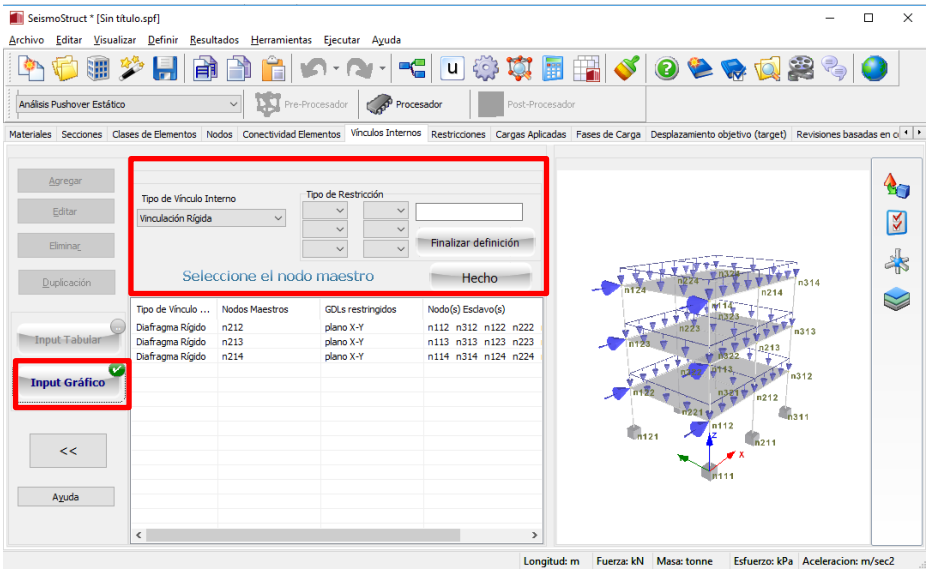
Módulo Vínculos Internos

Para agregar una nueva restricción en el modo *Input Tabular*, el usuario debe seguir los siguientes pasos:

1. Hacer clic sobre el botón *Agregar*;
2. Seleccionar el tipo de restricción en el menú desplegable;
3. Seleccionar los GDLs a restringir en el/los menú/es desplegable/s;
4. Seleccionar el nodo maestro en el menú desplegable;
5. Seleccionar el/los nodo/s esclavo/s marcando la/s casilla/s correspondiente/s.

De lo contrario, para agregar la nueva restricción en el modo *Input Gráfico*, el usuario debe:

1. Hacer clic sobre el botón *Input Gráfico*;
2. Seleccionar el tipo de restricción en el menú desplegable;
3. Seleccionar los GDLs a restringir en el/los menú/es desplegable/s;
4. Seleccionar el nodo maestro haciendo doble-clic sobre el mismo;
5. Seleccionar el/los nodo/s esclavo/s haciendo doble-clic sobre el/los mismo/s;
6. Hacer clic sobre el botón *Finalizar definición Vínculos Internos* para concluir.



Agregar Nueva Restricción Interna de Vínculo (modo Input Gráfico)

La herramienta *Duplicación* también se encuentra disponible. Al igual que para con los elementos, la misma permite la generación automática de nuevas condiciones de vínculo mediante la "repetición" de condiciones existentes.Funciona en forma muy similar a la generación automática de elementos, con la diferencia de que, aquí, sólo son incrementados los nombres de los nodos (maestro y esclavos). Esta herramienta obviamente requiere que los nombres de los nodos sigan un formato numérico (por ej. 111) o alfa-numérico (por ej.n111).

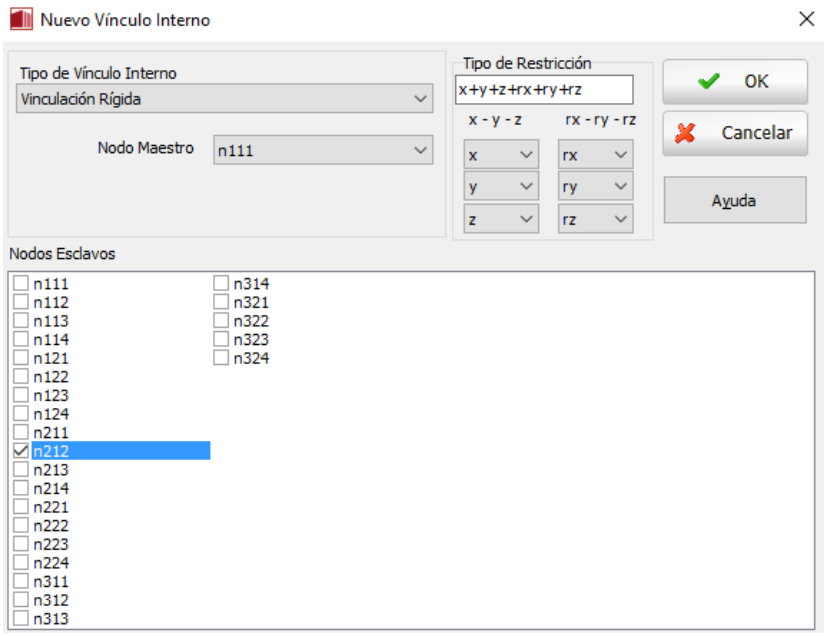
NOTA 1: La aplicación de cargas de desplazamiento sobre nodos vinculados internamente para desplazarse en conjunto puede conllevar problemas de convergencia (dado que los desplazamientos aplicados pueden ser opuestos al vínculo). De entre los numerosos escenarios posibles, esto resulta particularmente relevante al llevar a cabo un análisis de pushover adaptativo basado en desplazamientos en un modelo 3D con cargas de desplazamiento distribuidas por todo el piso (en estos casos, el diafragma rígido debe ser eliminado o las cargas de desplazamiento deben ser aplicadas sólo en los lados del piso).

NOTA 2: Debe notarse que cuando sólo dos nodos están vinculados entre sí, no hay diferencia entre el nodo maestro y el nodo esclavo desde el punto de vista de la programación de Elementos Finitos: ambos son, simplemente, nodos vinculados entre sí. Por mayores detalles respecto a este tema, por favor referirse a la bibliografía [por ej., Cook et al., 1989; Felippa, 2004].

A continuación se brinda una breve descripción de cada una de los vínculos internos disponibles.

Vínculo Rígido

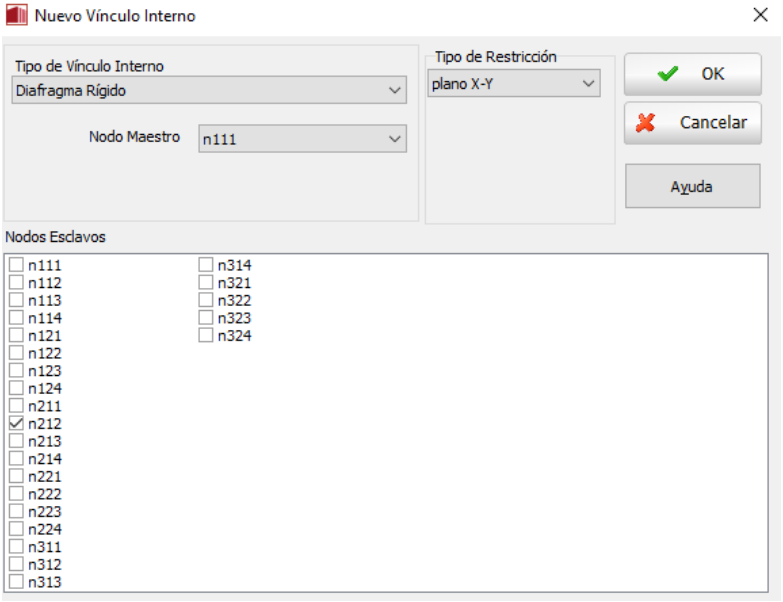
Restringe ciertos grados de libertad de los nodos esclavos al nodo maestro, mediante un vínculo rígido. En otras palabras, las rotaciones del nodo esclavo son iguales a las rotaciones del nodo maestro, mientras que las traslaciones del primero son calculadas asumiendo un brazo de palanca rígido con el último. Para este tipo de vínculo deben definirse el nodo maestro y los nodos esclavos, así como también los grados de libertad a vincular.



Agregar Nuevo Vínculo Rígido (modo Input Tabular)

Diafragma Rígido

Restringe ciertos grados de libertad de los nodos esclavos al nodo maestro, mediante el uso de planos rígidos (es decir, todos los nodos restringidos rotarán/se desplazarán en un plano dado, manteniendo invariable su posición relativa, como si se encontraran conectados mediante brazos de palanca rígidos). Al igual que para el caso anterior, deben definirse los nodos esclavos y el nodo maestro, siendo este último habitualmente el baricentro del diafragma. Además, deben asignarse también las condiciones de vínculo, en términos de conexiones de plano rígido (planos X-Y, X-Z e Y-Z).



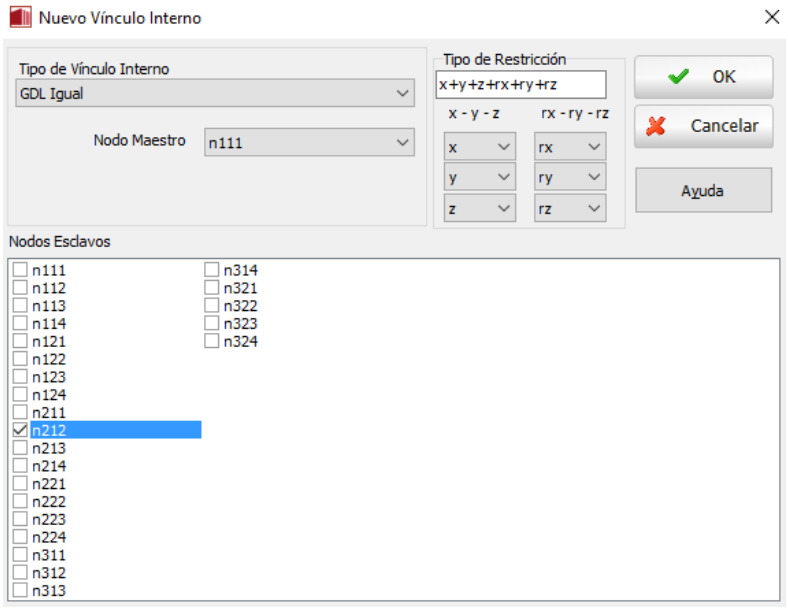
Agregar Nuevo Diafragma Rígido (modo Input Tabular)

NOTA 1: En general, la ubicación del nodo maestro de un diafragma rígido debería corresponder al centro de masa de cada piso (debe notarse que la ubicación de los nodos maestros en los diafragmas rígidos de modelos 3D creados con el Asistente es meramente demostrativa y no necesariamente correcta).

NOTA 2: Debe notarse que la vinculación de todos los nodos de un piso dado mediante un diafragma rígido puede generar una rigidización/sobre-resistencia artificial en las vigas, ya que éstas ven impedida su deformación axial (se recuerda que los elementos de fibras no lineales no restringidos sometidos a flexión se deformarán axialmente dado que el eje neutro no se encontrará en el baricentro de la sección). Por lo tanto, se recomienda a los usuarios utilizar los Diafragmas Rígidos con precaución, seleccionando atentamente los nodos a vincular.

GDL Enlazado

Restringe ciertos grados de libertad de los nodos esclavos al nodo maestro. A diferencia del Vínculo Rígido, aquí todos los GDLs vinculados (rotaciones y traslaciones) del nodo maestro y los nodos esclavos presentan exactamente el mismo valor (es decir, no se asume un brazo de palanca rígido entre ellos). Para este tipo de vínculo deben definirse el nodo maestro y los nodos esclavos, así como también los grados de libertad a vincular.



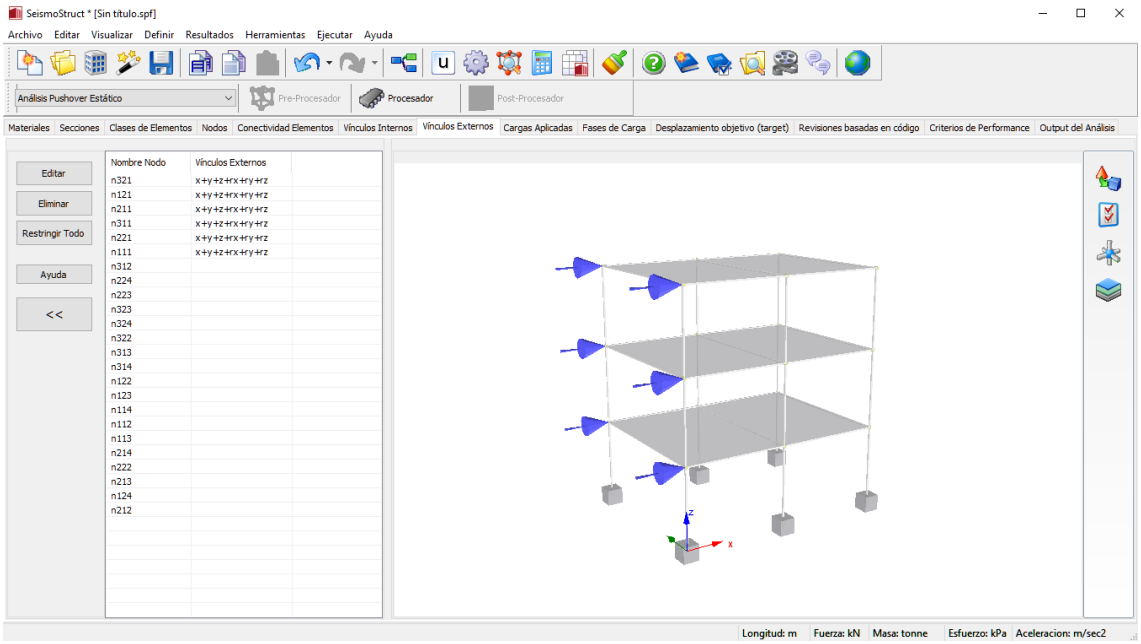
Agregar Nuevo GDL Enlazado (modo Input Tabular)

NOTA: En versiones anteriores de SeismoStruct, elementos tipo link caracterizados por una curva de respuesta lin_sym eran típicamente empleados para modelar uniones articuladas (con rigidez nula) y/o vínculos internos. Sin embargo, es posible utilizar ahora la herramienta GDL Enlazado para el mismo fin; por ejemplo, una articulación puede ser modelada introduciendo una restricción "GDL enlazado" definida sólo para los grados de libertad traslacionales.

Vínculos Externos

Las condiciones de borde de un modelo son definidas en el módulo **Vínculos Externos**, en el cual todos los nodos estructurales se encuentran enumerados y pueden ser restringidos en cualquiera de los seis grados de libertad.

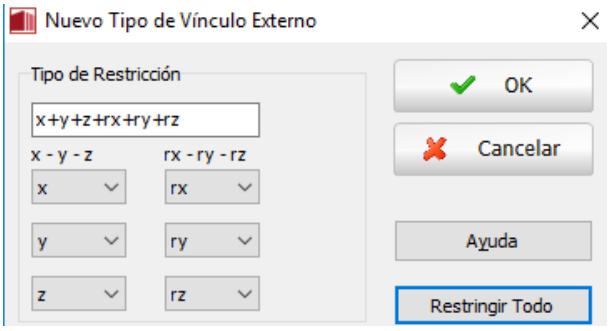
IMPORTANTE: En este módulo no es posible utilizar los comandos Copiar ni Pegar.



Módulo Vínculos Externos

Al llevar a cabo análisis en 2D, puede resultar útil restringir todos los grados de libertad fuera del plano, con el fin de minimizar el tiempo de ejecución. Por lo tanto, y como ejemplo, para un modelo definido y con respuesta en el plano x-z (los modelos en 2D creados con el *Asistente* son definidos en este plano), todos los nodos deben poseer condiciones de vínculo del tipo y+rx+rz. Debe notarse que, para este tipo de situación bastante habitual (y=0, y restricciones en y+rx+rz para todos los nodos), los vínculos y+rx+rz no son mostrados en el gráfico 3D, para mayor claridad.

El modelado de la flexibilidad en las fundaciones puede ser llevado a cabo mediante el uso de elementos link, cuyo primer nodo estructural se encuentra restringido en todas las direcciones (x+y+z+rx+ry+rz), mientras que el segundo se encuentra conectado a la estructura. Cualquiera de las curvas de respuesta disponibles puede ser utilizada para modelar la respuesta elástica o inelástica del suelo en cada uno de los seis grados de libertad.



Editar Restricción Externa de Vínculo

NOTA: Con el fin de modelar la longitud de penetración de fluencia ("yield penetration") en la base, cuando exista, resulta suficiente incrementar adecuadamente la longitud del elemento columna correspondiente. Por mayores indicaciones respecto al cálculo de la longitud de penetración por deformación, consultar la literatura disponible [por ej., Paulay and Priestley, 1992; Priestley et al., 1996].

CARGAS

Una vez definida la **geometría estructural**, es posible definir las cargas que deben aplicarse en la estructura a través del módulo **Condiciones de Carga**. Luego, es necesario especificar varios ajustes adicionales (que varían de acuerdo con el tipo de análisis a realizar) en los siguientes módulos:

- Parámetros de Tsunamis
- Fases de Carga
- Curvas Time-history
- Parámetros Adaptativos
- Parámetros IDA
- Parámetros RSA

NOTA: Evidentemente, estos módulos no se encontrarán disponibles si el análisis de Eigenvalores es seleccionado.

Parámetros de Tsunamis

Con el Análisis No Lineal de Tsunami, los usuarios pueden evaluar la capacidad de una estructura de Cargas de Tsunami en el marco de ASCE 7-16. Las cargas de Tsunami se pueden calcular utilizando las relaciones de ASCE 7-16 o las relaciones propuestas en Foster et al. [2017] mientras que los procedimientos de análisis se resumen en Petrone et al. [2017] y Baiguera et al. [2019]. También se puede encontrar más información sobre el análisis de Tsunami no lineal en el Apéndice B. For the Tsunami Nonlinear Analysis a number of parameters need to be defined and are summarized below:

Método de Cálculo de la Fuerza del Tsunami

El usuario puede seleccionar si la Fuerza Total de Tsunami en cada paso se calculará utilizando

1. **Método deASCE 7-16:**Utilizando la relación 6.1-2 del párrafo 6.10.2.1 de ASCE 7-16 (ASCE 7-16 capítulo 6).

$$F_{dx} = \frac{1}{2}\rho_s I_{tsu} C_d C_{cx} B(hu^2)$$

Donde F_{dx} es la Fuerza Total de Tsunami, I_{tsu} es el Factor de Importancia de Tsunami, $C_d$es el Coeficiente Drag para el edificio (ver Tabla 6.10-1 de ASCE 7-16 Capítulo 6), h es la profundidad de inundación, u es la velocidad de flujo y Ccx es un coeficiente dado por la ecuación 6.10-3 de ASCE 7-16 capítulo 6 y B es el ancho de la estructura afectada por el Tsunami

2. **Método deFoster et al (2017:**Utilizando la ecuación (1) de Petrone et al. [2017] relaciones resumidas en el trabajo de Foster et al. [2017].

$$\text{Para Fr<Fr}_{rc}\text{: } F/B = sgn(u)\ \tfrac{1}{2} C_D \rho_s u^2 h$$

$$\text{Para Fr}\geq\text{Fr}_{rc}\text{: } F/B = sgn(u)\ \lambda \rho_s g^{1/3} u^{4/3} h^{4/3}$$

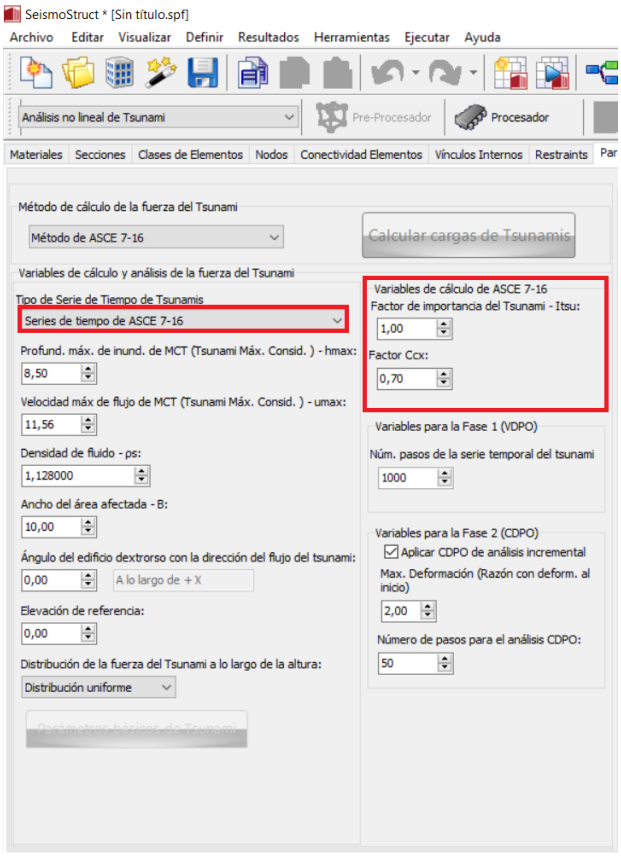
Donde Fr es el número de Froude, F_{rc} es el umbral del número de Froude calculado según las ecuaciones de Petrone et al. [2017], C_d es el Coeficiente de Arrastre, h y u son la profundidad de la inundación y la velocidad del flujo respectivamente, g es la aceleración de la gravedad, B es el ancho del área afectada por el tsunami y λ se calcula utilizando la ecuación. (26) de Foster et al. [2017].

Para cada método, es necesario definir una serie de variables específicas del método, a saber:

Variables para el método ASCE 7-16:

a. Factor de Importancia de Tsunami (I_{tsu}): El Factor de Importancia de Tsunami se toma de acuerdo con el párrafo 6.8.3.2 de ASCE 7-16, Capítulo 6.

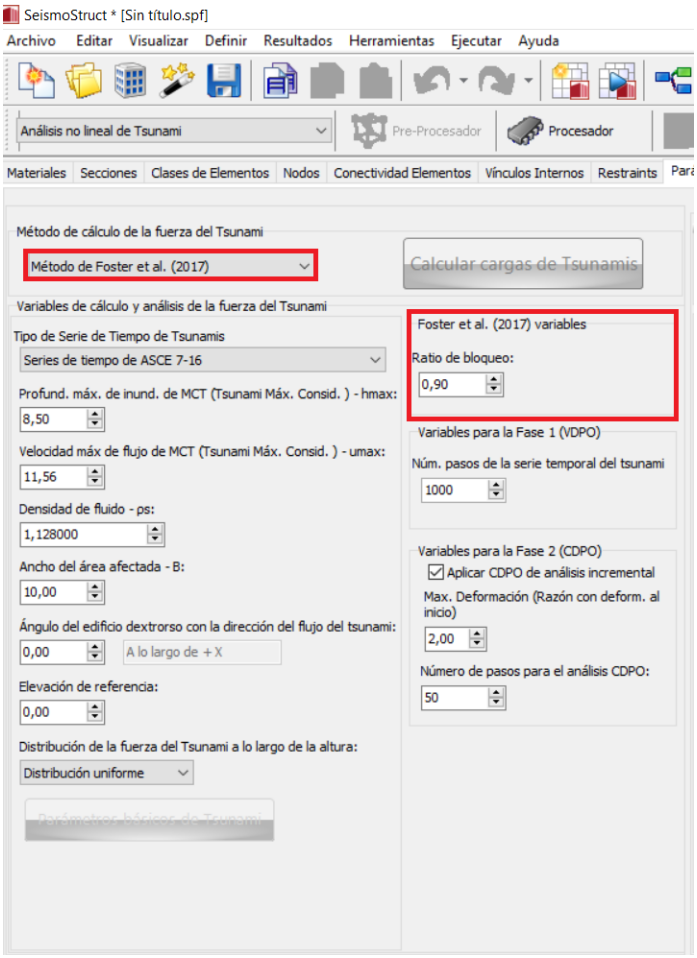
b. El factor C_{cx} calculado de acuerdo con la ecuación 6.10.2 dada en el párrafo 6.10.2.1 del ASCE 7-16 Capítulo 6.



Método de ASCE 7-16 con las variables de cálculo

Variables para el método de Foster et al. (2017):

a. Razón de bloqueo: La razón de bloqueo b/w donde w es el ancho de un canal de flujo de agua y b es el ancho de un obstáculo en el camino del canal, un modelo utilizado en trabajos experimentales sobre modelado de Tsunami [Qi et al., 2014; Foster et al., 2017].



Método de Foster et al. [2017] con las variables de cálculo

Variables de cálculo y análisis para fuerzas de Tsunami

Tipo de serie de tiempo de Tsunami: El usuario puede especificar el tipo de serie de tiempo de profundidad y velocidad que se utilizará para el modelado de Tsunami y el cálculo de la Fuerza Total de Tsunami. El usuario puede elegir entre las siguientes opciones y cada opción necesita que se especifiquen sus propias variables.

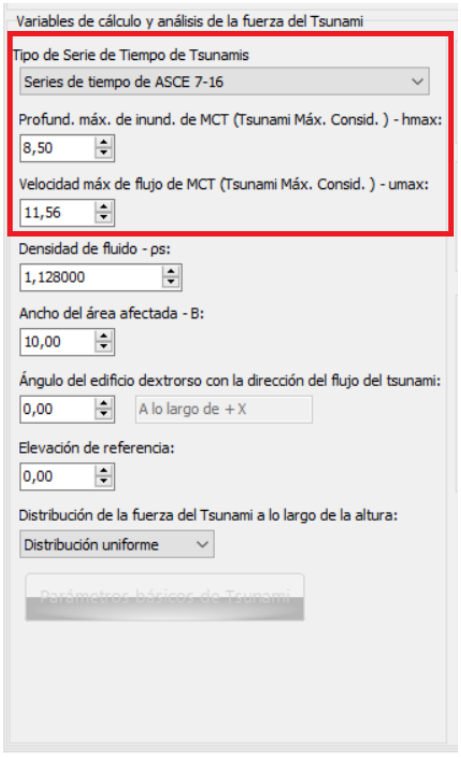
i) Serie de Tiempo de ASCE 7-16: Serie de tiempo de Profundidad y Velocidad de la Figura 6.8-1 del capítulo 6 de ASCE 7-16. Para definir completamente la serie temporallas variables que deben definirse son la profundidad máxima de inundación (hmax) y la velocidad máxima de flujo (umax) del Tsunami Máximo considerado

ii) Serie de tiempo de ASCE 7-16 hasta el Caso de carga número 2: Las series de tiempo de Profundidad y Velocidad de ASCE 7-16 pero hasta el punto del Caso de carga 2 indicado en la Figura 6.8-1 del Capítulo 6 de ASCE 7-16. las variables que deben definirse son nuevamente hmax y umax.

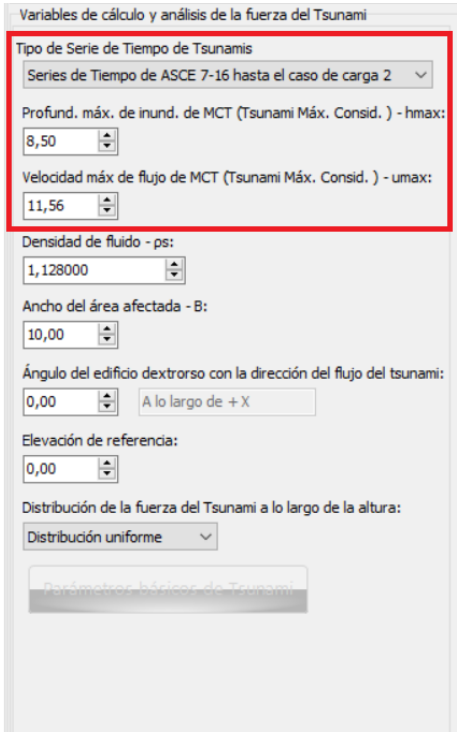
iii) Serie de Tiempo temporal con profundidad variable y número de Froude constante: la profundidad aumenta linealmente desde una profundidad mínima hasta una profundidad máxima, mientras que la velocidad se calcula utilizando un número de Froude constante. Las variables necesarias son la Profundidad Mínima y Máxima y el número de Froude Constante

iv) Serie de Tiempo con profundidad máx. = altura del edificio: esta opción crea la Serie de Tiempo de profundidad y velocidad de ASCE 7-16 hasta el caso de carga número 2 y, después del caso de carga número 2, la profundidad continúa aumentando linealmente hasta que

alcanza la altura del edificio. Es necesario definir hmax y umax para el cálculo de las Series de Tiempo de profundidad y velocidad de ASCE.

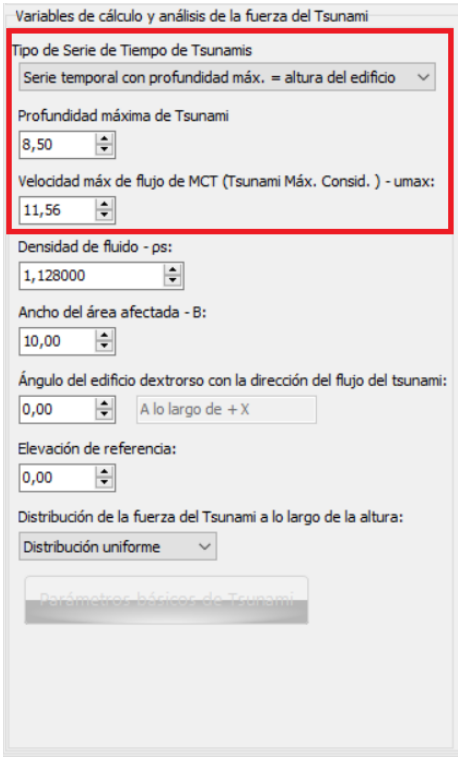


Opción de Serie de Tiempo de ASCE 7-16 con las variables adicionales necesarias



Serie de Tiempo de ASCE 7-16 hasta la opción de Caso de Carga número 2 con las variables adicionales necesarias

Opción de profundidad variable/número de Froude constante con las variables adicionales necesarias



Serie de Tiempo con profundidad máxima = altura del edificio con las variables adicionales necesarias

Densidad de Fluido - ρs

La densidad del fluido considerado para los cálculos de la Fuerza Total del Tsunami, generalmente igual a la densidad del agua de mar.

Ancho del Área Afectada

El ancho total de la estructura afectada por la carga del tsunami. Para obtener más información, se dirige al usuario al capítulo 6 de ASCE 7-16 y Foster et al. 2017.

Ángulo en el sentido dextroso entre el edificio y la dirección del flujo del Tsunami

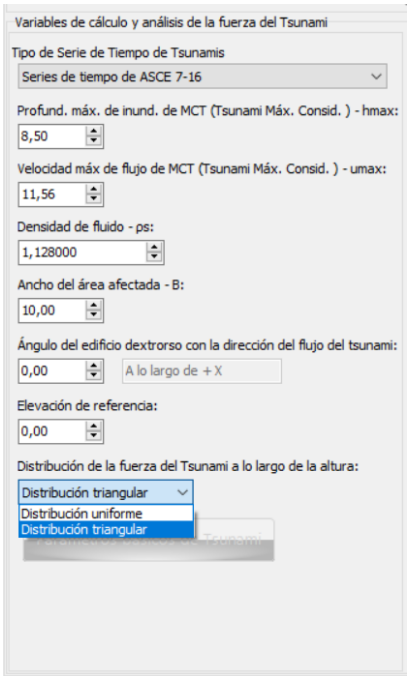
Esta variable define el ángulo en el sentido dextrose entre el flujo del Tsunami y el eje global X de Seismostruct. Un ángulo igual a cero indica que la dirección del flujo del Tsunami está a lo largo del Eje X global.

Elevación de Referencia

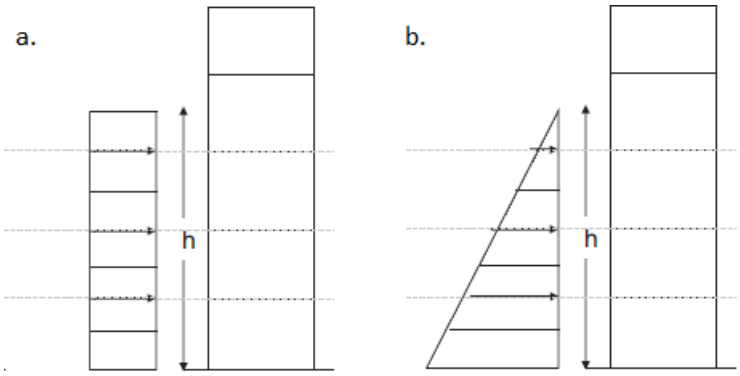
La diferencia de altura entre el punto más bajo del edificio y la profundidad de inundación cero. Un valor cero indica que el punto de profundidad de inundación cero coincide con el nodo más bajo del edificio. Un valor negativo indica que la profundidad de inundación cero del tsunami es menor que el nodo más bajo del edificio y un valor positivo indica que el nodo más bajo del edificio es menor que la profundidad de inundación cero del tsunami.

Distribución de la Fuerza del Tsunami a lo largo de la altura del Edificio

Esta opción define el patrón utilizado para la distribución de la Fuerza Total de Tsunami a lo largo de la altura del edificio. La distribución Uniforme indica que la carga del Tsunami se distribuye uniformemente a lo largo de cada piso afectado por el Tsunami mientras que la distribución Triangular sigue el patrón de distribución (B) indicado en la Figura 9 por Petrone et al. [2017].



Opciones de distribución de la fuerza del Tsunami a lo largo de la altura del edificio



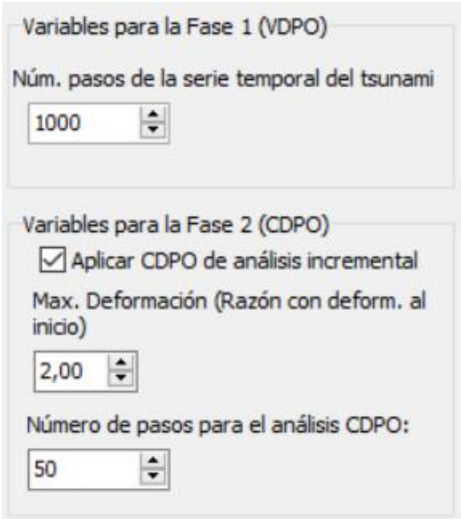
Patrones de distribución de la Fuerza Total de Tsunami a lo largo de la altura del edificio: a. Distribución Uniforme y b. Distribución triangular según Petrone et al. [2017]

Variables para la Fase 1 (VDPO)

La única variable que se definirá para la fase de análisis de VDPO es el número de pasos que se utilizarán para el análisis de VDPO.

Variables para la Fase 2 (CDPO)

Para la fase 2 (CDPO), el usuario debe definir si se realizará o no el análisis CDPO, la razón de deformación máxima alcanzada durante el análisis CPDO (razón entre la deformación del nodo de control al inicio del análisis CDPO), y la número de pasos en los que se va a realizar el análisis CDPO.



Variables a definir para las fases VDPO y CDPO del Análisis de Tsunami

Nodos cargados por el Tsunami

En la tabla con todos los nodos del edificio, el usuario necesita definir qué nodos son cargados por la fuerza del Tsunami. La parte de la fuerza Total Tsunami atribuida a un determinado grupo de nodos con altura idéntica se distribuirá a los nodos seleccionados de ese grupo.

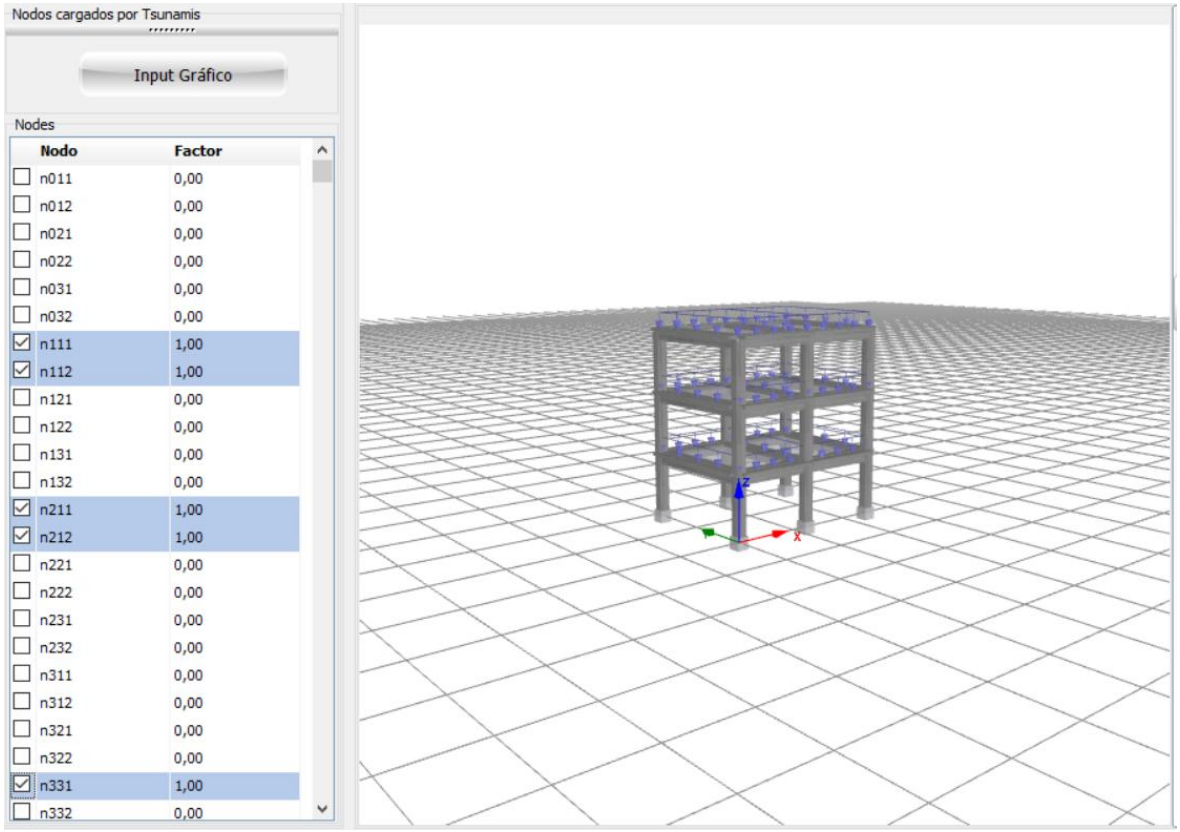
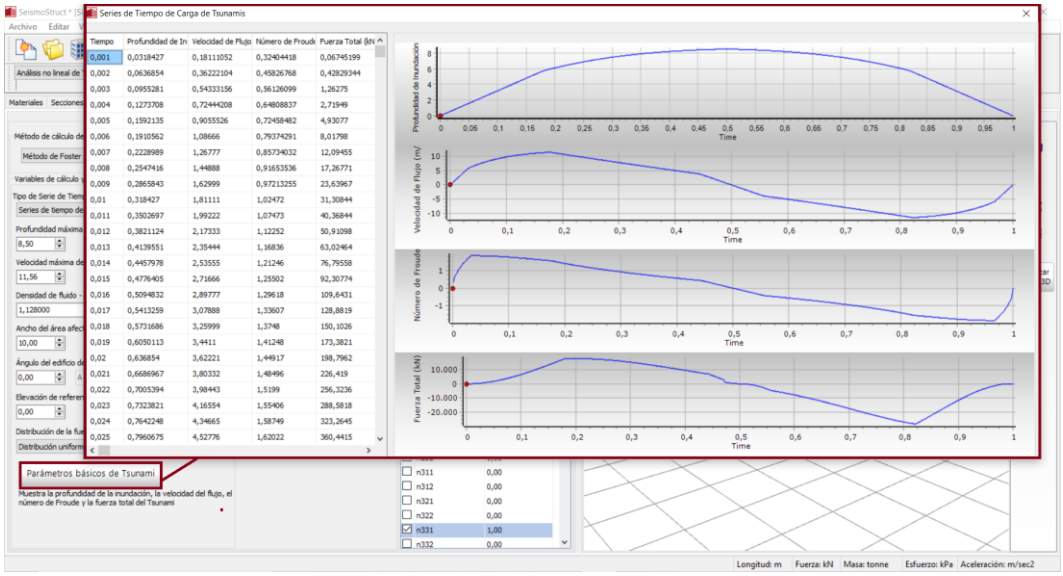


Tabla con los nodos cargados por el Tsunami

Cuando se definen todas las variables, el usuario puede seleccionar el botón "Calcular Carga de Tsunami" y ejecutar el cálculo de la profundidad/velocidad de la inundación y la Serie de Tiempo de la fuerza total del tsunami y distribuir la fuerza total del Tsunami en los nodos cargados.La serie de tiempo de la Fuerza

de Tsunami para la fase de análisis de VDPO se introducirá en la pestaña “Curvas de Historia de Tiempo” y las cargas nodales de tipo Estática Time-History para la fase de análisis de VDPO se introducirán en la pestaña Cargas Aplicadas del programa.

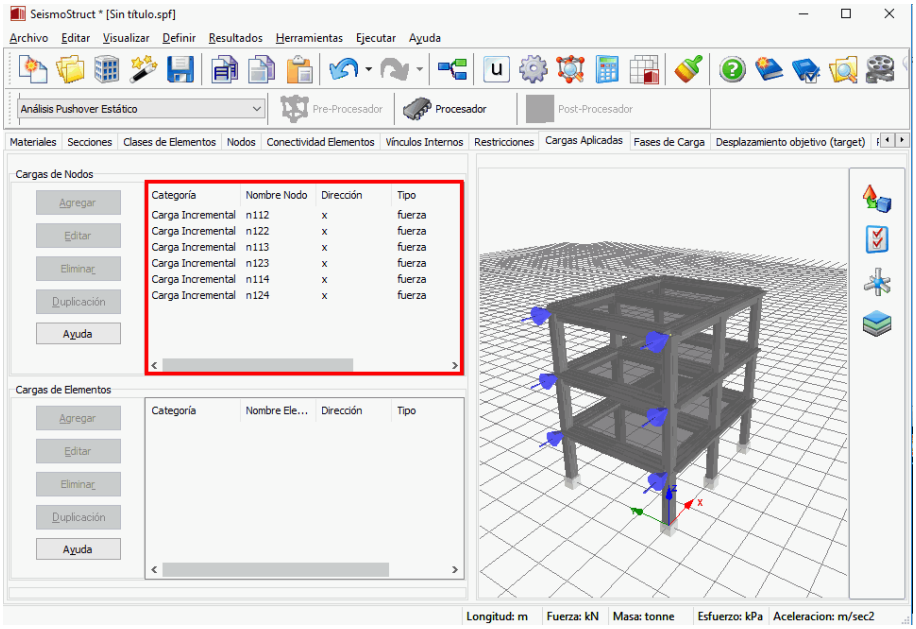
Finalmente, al seleccionar el botón “Parámetros Básicos de Tsunami”, se abrirá una ventana que presenta las historias de Tiempo de los principales parámetros de análisis de tsunami, incluida la profundidad de la inundación, la velocidad del flujo, el número de Froude y la fuerza total del tsunami.



Ventana con Serie de Tiempo básicas de Carga de Tsunami

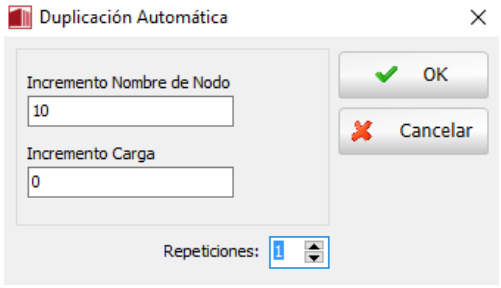
Condiciones de Carga

Existen cuatro *categorías de carga* en SeismoStruct, como se describe a continuación. Éstas pueden ser aplicadas a cualquier modelo estructural, ya sea en forma aislada o combinada, dependiendo del tipo de análisis que se desea realizar. Asimismo, es importante notar que el término "carga" es empleado en SeismoStruct para designar cualquier tipo de acción que pueda aplicarse sobre la estructura, y que puede tratarse de fuerzas, desplazamientos y/o aceleraciones.



Módulo Condiciones de Carga

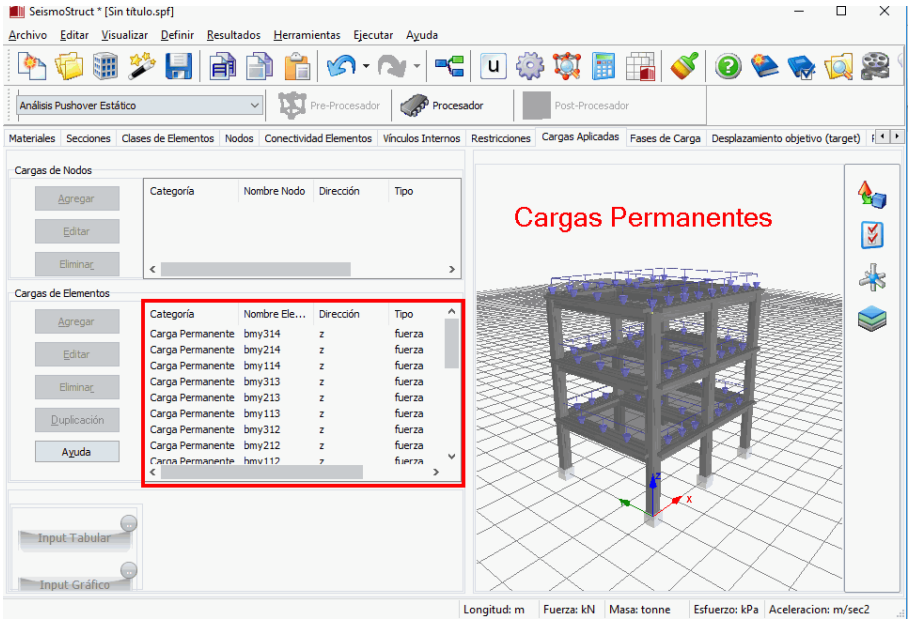
Al igual que en todos los módulos, el usuario puede agregar nuevas cargas y eliminar/editar cargas existentes. Por otra parte, es posible utilizar la opción *Duplicación*, que facilita la especificación de nuevas acciones nodales. Funciona de manera muy similar a la generación automática de nodos; el usuario define el nombre del nodo y el valor de los incrementos de carga, y éstos son utilizados para generar automáticamente nuevas acciones nodales mediante la "repetición" de un grupo seleccionado de cargas ya definidas. Esta herramienta requiere que los nombres de los nodos respeten el formato numérico (por ej., 100) o alfanumérico(por ej., nod20).



Incrementación de Carga

Cargas permanentes (flechas color azul oscuro en imagen del modelo)

Comprenden todas las cargas estáticas que se encuentran aplicadas en forma permanente sobre la estructura. Pueden ser fuerzas (por ej., el peso propio) o desplazamientos prescritos (por ej., asentamiento de las fundaciones) aplicados a los nodos.



Ejemplo de Cargas Permanentes

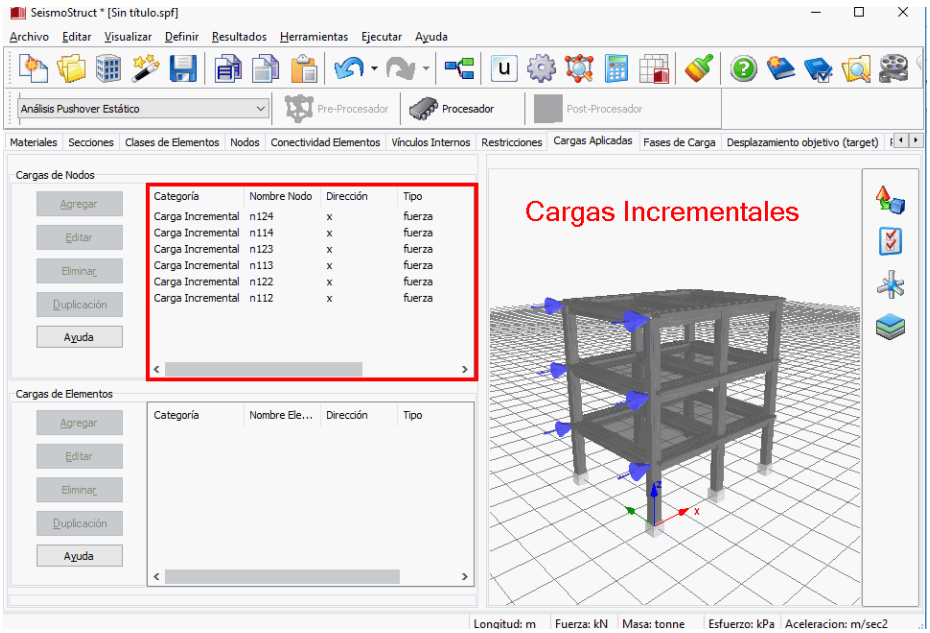
Al ejecutar un análisis, las cargas permanentes son consideradas antes que todo otro tipo de carga y pueden ser utilizadas en todo los tipos de análisis, excepto en el Análisis de Eigenvalores, en el cual no hay cargas presentes.

NOTA 1: Las cargas gravitatorias deben ser aplicadas hacia abajo, por lo cual son siempre representadas con un valor negativo.

NOTA 2: Si la opción *Transformar Automáticamente Masas en Cargas Gravitatorias* del menú *Ajustes > Gravedad & Masas* se encuentra activada, y el modelo posee ya masas (definidas en los módulos materiales, secciones o clases de elementos), el programa calculará y aplicará automáticamente las respectivas cargas permanentes (se nota que, actualmente, las cargas distribuidas son transformadas internamente en fuerzas/momentos puntuales equivalentes, aplicados en los nodos extremos del elemento).

Cargas incrementales (flechas color azul claro en imagen del modelo)

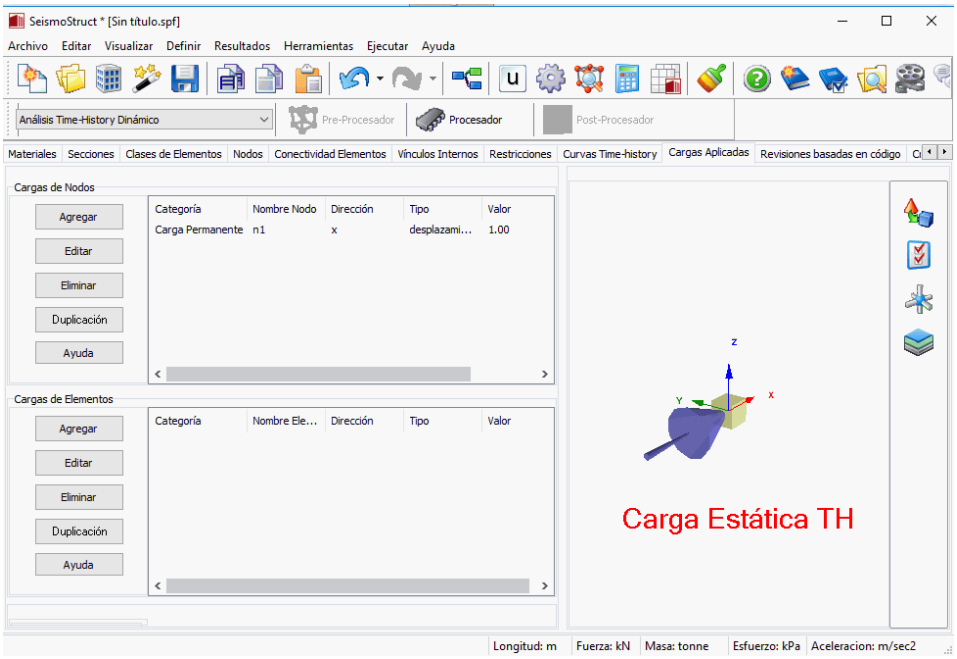
Representan cargas pseudo-estáticas (fuerzas o desplazamientos) que son variadas de forma incremental. La magnitud de la carga en cualquier paso del análisis está dada por el producto de su valor nominal, definido por el usuario, y el factor de carga actual, que puede ser actualizado automáticamente o definido por el usuario. Las cargas incrementales son empleadas exclusivamente en los análisis de tipo pushover, generalmente utilizados para estimar la capacidad resistente horizontal de la estructura. Es posible utilizar perfiles de distribución de carga adaptativos y no adaptativos, aunque la aplicación de desplazamientos en el marco de un pushover adaptativos se distingue claramente como la opción recomendada [por ej., Antoniou and Pinho, 2004b; Pietra *et al.*, 2006; Pinho *et al.*, 2007].



Ejemplo de Cargas Incrementales

Cargas estáticas time-history (flechas color azul claro en imagen del modelo)

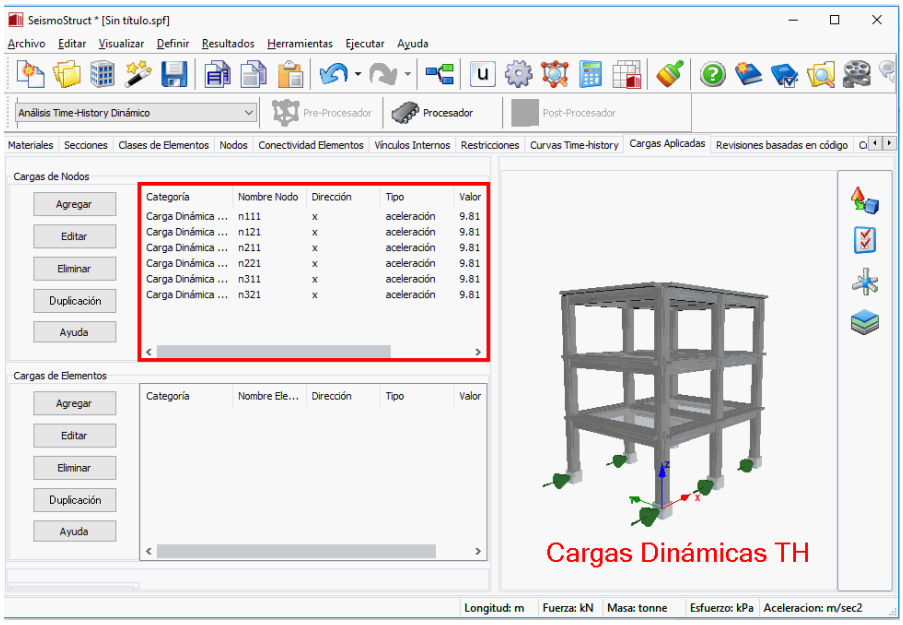
Se trata de cargas estáticas (fuerzas y/o desplazamientos) que varían en el dominio del pseudo-tiempo de acuerdo con curvas de carga definidas por el usuario. La magnitud de la carga en cualquier paso del análisis está dada por el producto de su valor nominal, definido por el usuario, y el factor de carga variable, definido por la curva de carga. Este tipo de cargas es utilizado exclusivamente en análisis estáticos time-history, habitualmente empleados para el modelado de pruebas estáticas sobre estructuras sometidas a varias distribuciones de fuerzas o desplazamientos (por ejemplo, cargas cíclicas).



Ejemplo de Carga Estática Time-history

Cargas dinámicas time-history (flechas color verde en imagen del modelo)

Se trata de cargas dinámicas (aceleraciones o fuerzas) que varían en el tiempo real de acuerdo con diferentes curvas de carga. El producto de su valor nominal constante y del factor de carga variable obtenido de su curva de carga (por ej., acelerograma) en cualquier instante de tiempo proporciona la magnitud de la carga aplicada a la estructura.



Ejemplo de Carga Dinámica Time-history

Este tipo de cargas puede ser utilizado en análisis dinámicos time-history, para reproducir la respuesta de una estructura sometida a un sismo, o en análisis dinámicos incrementales, para evaluar la capacidad resistente horizontal de la estructura.

NOTA 1: La aplicación de desplazamientos prescritos sobre nodos vinculados internamente para desplazarse en conjunto (por ej., a través de un vínculo rígido o similar) puede conllevar problemas de convergencia (dado que los desplazamientos aplicados pueden ser opuestos al vínculo).

NOTA 2: Con la formulación del elemento de pórtico basado en fuerzas es posible modelar explícitamente cargas que actúen a lo largo del miembro y, por lo tanto, evitar la necesidad de que las cargas distribuidas sean transformadas en fuerzas/momentos puntuales equivalentes aplicados en los nodos extremos del elemento (y el consecuente empleo del extenso algoritmo de recuperación de los esfuerzos para recuperar las solicitaciones de los elementos). Sin embargo, esta prestación no ha sido implementada aún en SeismoStruct.

NOTA 3: La resistencia y rigidez de los elementos tipo infill son introducidas luego de la aplicación de las cargas iniciales, de modo que éstos no deban resistir las cargas gravitatorias (que son habitualmente resistidas por la estructura a su alrededor, erigida en una fase constructiva anterior). Si los usuarios desean que los elementos tipo infill resistan cargas gravitatorias, entonces éstas deben ser definidas como cargas no-iniciales.

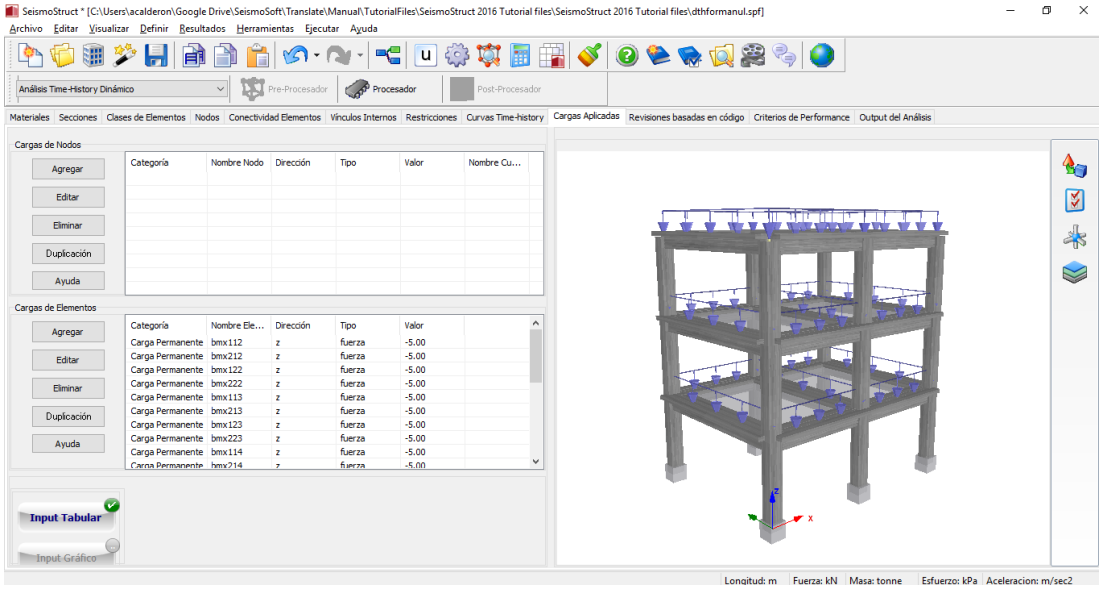
NOTA 4: Durante la evaluación de la capacidad resistente horizontal de estructuras no simétricas, los usuarios deben tener la precaución de considerar la aplicación de las cargas incrementales en ambas direcciones (es decir, ejecutar dos análisis de pushover), para poder identificar la capacidad de la estructura tanto en la dirección "fuerte" como en la "débil".

NOTA 5: Los usuarios que deseen aplicar cargas (incluyendo acelerogramas) con un ángulo de incidencia distinto de 90º, pueden hacerlo mediante la definición de dichas cargas en términos de componentes multi-direccionales (x, y, z).

NOTA 6: Las explosiones pueden producir tres tipos distintos de carga: (i) *air shock wave* (onda de choque aérea), que puede ser considerada como una carga impulsiva, acción dinámica u onda cuasi-estática, dependiendo de sus características, (ii) *presión dinámica* aplicada sobre la estructura debida a la expansión del gas y (iii) *ground shock wave* (onda de choque en el suelo), que comprende tres tipos de ondas de diferentes velocidades y frecuencias, y son: ondas longitudinales (o de compresión), ondas transversales (o de corte) y ondas superficiales [Chege and Matalanga, 2000]. Por lo tanto, para modelar este tipo de acciones es necesario emplear cargas permanentes, cargas estáticas time-history y cargas dinámicas time-history.

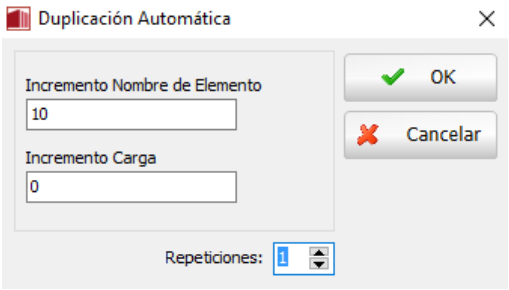
Cargas (distribuidas) en Elementos

Cargas permanentes distribuidas a lo largo de la longitud de los elementos puede introducirse, como se muestra en la siguiente figura. Como se mencionó en la sección de Cargas Nodales, las cargas permanentes pueden usarse en cualquier tipo de análisis y se aplican antes que cualquier otro tipo de carga.

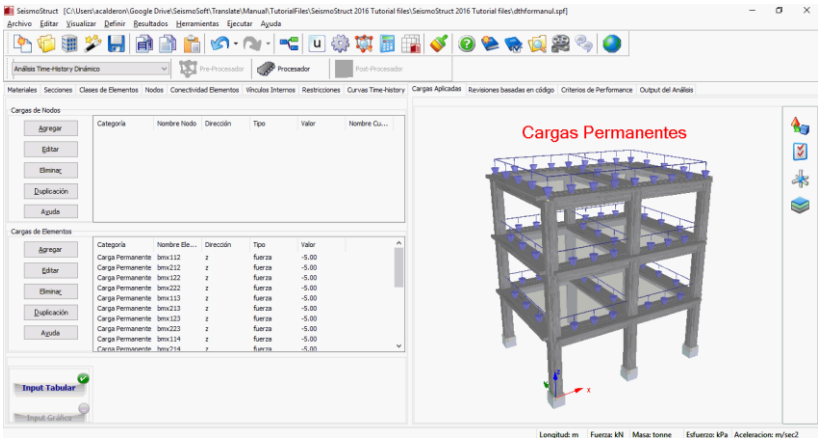


Módulo de Cargas Aplicadas

Como en todos los otros módulos, el usuario es capaz de agregar nuevas cargas y remover/editar las existentes. Adicionalmente, la herramienta de *incrementación* también está disponible, para permitir la generación sencilla de nuevas acciones para los elementos. El usuario define el nombre del elemento y el valor del incremento de la carga, y estos se utilizan para generar automáticamente nuevas cargas a través de la repetición de un set de cargas preseleccionado. Esta herramienta requiere que los nombres de los elementos respeten formatos de número (p.ej. 100) o palabra + número (p. ej. B20).



Incrementación de la Carga



Módulo de Cargas Aplicadas

Fases de Carga

En los análisis de pushover, las cargas aplicadas consisten generalmente de cargas gravitatorias permanentes en la dirección vertical (z) y cargas incrementales en una o ambas direcciones transversales (x e y). Como se menciona en *Apéndice B>Análisis Pushover Estático*, la magnitud de las cargas incrementales P_i en cualquier incremento i está dada por el producto de su valor nominal P_0, definido por el usuario en el módulo *Cargas Aplicadas*, y el factor de carga λ_i en ese incremento:

$$P_i = \lambda_i P_0$$

La forma en la que el factor de carga λ es incrementado a lo largo del análisis o, en otras palabras, la estrategia de carga adoptada en el análisis pushover, se define por completo en el módulo **Fases de Carga**, en el cual un número ilimitado de etapas de carga/soluciones puede ser definido aplicando diferentes combinaciones de los tres tipos distintos de fases de control de pushover disponibles en SeismoStruct, y que son:

- Fase de control de la carga
- Fase de control de la respuesta
- Fase de control automático de la respuesta

Es digno de mencionar que la carga incremental P puede consistir en fuerzas o desplazamientos, permitiendo, por lo tanto, efectuar análisis pushover basados tanto en fuerzas como en desplazamientos. Claramente, para la mayoría de los casos será preferible la aplicación de fuerzas por sobre el uso de cargas de desplazamiento incremental, dado que el forzar la deformación de una estructura en una forma predefinida puede encubrir sus verdaderas características de respuesta (por ej., un piso débil), a menos que se realice un análisis de pushover adaptativo. Por esta razón, la estrategia de carga más común en un análisis de pushover no-adaptativo es el pushover basado en las fuerzas con control de respuesta (por mayores detalles, por favor referirse al capítulo específico).

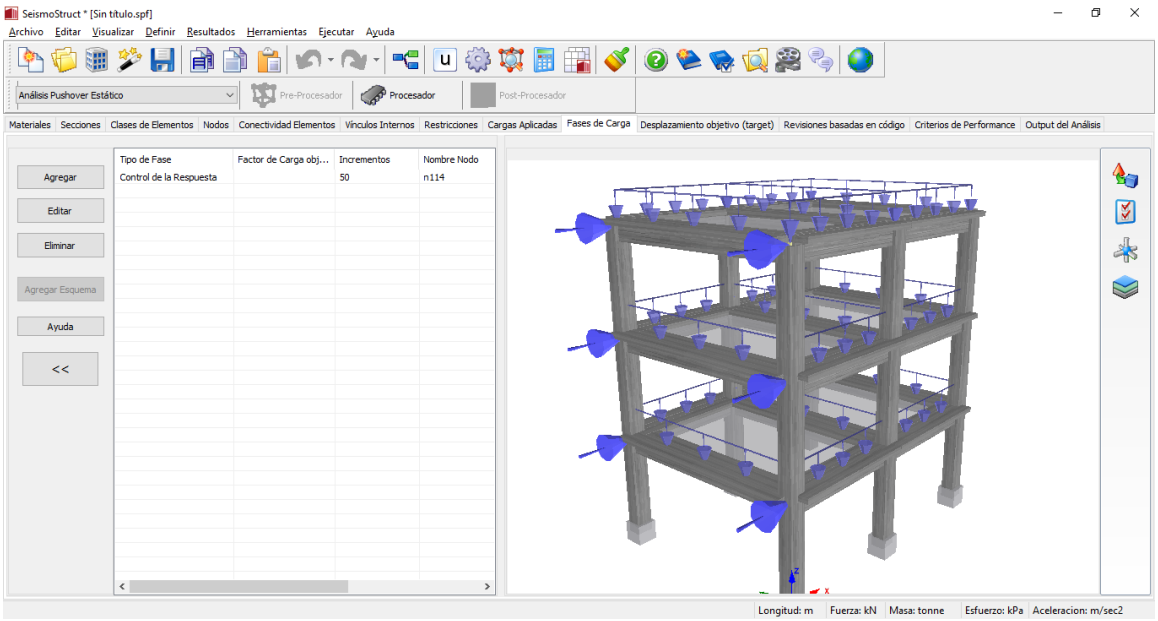
NOTA 1: Los usuarios pueden aprovechar la herramienta *Agregar Esquema* para aplicar esquemas de fases de cargas típicos que funcionan correctamente en la mayoría de los casos. Debe notarse, sin embargo, que para que esta opción esté disponible no se debe haber definido previamente ninguna fase de carga.

NOTA 2: Se destaca una vez más que es posible definir un número ilimitado de estrategias de carga/solución, aplicando distintas combinaciones de los tres tipos de fases de carga disponibles. Por ejemplo, el usuario puede: (a) aplicar las cargas de pushover en dos o más fases de control de carga, utilizando distintas magnitudes del incremento para cada una (por ej., incrementos mayores para la etapa previa a la fluencia, incrementos menores en el rango inelástico); (b) utilizar distintas fases para empujar un modelo 3D, primero en una dirección, luego en la otra, luego nuevamente en la primera, etc.; (c) llevar a cabo análisis de pushover cíclico, empujando la estructura en sentidos opuestos en ciclos sucesivos (sin embargo, la modalidad de Análisis estático time-history resulta más apropiada en estos casos).

NOTA 3: Incluso en los casos en los cuales no existe una carga permanente, puede resultar útil aplicar un vector de carga nulo en algún lugar de la estructura, de forma tal que el paso inicial para cargas permanentes sea llevado a cabo y la curva de pushover sea "forzada" a comenzar desde el origen, lo cual resulta más elegante.

Fase de control de la carga

En este tipo de esquema de carga/solución, el usuario define el multiplicador de carga target (el factor por el cual todas las cargas nominales definidas en el módulo de **Condiciones de Carga** deben ser multiplicadas para obtener las cargas target) y el número de incrementos con el cual el vector de carga target debe ser subdividido para la aplicación incremental.



Ejemplo de Fase de Carga – Control de la Carga

El factor de carga λ, por lo tanto, varía entre 0 y el valor del multiplicador de carga target, con una magnitud inicial del incremento $\Delta\lambda_0$ que es igual a la razón entre el multiplicador de carga target y el número de incrementos. El valor de $\Delta\lambda_0$ es cambiado sólo cuando la solución no converge, en cuyo caso se reduce el factor de incremento de carga hasta que se alcanza la convergencia, luego de lo cual el programa intenta retornar a su valor inicial (por más detalles, ver el capítulo sobre el ajuste automático del incremento). La fase finaliza cuando la carga target es alcanzada o cuando ocurre el colapso estructural o numérico.

Si el usuario ha definido las cargas incrementales en términos de fuerzas, entonces se ejecuta un pushover con control de fuerzas, y el factor de carga es utilizado directamente para escalar el vector de

fuerza aplicado, hasta alcanzar la capacidad máxima. Si el usuario desea también capturar el comportamiento de la estructura luego del pico (softening), debe agregarse una fase de control de la respuesta o fase de control automático de la respuesta a la fase de control de carga (el programa pasará automáticamente de una fase a la otra). Este tipo de estrategia de carga/solución es utilizado cuando el usuario necesita controlar directamente la forma en la cual el vector de fuerzas es incrementado y aplicado sobre la estructura.

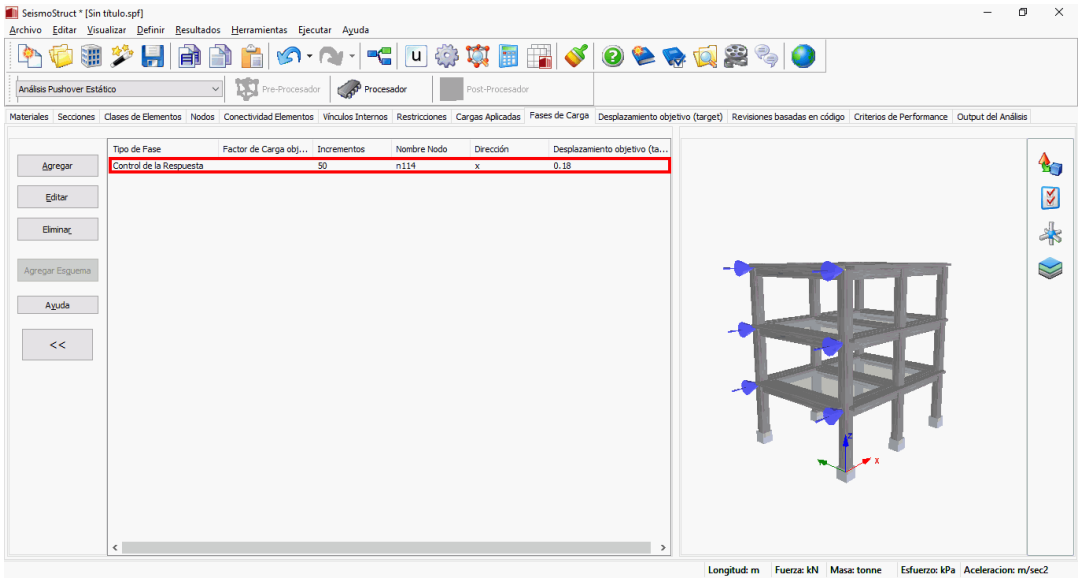
Si, en cambio, el usuario ha definido las cargas en términos de desplazamientos, entonces se ejecuta un pushover con control de desplazamientos, y el vector de desplazamientos se aplica incrementalmente sobre la estructura. Esta estrategia de carga/respuesta es utilizada cuando el usuario desea tener control directo sobre la deformada de la estructura en cada etapa del análisis. Sin embargo, su aplicación no es habitualmente recomendada, dado que limitar la deformación de la estructura con una forma predefinida puede encubrir las verdaderas características de su respuesta (por ej., un piso débil), a menos que se utilice un análisis de pushover adaptativo, más avanzado.

NOTA 1: Cuando se utiliza una fase de control de carga basada en fuerzas (+ una fase de control de la respuesta), la distribución de puntos de la curva fuerza-desplazamiento habitualmente resulta despareja, con una mayor densidad en el tramo previo al pico, durante el cual a incrementos de fuerza relativamente grandes les corresponden incrementos pequeños de desplazamientos, y una menor concentración de puntos en el tramo posterior, donde a variaciones muy pequeñas de las fuerzas les corresponden grandes saltos en las deformaciones. Para solucionar o mitigar este problema, debe utilizarse una fase de control de la respuesta.

NOTA 2: Cuando las cargas incrementales aplicadas son desplazamientos, el programa ajusta automáticamente el valor del primer incremento de forma tal que éste sumado al desplazamiento inducido por las cargas gravitatorias sean iguales al desplazamiento inicialmente previsto para el final del primer incremento. En otras palabras, si el usuario quisiera, por ejemplo, imponer un desplazamiento de piso de 200 mm en 100 incrementos, y las cargas gravitatorias causaran un desplazamiento horizontal de 0.04 mm, entonces los incrementos de carga de desplazamiento serían 1.96, 2.0, 2.0, ..., 2.0. Este ajuste será realizado solamente en los casos donde el desplazamiento inducido por las cargas gravitatorias sea menor que el primer incremento horizontal previsto; de no ser así (por ej., disp_gravt=2.07 en el ejemplo anterior), todos los incrementos de desplazamientos serán idénticos e iguales a (200-2.07)/100=1.9793, claramente una cifra mucho menos elegante.

Fase de control de la respuesta

En este tipo de esquema de carga/solución no se controla el vector de carga, como en el caso de la fase de control de la carga, sino la respuesta de un nodo particular de la estructura. De hecho, al seleccionar una fase de control de la respuesta el usuario debe definir el nodo y grado de libertad correspondiente que debe ser controlado por el algoritmo, junto con el desplazamiento objetivo (target) con el cual debe terminarse el análisis. Asimismo, debe especificar el número de incrementos en el cual el desplazamiento objetivo (target) debe ser subdividido para su aplicación incremental.



Ejemplo de Fase de Carga – Control de la Respuesta

El factor de carga λ, por lo tanto, no es controlado directamente por el usuario sino que es calculado automáticamente por el programa de forma tal que el vector de carga $P_i = \lambda_i P_0$ en un incremento particular i corresponda a la consecución del desplazamiento objetivo del nodo de control en dicho incremento. Cuando la solución no converge, el incremento de desplazamiento inicial es reducido hasta alcanzar la convergencia, luego de lo cual el programa intenta regresar a su valor inicial (por más detalles, ver el capítulo sobre ajuste automático del incremento). La fase finaliza cuando el desplazamiento objetivo (target) es alcanzado o cuando ocurre el colapso estructural o numérico.

Con esta estrategia de carga es posible (i) capturar características irregulares de respuesta (por ej., piso débil), (ii) capturar el tramo de respuesta post-pico (softening) y (iii) obtener una distribución uniforme de puntos en la curva fuerza-desplazamiento. Por estas razones, este tipo de fase de carga/solución constituye, habitualmente, la mejor opción para llevar a cabo análisis de pushover no-adaptativos.

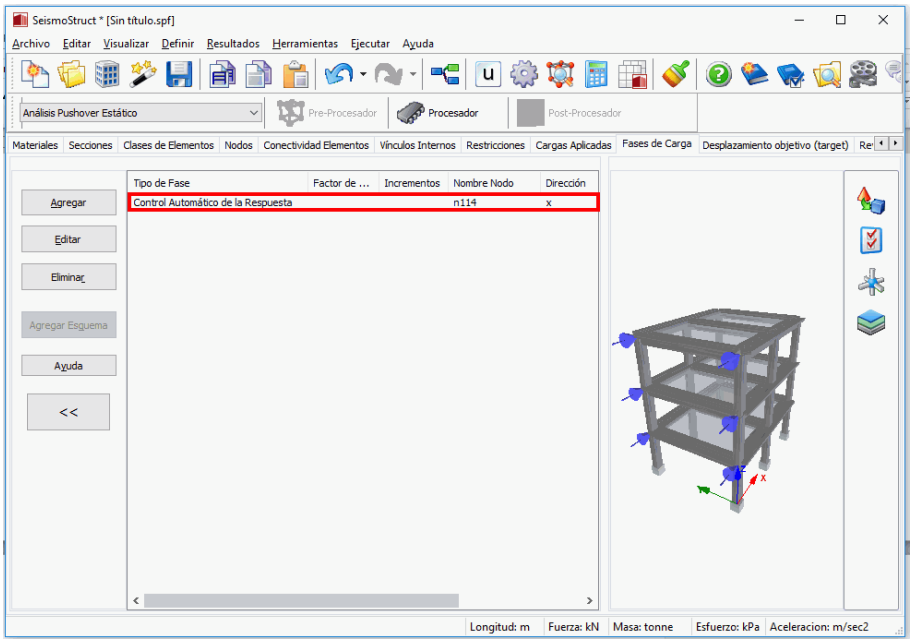
NOTA 1: Es posible también utilizar el Control de la Respuesta junto con cargas incrementales definidas en términos de desplazamientos.

NOTA 2: El Control de la Respuesta no permite modelar respuestas altamente no lineales (los fenómenos de "*snap-back*" y "*snap-through*", Crisfield, 1991) observadas en estructuras sometidas a elevados niveles de deformación capaces de causar un cambio en su mecanismo de deformación y respuesta. Para dichos casos extremos se requiere el uso del Control Automático de la Respuesta.

NOTE 3: El programa ajustará automáticamente el valor del primer incremento de forma tal que éste sumado al desplazamiento inducido por las cargas gravitatorias sean iguales al desplazamiento inicialmente previsto para el final del primer incremento. En otras palabras, si el usuario quisiera, por ejemplo, imponer un desplazamiento de piso de 200 mm en 100 incrementos, y las cargas gravitatorias causaran un desplazamiento horizontal de 0.04 mm, entonces los incrementos de carga de desplazamiento serían 1.96, 2.0, 2.0, ..., 2.0. Este ajuste será realizado solamente en los casos donde el desplazamiento inducido por las cargas gravitatorias sea menor que el primer incremento horizontal previsto; de no ser así (por ej., disp_gravt=2.07 en el ejemplo anterior), todos los incrementos de desplazamientos serán idénticos e iguales a (200-2.07)/100=1.9793, claramente una cifra mucho menos elegante.

Fase de control automático de la respuesta

Este tipo de esquema de carga/resolución, adaptado del trabajo de Trueba [1983] e Izzuddin [1991], difiere del tipo control de la respuesta sólo en el hecho de que es el programa el que selecciona automáticamente el grado de libertad nodal a controlar durante el análisis y el incremento de desplazamiento a aplicar en cada paso, dependiendo de las características de convergencia en cada incremento. Por otra parte, se requiere al usuario que especifique el nodo, grado de libertad y desplazamiento objetivo (target) con el cual el análisis se considerará terminado.



Ejemplo de Fase de Carga – Control Automático de la Respuesta

El programa utiliza el "grado de libertad target" como la primera entidad de control para el análisis, cambiándola cuando otro grado de libertad nodal con una mayor tasa de respuesta traslacional tangencial nominal (es decir, con una mayor variación entre dos incrementos consecutivos) es encontrado. De este modo, resulta posible no sólo predecir con gran precisión respuestas geométricas altamente no lineales (los fenómenos de "*snap-back*" y "*snap-through*", Crisfield, 1991), sino también minimizar el tiempo de resolución, haciendo de este tipo de fase de carga/resolución la opción preferible para obtener estimativos expeditivos y precisos de la capacidad de desplazamiento y resistencia de las estructuras.

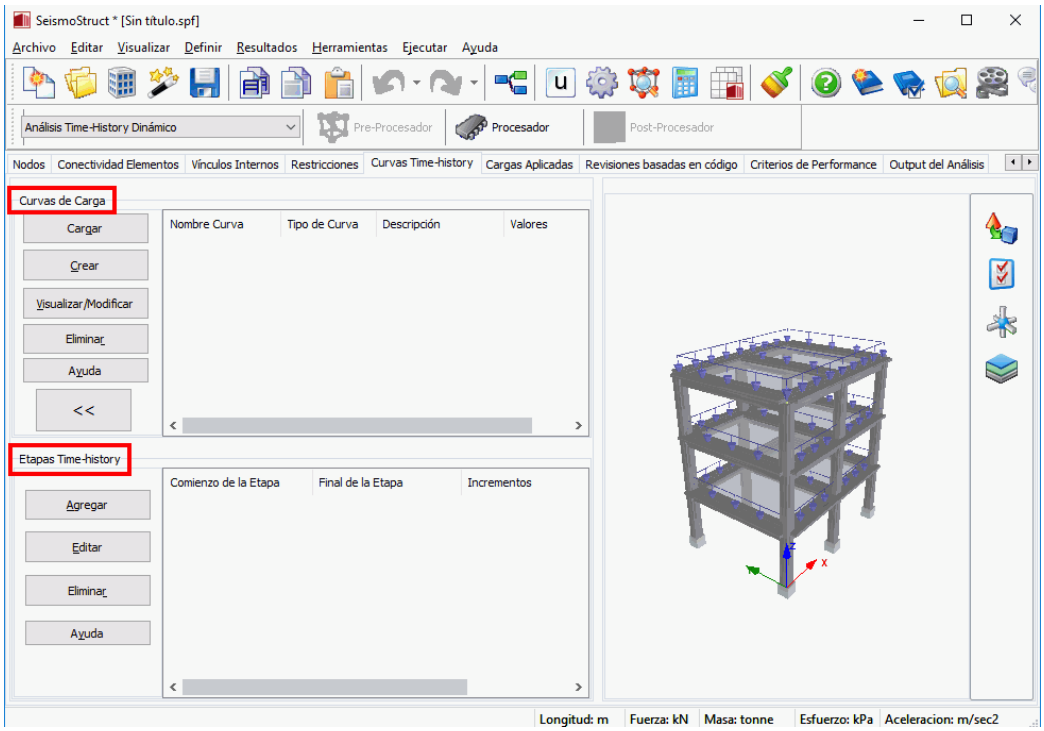
NOTA 1: Al ejecutar un análisis de pushover con control automático de la respuesta de un modelo asimétrico, puede ocurrir que el programa comience a aplicar la carga en la dirección "negativa", empujando la estructura "hacia atrás" en lugar de "hacia adelante". Esto ocurre cuando la estructura asimétrica resulta más flexible/deformable al ser empujada en una dirección que en la otra, un rasgo que el algoritmo de respuesta automática no puede pasar por alto. Si los usuarios desean forzar a la estructura a que se deforme en una dirección diferente, deben comenzar el análisis pushover con fases de control de carga o control de la respuesta, para iniciar la deformación en la dirección deseada, luego de lo cual pueden cambiar a control automático de la respuesta, ya que los grados de libertad ya desplazados serán inevitablemente seleccionados como los puntos de control.

NOTA 2: La reducción y el aumento automáticos del incremento de carga pueden, en ocasiones, causar irregularidades en los puntos de la curva de fuerza-desplazamiento, razón por la cual la curva de respuesta puede, a veces, no parecer visualmente "adecuada".

Curvas time-history

En los análisis time-history estáticos y dinámicos, además de soportar cargas permanentes, las estructuras son sometidas a cargas transitorias, que pueden ser fuerzas/desplazamientos que varían en el dominio del pseudo-tiempo (cargas estáticas time-history) o aceleraciones/fuerzas que varían en el dominio del tiempo real (cargas dinámicas time-history). Mientras el tipo, la dirección, la magnitud y los nodos de aplicación de estas cargas son definidos en el módulo de **Condiciones de Carga**, su patrón de distribución, es decir, la forma en que varían en el tiempo (o el pseudo-tiempo), está dado por las curvas time-history, definidas en el módulo **Curvas Time-history**. Éste comprende dos secciones interrelacionadas:

- Curvas de carga
- Etapas time-history



Módulo Curvas Time-History

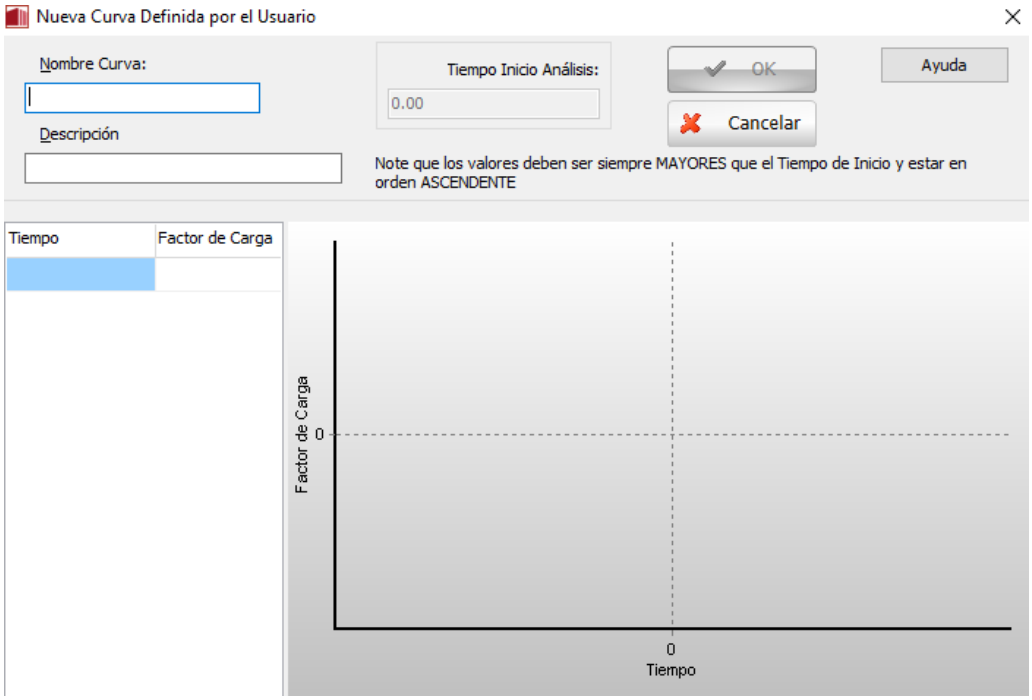
NOTA: Las curvas Time-history sólo proveen el patrón temporal de las cargas transitorias, cuya magnitud absoluta completa se obtiene del producto de las ordenadas de la curva time-history con el Multiplicador de Curva, definido en el módulo Condiciones de Carga. Esto significa que las curvas time-history pueden ser introducidas en cualquier sistema de unidades, siempre que se utilice un multiplicador de curva acorde (por ej., si el acelerograma es definido en [g] y el sistema de unidades adoptado por el usuario requiere que los valores de aceleración sean definidos en mm/seg2, entonces el multiplicador de curva correspondiente debe ser 9810).

Curvas de carga

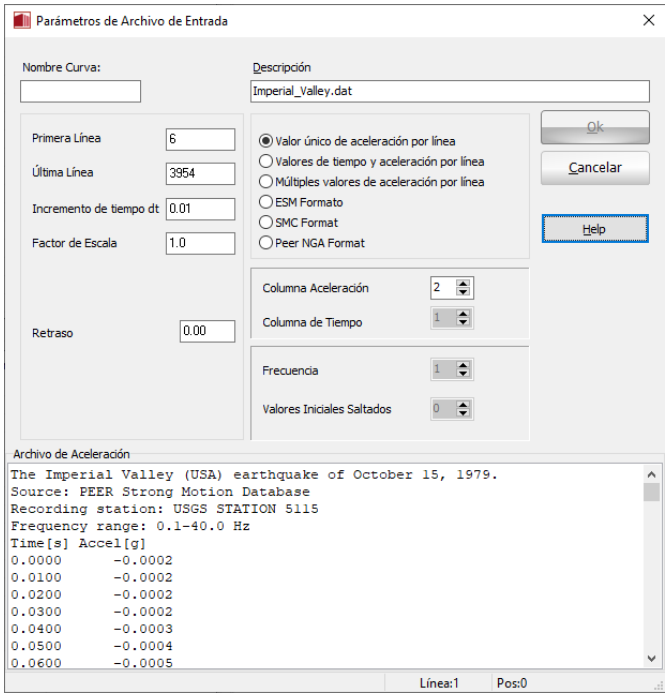
En la sección **Curvas de Carga**, la curva time-history puede ser definida ya sea mediante inserción directa de los pares tiempo-carga (función *Crear*) o mediante la lectura de un archivo de texto en el cual la curva de carga se encuentra definida (función *Cargar*).

IMPORTANTE: El archivo de texto de la curva de carga debe estar en formato MS-DOS Windows (es decir, se debe grabar el archivo con codificación ANSI utilizando el Bloc de Notas).

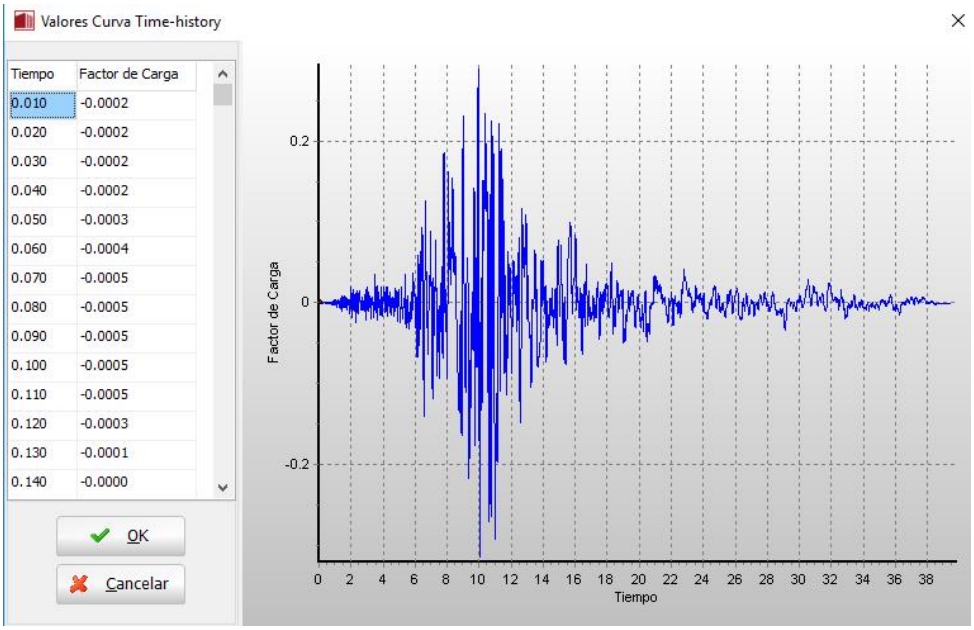
Habitualmente se emplea el análisis estático time-history para modelar ensayos cíclicos simples de especímenes, en cuyo caso la curva de carga es bastante simple y los usuarios tienden a definirla directamente dentro de SeismoStruct con la opción *Crear*. Por otro lado, en el caso del análisis dinámico, la curva aplicada consiste habitualmente, aunque no exclusivamente (por ej., análisis de impactos/explosiones), en un acelerograma definido en un archivo de texto que es cargado en el programa con la opción *Cargar*. Sin embargo, cualquiera de las dos opciones de definición de time-history (*Crear* y *Cargar*) puede ser utilizada para ambos tipos de análisis.



Cargar Curvas – Crear Función



Cargar Curvas – Parámetros de Archivo de Entrada



Cargar Curvas – Valores de Curva Time-history

El *Tiempo de Inicio del Análisis*, como su nombre lo indica, es el tiempo en el cual comienza el análisis, y es siempre considerado igual a cero, por cuya razón todas las curvas time-history deben contener entradas de tiempo mayores a 0.0. Adicionalmente, cuando es necesario aplicar curvas time-history en diferentes instantes de tiempo (por ej., un input sísmico asincrónico, una misma estructura sometida a dos sismos consecutivos, etc.), debe utilizarse el parámetro *Retraso* para definir el tiempo en el cual una time-history particular, cargada desde un archivo de texto, debe comenzar a ser aplicada sobre la estructura. En otras palabras, no es necesario que el usuario cambie manualmente los valores de tiempo de los datos time-history para introducir un retardo, dado que el programa lo hace automáticamente.

Cuando exista alguna incertidumbre respecto a los parámetros del archivo que contiene la curva time-history (columna de tiempo, columna de aceleración, primera línea, última línea), el usuario puede utilizar la herramienta *Ver Archivo de Texto*, que permite la inspección del archivo. Luego de que la time-history es cargada, aún es posible cambiar los parámetros mencionados anteriormente (por ej., luego de cargar un acelerograma de 5000 líneas desde un archivo se nota que sólo los primeros 1000 puntos resultaban de interés). El botón *Actualizar Vista* puede ser utilizado para visualizar en forma gráfica los cambios resultantes.

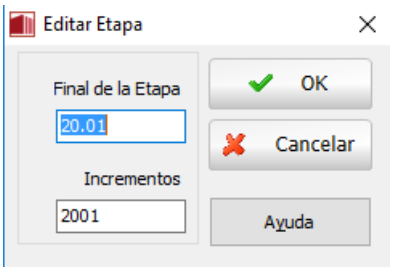
NOTA 1: Un máximo de 260 mil puntos pueden ser definidos para cada curva.

NOTA 2: Luego de haber cargado una curva time-history desde un archivo de texto dado, éste puede ser eliminado, ya que los puntos de la curva son guardados dentro del archivo de proyecto.

NOTA 3: Con el fin de ayudar a los usuarios a comenzar, el programa contiene un grupo de ocho acelerogramas, normalizados respecto a [g], a los cuales el usuario es dirigido automáticamente cuando hace clic sobre el botón *Seleccionar Archivo*. Los usuarios pueden también consultar bases de datos online para acceder a acelerogramas adicionales.

Etapas Time-history

En la sección **Etapas Time-history**, el usuario tiene la posibilidad de definir hasta 20 etapas de análisis, cada una de las cuales puede ser subdividida en un número diferente de incrementos de análisis, definidos explícitamente por el usuario. El programa luego calcula internamente la magnitud del incremento a ser utilizada dentro de una etapa time-history dada, como la diferencia entre los tiempos finales de dos etapas time-history consecutivas, dividida por el número de incrementos asignado. Para la primera etapa se utiliza la diferencia entre su tiempo final y el *Tiempo de Inicio del Análisis* (0.0 seg).



Agregar Nueva Etapa

En la mayoría de las aplicaciones comunes se utiliza una sola etapa de análisis. Sin embargo, existen casos en los cuales el usuario puede desear emplear diferentes magnitudes del incremento en distintas etapas del análisis (por ejemplo, una etapa de oscilación libre de la estructura introducida entre dos sismos sucesivos, o cuando se desea aplicar sobre el modelo una historia de carga hasta la fluencia (convergencia simple, puede utilizarse un valor grande de incremento) y hasta el colapso (convergencia dificultosa, es necesario utilizar un valor pequeño para el incremento), en cuyo caso la posibilidad de definir más de una etapa de análisis resulta de utilidad).

Parámetros para pushover adaptativo

En el pushover adaptativo, las cargas son aplicadas sobre la estructura de manera muy similar al caso del pushover convencional. Por este motivo, se recomienda a los usuarios que estén interesados en utilizar el pushover adaptativo consultar primero la sección de **Fases de Carga**, en donde se describe el procedimiento de aplicación de cargas para el pushover convencional. Éste debe considerarse aplicable a los casos de pushover adaptativo notando, sin embargo, las siguientes diferencias:

- En el pushover adaptativo es necesario que las masas inerciales de la estructura sean modeladas, de modo tal que el análisis de eigenvalores (utilizado para la actualización del vector de carga) pueda ser llevado a cabo. Adicionalmente, y sólo para el caso del pushover adaptativo basado en fuerzas, es necesario que la masa sea distribuida adecuadamente en todos los nodos sobre los cuales serán aplicadas las cargas incrementales, de forma tal que las fuerzas incrementales (obtenidas mediante el producto de la masa y la aceleración) puedan ser calculadas (esto no es necesario para el pushover basado en desplazamientos, ya que los perfiles de desplazamiento son obtenidos directamente del análisis de eigenvalores).
- Aunque está permitido utilizar valores nominales diferentes para las cargas en los distintos nodos (como en el pushover convencional), es altamente recomendable que las cargas aplicadas posean iguales valores nominales (perfil de carga constante), de modo que la carga aplicada en cada nodo sea completamente determinada por las características modales de la estructura y de la forma espectral utilizada.
- Los procedimientos de aplicación de carga/solución del tipo *Control Adaptativo de la Carga* y *Control Adaptativo de la Respuesta* son utilizados en lugar de las fases de *Control de la Carga* y *Control de la Respuesta*. Su input y funcionalidad son idénticos, pero debe notarse que sólo una fase adaptativa (control de la carga o de la respuesta) puede ser aplicada en el pushover adaptativo, al contrario del análisis de pushover convencional, en el cual es posible utilizar simultáneamente más de una fase de control de la carga o de la respuesta. Si el usuario desea pasar de un *Control Adaptativo de la Carga* a un *Control Adaptativo de la Respuesta*, o viceversa, debe borrar primero la fase que ya haya sido definida para que la opción alternativa se muestre disponible en el cuadro de diálogo *Agregar Nueva Fase*.

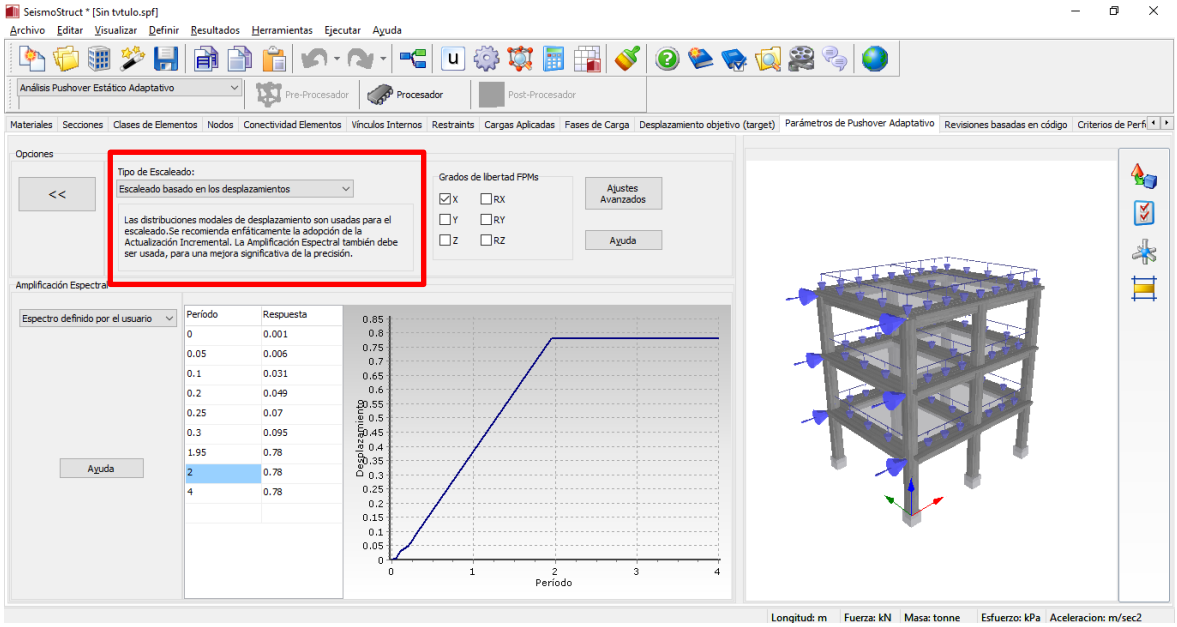
Siendo un método de análisis estático avanzado, el pushover adaptativo requiere la definición de parámetros adicionales, incluidos en el módulo **Parámetros Adaptativos**. Estos parámetros son:

Tipo de Escaleado

El vector de escala modal normalizado, utilizado para determinar la forma del vector de carga (o del vector de carga incremental) en cada incremento, puede ser obtenido mediante *tres métodos distintos*:

1. **Escaleado basado en Fuerzas**. El vector de escala refleja la distribución de fuerzas modales en cada incremento.
2. **Escaleado basado en Desplazamientos**. El vector de escala refleja la distribución de desplazamientos modales en cada incremento.
3. **Escaleado basado en la Deriva entre Pisos**. El vector de escala refleja la distribución modal de derivas de piso en cada incremento.

NOTA: Este último no puede ser utilizado en análisis de pushover adaptativo en 3D, y requiere que los desplazamientos laterales nominales sean ingresados en orden secuencial (primero debe definirse la carga de la primera planta, seguida por la carga de desplazamiento nominal en la segunda planta, y así sucesivamente).



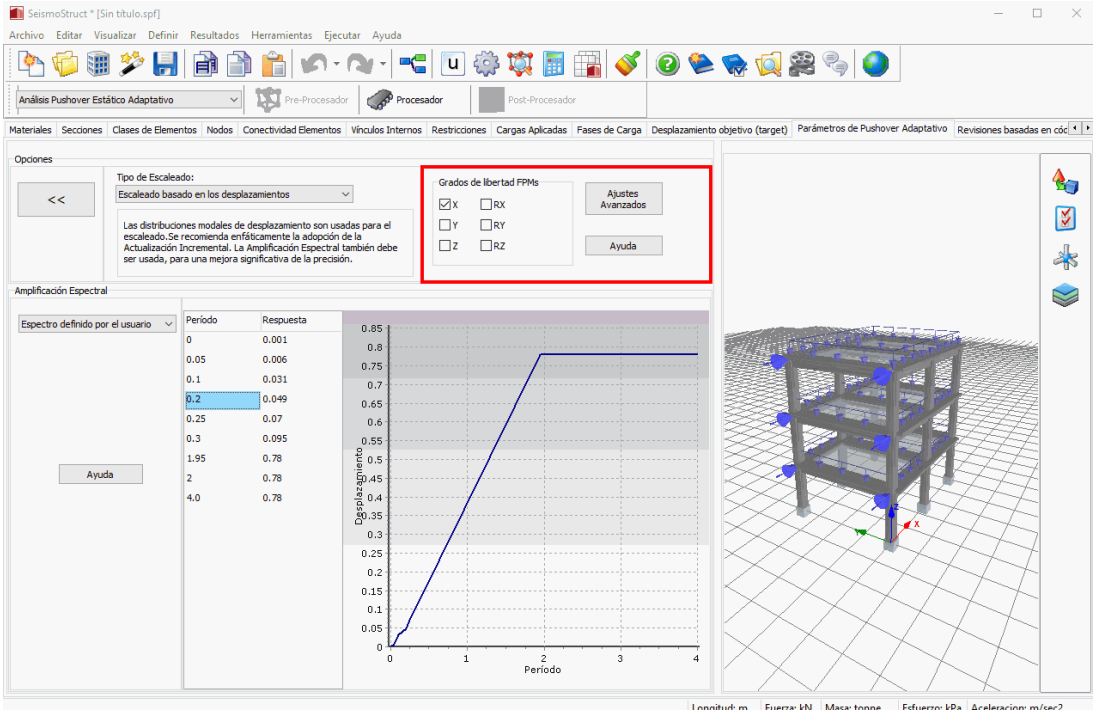
Selección del tipo de escaleado

Grados de libertad de los Factores de Participación Modal (FPM)

El usuario tiene la posibilidad de especificar los grados de libertad a considerar en el cálculo de los factores de participación modal (que son empleados en el cálculo del vector de escala modal).

Para los análisis de pushover adaptativo en 3D, puede resultar conveniente la utilización de más de un grado de libertad traslacional (por ej., X e Y) o, alternativamente, la utilización de grados de libertad rotacionales [por ej. Meireles *et al.*, 2006].

En el caso más común de análisis en 2D, sólo un grado de libertad será seleccionado, habitualmente X.



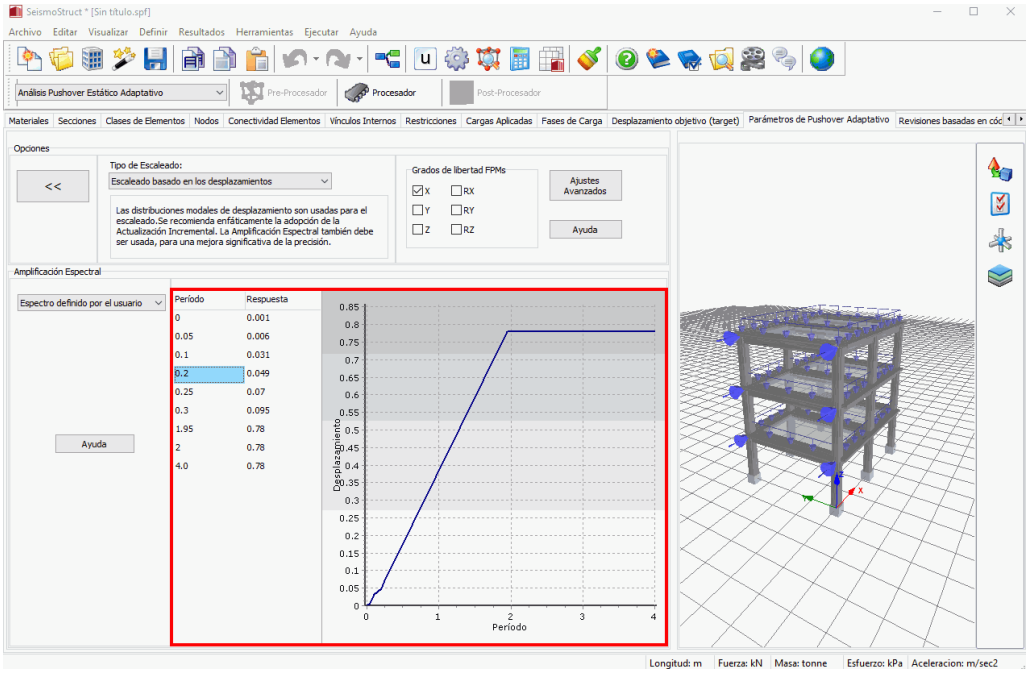
Especificación de los grados de libertad de los FPMs

Amplificación Espectral

Como fue mencionado anteriormente, el efecto que la amplificación espectral puede tener sobre la combinación de las distintas soluciones del vector de carga modal puede o no ser tenido en cuenta a través de una de las tres opciones disponibles en este módulo:

- **Ninguna Amplificación Espectral**. El factor de escala del perfil de distribución del vector de carga depende solamente de las características modales de la estructura, en cada incremento particular.
- **Acelerograma Dado**. El usuario introduce un historial de aceleraciones (acelerograma) y define el nivel de amortiguamiento viscoso a ser utilizado por el programa para calcular automáticamente un espectro de respuesta (que se asume constante a lo largo del análisis) de aceleraciones (cuando se utiliza el escaleado basado en fuerzas) o desplazamientos (cuando se utiliza el escaleado basado en desplazamientos o deriva entre pisos). Nótese que, por defecto, el espectro de respuesta resultante es mostrado al usuario, al contrario del acelerograma, que puede ser visualizado a través del botón *Acelerograma*.
- **Espectro Definido por el Usuario**. Los valores de período y aceleración/desplazamiento de respuesta espectral pueden ser introducidos directamente por el usuario en una tabla. Esta opción es utilizada habitualmente para introducir espectros definidos en las normativas. Nótese que, al igual que en todos los módulos de SeismoStruct, el listado de valores puede ser copiado de cualquier otra aplicación de Windows, como alternativa al ingreso directo de datos en el programa.

NOTA: Al ejecutar un Pushover Adaptativo basado en Desplazamientos, es altamente recomendable utilizar la Amplificación Espectral, por motivos de precisión. Si, por alguna razón, el usuario no puede estimar/representar el input sísmico esperable/de diseño, deberá seleccionar el análisis Uni-Modal, de modo de ejecutar un DAP en primer modo (sólo válido para edificios).



Amplificación Espectral

IMPORTANTE: Al hacer clic sobre el botón *Ajustes Avanzados*, el usuario puede definer parámetros adicionales a los anteriormente presentados.

Parámetros IDA

En el Análisis Dinámico Incremental (IDA), las estructuras son sometidas a una sucesión de cargas transitorias, las cuales habitualmente son definidas como historiales de aceleración (acelerogramas) de intensidad creciente, como se describe en el *Apéndice B ->Análisis Dinámico Incremental*. Por lo tanto, se recomienda a los usuarios interesados en utilizar este tipo de análisis consultar primero la sección **Curvas Time-history**, donde se describe el procedimiento de aplicación de las cargas en un análisis dinámico time-history. Éste es completamente aplicable a los casos de IDA, recordando sin embargo que es necesario también definir parámetros adicionales, incluidos en el módulo **Parámetros IDA**. Estos parámetros son:

Factores de escala

Cada análisis time-history de un IDA es ejecutado para una intensidad dada del input sísmico, definido por el producto de los *Factores de Escala* y el acelerograma introducido por el usuario. Habitualmente, el input sísmico es escaleado incrementalmente desde un valor bajo de respuesta elástica hasta un valor elevado, correspondiente a la consecución de un estado límite post-fluencia predefinido.

Es posible utilizar distribuciones fijas y/o variables del factor de escala, ya sea en forma separada o combinadas. Con las distribuciones fijas (*Inicio-Fin-Incremento*), el usuario define el *factor de escala inicial*, correspondiente al primer análisis a ejecutar, el factor de escala final, correspondiente al último análisis a ejecutar, y un incremento del factor de escala, que es utilizado para definir los factores de escala uniformemente espaciados a ser aplicados en los análisis intermedios. Por otra parte, con una distribución variable (*Factores de Escala Individuales*) pueden utilizarse secuencias de factores de escala espaciados no uniformemente, y el usuario debe definir explícitamente todos los factores de escala a considerar durante el análisis dinámico incremental (a menos que la distribución variable se utilice en combinación con una fija, en cuyo caso sólo es necesario especificar los factores que no sigan la secuencia).

Curva de pushover dinámico

Al llevar a cabo un Análisis Dinámico Incremental, el usuario frecuentemente está interesado en obtener la llamada *Curva de Pushover Dinámico* (o *Envolvente IDA*), que consiste en un gráfico de los valores picos de corte basal versus valores máximos de desplazamiento de un nodo, generalmente en la cima, obtenidos para cada uno de los análisis dinámicos ejecutados. Es posible, por lo tanto, definir explícitamente los nodos a considerar en el cálculo del máximo desplazamiento relativo (diferencia entre los valores absolutos de desplazamiento de los dos nodos definidos por el usuario, el segundo de los cuales generalmente se refiere a un apoyo en la base) de cada análisis dinámico.

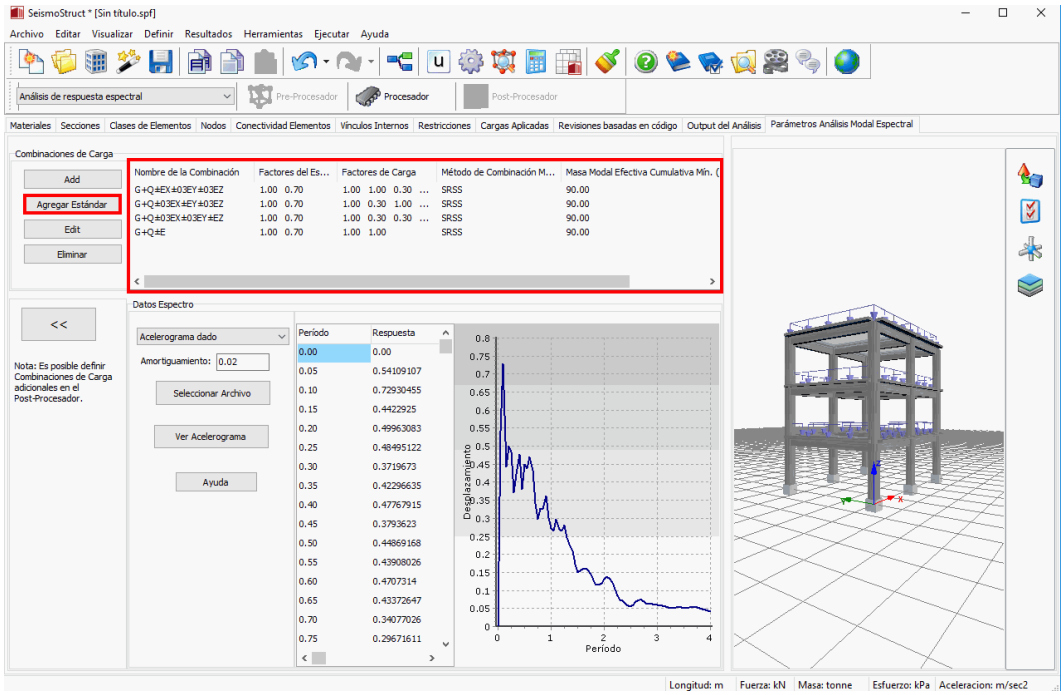
El usuario debe definir explícitamente también el grado de libertad de interés, así como la ventana de tiempo alrededor del máximo valor de deriva dentro de la cual encontrar el valor pico de corte basal correspondiente (o viceversa), en caso de que el usuario esté interesado en obtener una curva de valores pico de desplazamientos y corte basal correspondientes en vez de una curva de pares de valores picos de desplazamiento y corte no necesariamente correlacionados.

NOTA: Habitualmente, el comportamiento de las estructuras dentro de su rango de respuesta elástica puede ser representado mediante el uso de 2 ó 3 pares de puntos de desplazamiento-corte, bastante distanciados entre sí. En el rango posterior a la fluencia, por el contrario, puede ser necesaria una representación más detallada de la curva de pushover dinámico. En estos casos, los usuarios pueden encontrar útil el uso de una combinación de distribuciones de factores de escala fija y variable, en la cual 2 ó 3 factores de escala diferentes pueden ser utilizados para el rango de respuesta elástica y un rango de valores Inicio-Fin-Incremento puede ser empleado durante la respuesta posterior a la fluencia.

Parámetros RSA

El Análisis de Respuesta Espectral es un método de análisis estadístico (pseudo) dinámico lineal estático elástico el cual provee los valores máximos de las cantidades de respuesta, como las fuerzas y las deformaciones, de una estructura bajo excitación sísmica, tal como se describe en el *Apéndice B ->Análisis de Respuesta Espectral.*

En un RSA se les solicita a los usuarios proveer el espectro de respuesta como entrada y las combinaciones de carga(s) sísmica para las cuales el RSA dará los resultados. El espectro se utiliza para las dos direcciones sísmicas horizontales (EX, EY) y las dirección vertical (EZ).



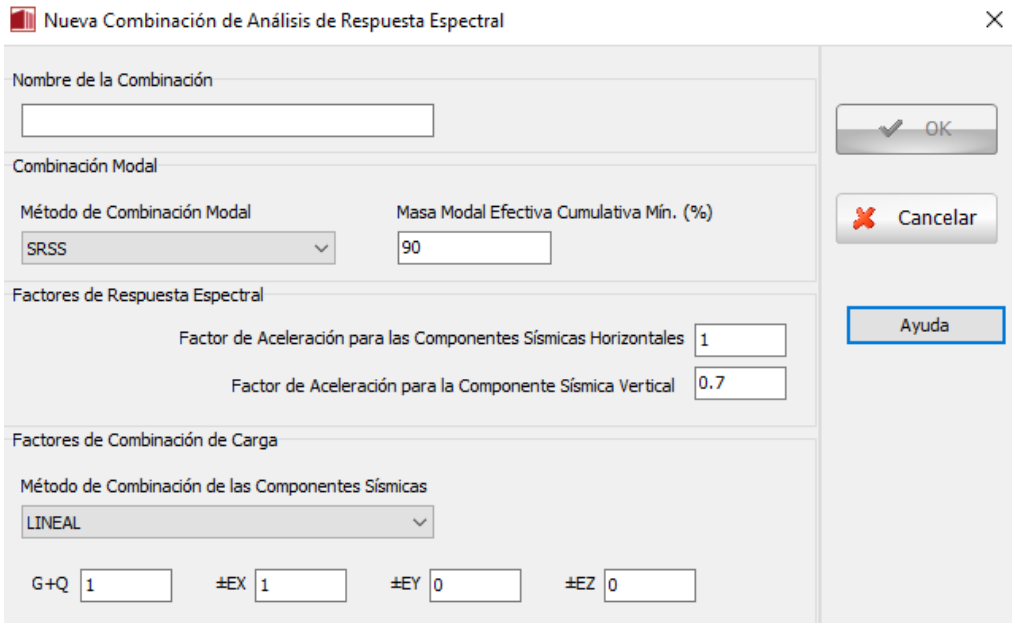
Módulo de Parámetros RSA

Combinaciones de Carga

En el módulo de combinaciones de carga diferentes factores de espectro de respuesta entre las direcciones vertical y horizontal pueden definirse. La regla de combinación modal (ABSSUM, SRSS, CQC) debe especificarse, así como los modos a ser combinados, en términos de la masa modal efectiva acumulada. El usuario puede definir un mínimo porcentaje de masa modal y el programa seleccionará el número apropiado de modos que movilizan la cantidad mayor de masa modal, hasta que el porcentaje especificado se alcance en todas las direcciones sísmicas.

Para cada caso de carga (G, Q, and ±E), se solicita a los usuarios definir los factores de gravedad estática o carga viva (f_{G+Q}) y los factores de carga sísmica (f_E). Las direcciones de carga sísmica pueden combinarse linealmente (E = ±EX±EY±EZ) con los diferentes factores por dirección (f_{EX}, f_{EY}, f_{EZ}) o por la regla SRSS ($E = \pm\sqrt{EX^2+EY^2+EZ^2}$). Debe notarse que las cargas de gravedad tienen un signo algebraico explícitamente definido, mientras que para las cargas sísmicas los signos en ambas direcciones se toman en cuenta. Consecuentemente, los resultados de las combinaciones de carga en un RSA en términos de cualquier cantidad de respuesta son representadas por evolventes.

NOTA: Combinaciones de carga prestablecidas basadas en código pueden definirse con el botón de Agregar Combinación Estándar. Las combinaciones consisten de cargas gravedad+viva, con 100% de fuerza sísmica prescrita en una dirección y 30% en la otra, una combinación por cada dirección sísmica. Además, una combinación de carga de gravedad+viva con 100% de las fuerzas sísmicas también se provee.



Módulo de Combinación de Cargas

Datos Espectrales

El espectro de respuesta puede definirse directamente por el usuario o puede ser calculado a partir de un acelerograma dado.

- **Acelerograma dado.** El usuario introduce una Time History de aceleraciones y define el nivel de amortiguamiento viscoso para crear automáticamente el espectro. El espectro de respuesta resultante, a diferencia del acelerograma, se le muestra al usuario. El acelerograma puede ser visto a través del botón *Acelerograma.*
- **Espectro Definido por Usuario.** Pares de valores de periodo y respuesta pueden introducirse directamente por el usuario en una tabla de entrada. Esta opción usualmente se utiliza para introducir espectros definidos en códigos y debe notarse que, en este como en todos los otros módulos de SeismoStruct, la lista de valores puede ser pegada de cualquier aplicación de Windows, como una alternativa a la introducción directa por teclado.

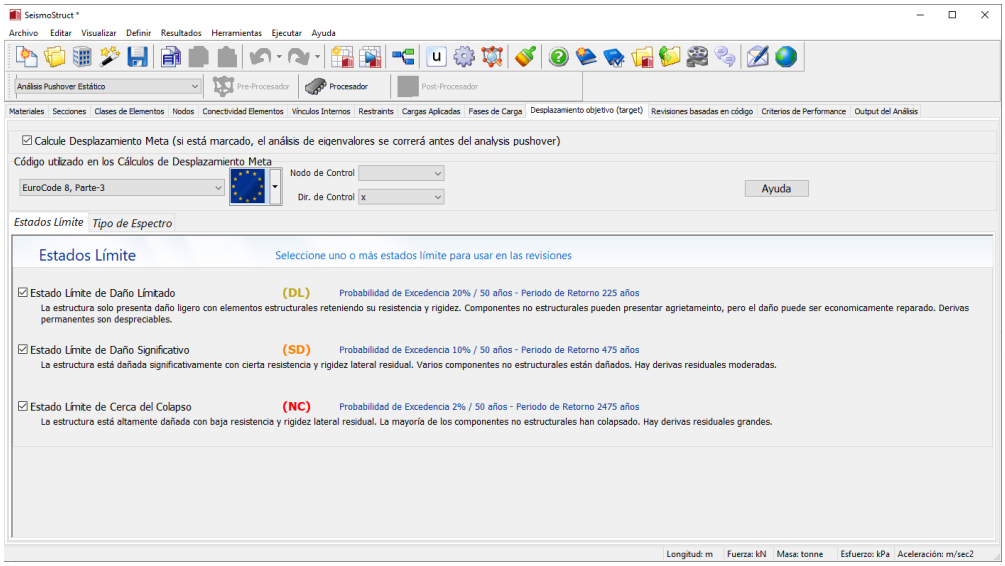
DESPLAZAMIENTO OBJETIVO

En el caso de análisis de pushover (convencional o adaptable) los usuarios pueden seleccionar el cálculo automático del desplazamiento objetivo. Si la casilla de Cálculo de Desplazamiento Objetivoestá marcada, entonces un análisis de Eigenvalores se llevará a cabo antes del análisis de pushover. Los siguientes parámetros deben ser definidos por el usuario para poder calcular el Desplazamiento Objetivo:

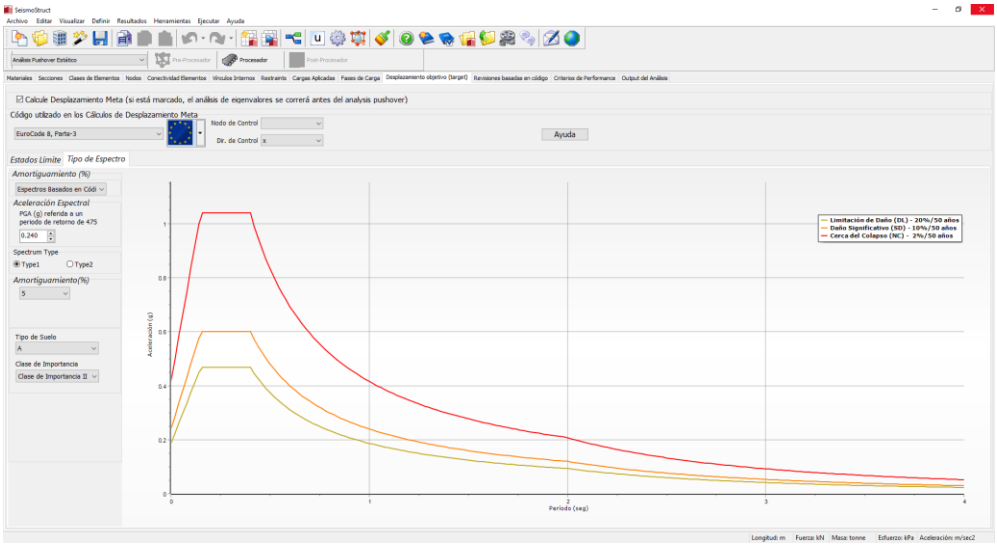
1. El Código empleado; tres opciones están disponibles actualmente: Eurocódigo 8 – Parte 3 con la mayoría de los anexos nacionales disponibles, el ASCE 41 (Código Americano de Evaluación Sísmica e Intervención de Edificios Existentes), el NTC-18 (Código Sísmico Nacional Italiano), el KANEPE (Código Griego de Intervenciones Sísmicas) y el TBDY (Código de Construcción y

Evaluación Sísmica de Turquía). Información adicional sobre los códigos empleados puede encontrarse en elApéndice H–Códigos;

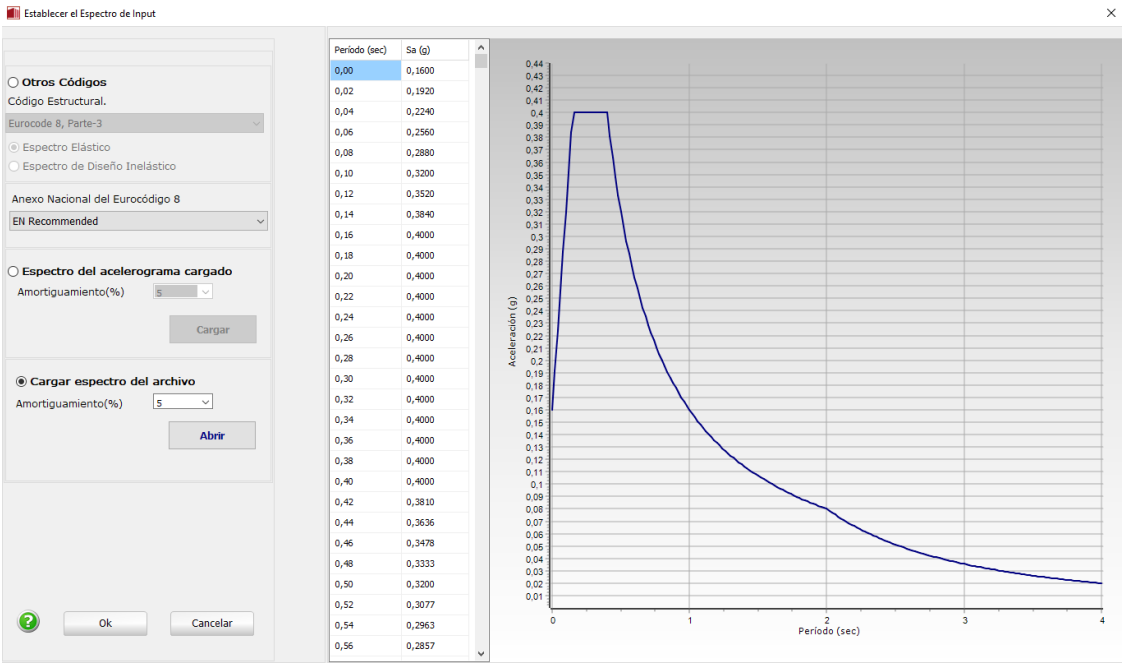
2. Nodo de Control y Dirección de Control; estos se asignan automáticamente si utiliza el Modelador de Edificios o el Asistente;
3. Los Estados Límite (o Niveles de Desempeño en el caso de ASCE 41-23 y TBDY u Objetivos de Desempeño en el caso de KANEPE), para los cuales el Desplazamiento Objetivo debe ser calculado;
4. El espectro de respuesta elástico que puede derivarse del código utilizado en el proyecto específico (opción de Espectros Basados en Código) o puede ser definido por el usuario (opción de EspectrosDefinidos por el Usuario).En el caso de los espectros basados en código, los usuarios deben asignar los parámetros básicos necesarios para la generación del espectro (es decir, aceleración del terreno pico, amortiguación, tipo de espectro, tipo de terreno y clase de importancia). En el caso de los espectros definidos por el usuario, los usuarios pueden seleccionar de una lista de 29 espectros definidos por varios Códigos Nacionales en todo el mundo (opción Espectros Basados en Código), pueden cargar un acelerograma en función del cual se calculará el espectro de respuesta elástica (opción de Espectro de acelerograma cargado) o pueden cargar un elástico espectro desde un archivo (opción Cargar espectro desde archivo).



Módulo de Desplazamiento Objetivo – Estados Límite



Módulo de Desplazamiento Objetivo – Acción Sísmica (Espectros Basados en Código)



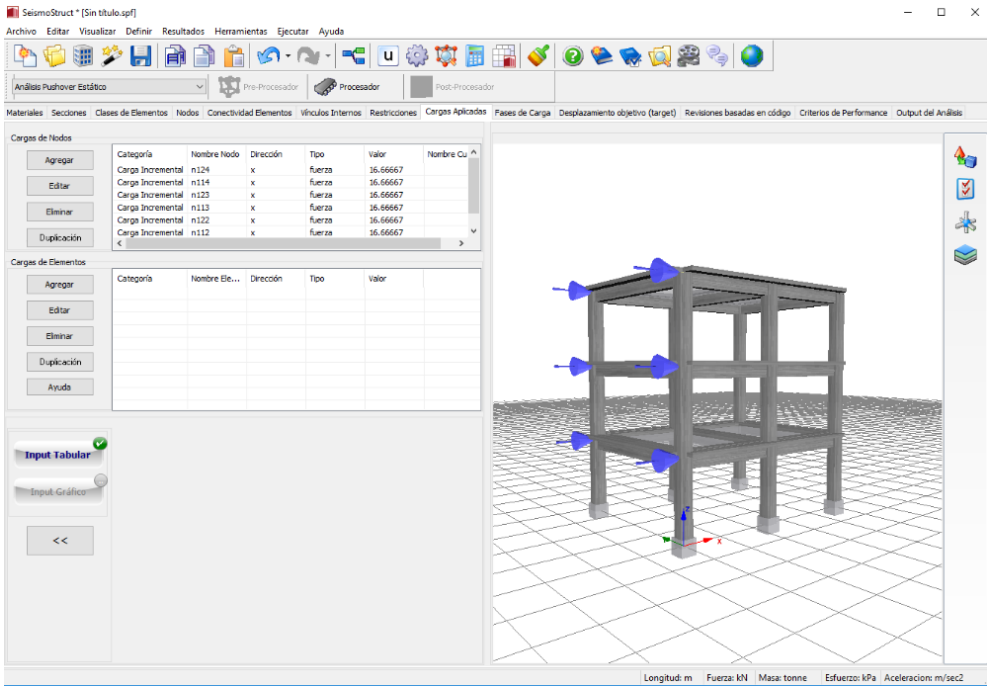
Módulo de Desplazamiento Objetivo – Acción Sísmica (Espectros Definidos por el Usuario)

REVISIONES BASADAS EN CÓDIGO

Aquí se pueden seleccionar las revisiones basadas en código que se llevarán a cabo en los miembros estructurales. Diferentes pestañas para Elementos de Marco y Elementos de Mamposteríaestándisponibles.Para poder introducir una revisión basada en código, los usuarios necesitan:

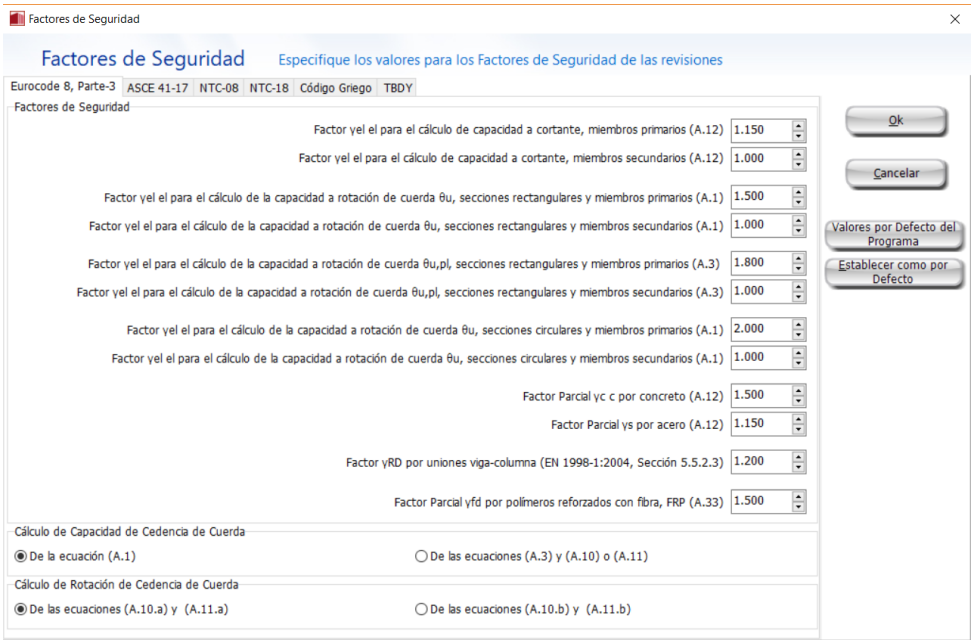
1. Definir el Código empleado; sixopciones están disponibles actualmente: Eurocódigo 8-Parte 3 con la mayoría de los Anexos Nacionales, el ASCE 41-23 (Código Americano de Evaluación Sísmica e Intervención de Edificios Existentes), el NTC-18 (Código Sísmico Nacional Italiano), el KANEPE (Código Griego de Intervenciones Sísmicas) y el TBDY (Código de Construcción y Evaluación Sísmica de Turquía). Información adicional sobre los códigos empleados puede encontrarse en el Apéndice H–;
2. Definir los valores de Factores de Seguridad y las ecuaciones a utilizar en los cálculos, cuando más de una expresión está propuesta;
3. Seleccionar el Nivel de Conocimiento que corresponde a la información disponible referente a la configuración estructural;
4. Definir los Parámetros de Propiedades Avanzados, p. ej. todos los parámetros que caracterizan el miembro a revisar, clasificación (primaria o secundaria), tipo y longitud de traslape, detallado para resistencia a terremotos, etc.;
5. Hacer Clic en el botón de 'Agregar';
6. Introducir el nombre de la revisión;
7. Seleccionar el tipo de revisión basada en código (p. ej. capacidad de rotación de cuerda del elemento, capacidad a cortanteo de momento flector para elementos de marco y capacidad a cortante de mampostería, fuerza de compresión, momento de flexión o deriva para elementos de mampostería) del menú desplegable;
8. Definir los Estados Límite o Niveles de Desempeño a usar para revisar los elementos;
9. Definir los elementos a los cuales aplicar las revisiones;
10. Definir el elemento de Degradación de Resistencia, cuando una revisión en particular ha sido alcanzada. El usuario puede especificar una resistencia residual como porcentaje de la capacidad, seleccionar remover el elemento completamente, o mantener su resistencia sin ningún tipo de degradación.
11. Definir el tipo de acción bajo el cual se alcanza la revisión: (i) detener el análisis e introducir una notificación en el registro del análisis, (ii) pausar el análisis e introducir una notificación en el registro del análisis, (ii) dejar el análisis correr e introducir una notificación en el registro del análisis, (iv) ignorar la ocurrencia, es decir, dejar la revisión inactiva;
12. Asignar un color para permitir la visualización gráfica del módulo de **Visualizador de la Deformada** del Post-Procesador;
13. Seleccionar los efectos visuales de daño, para poder permitir la visualización gráfica del daño en el módulo de **Visualizador de la Deformada.**

NOTA: Los códigos disponibles dependen de la edición del SeismoStruct. Los usuarios deben seleccionar la edición con los códigos requeridos.

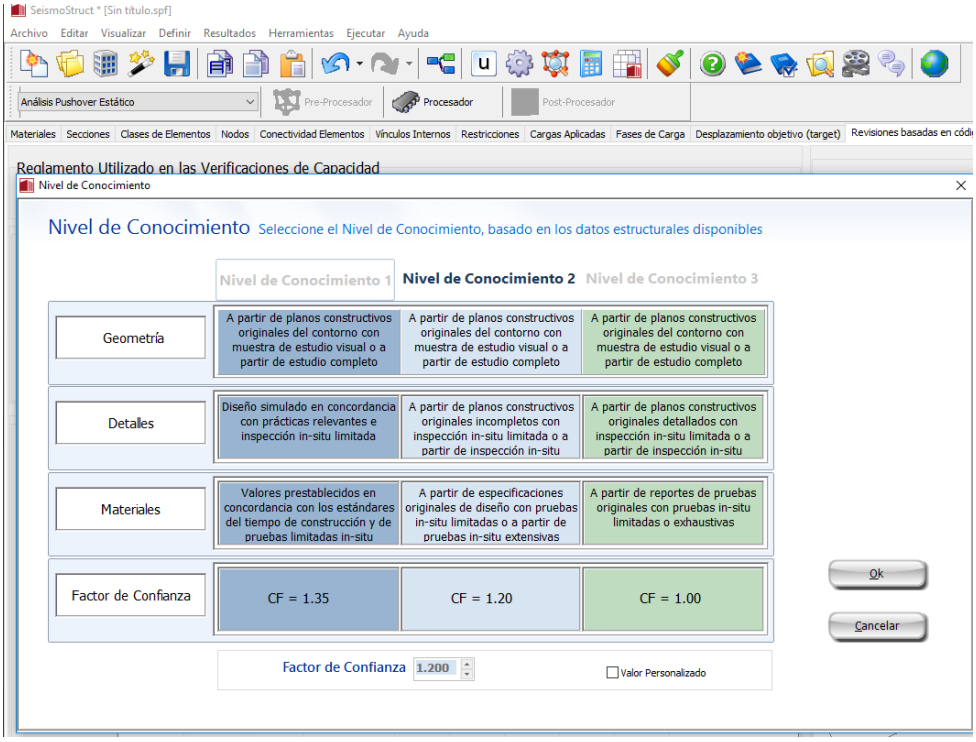


Módulo de Revisiones Basadas en Código

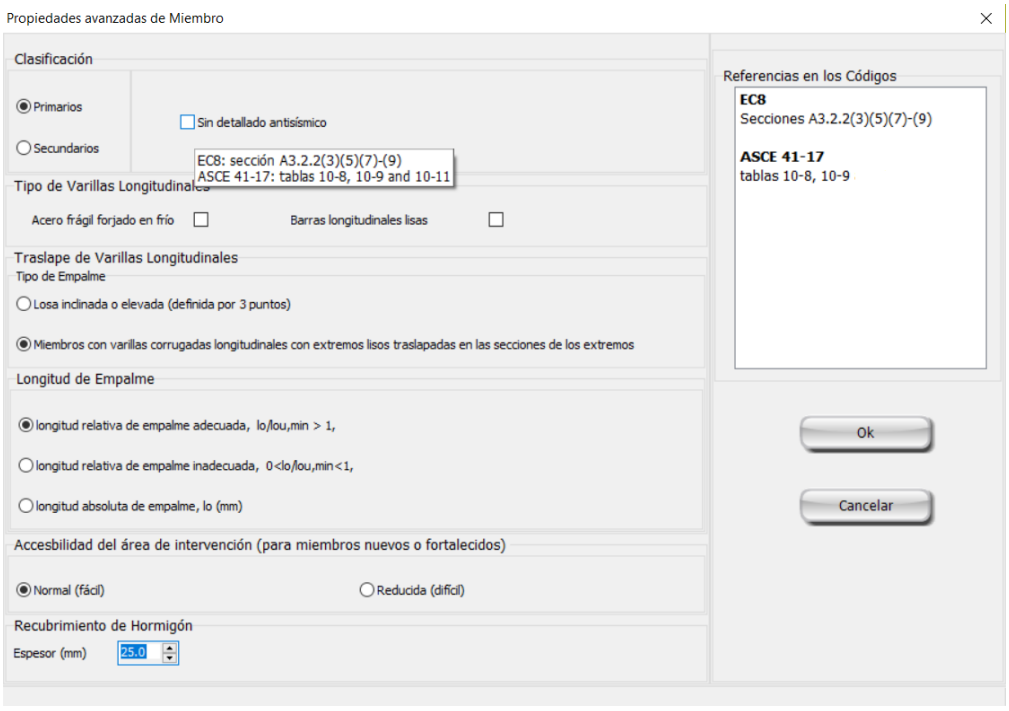
Los valores de factores de seguridad y las expresiones de Código a emplearse pueden ser especificados a través de la ventana de diálogo que se abre con el botón correspondiente. Debe notarse que los valores predefinidos de los factores de seguridad corresponden a los encontrados en los Códigos.



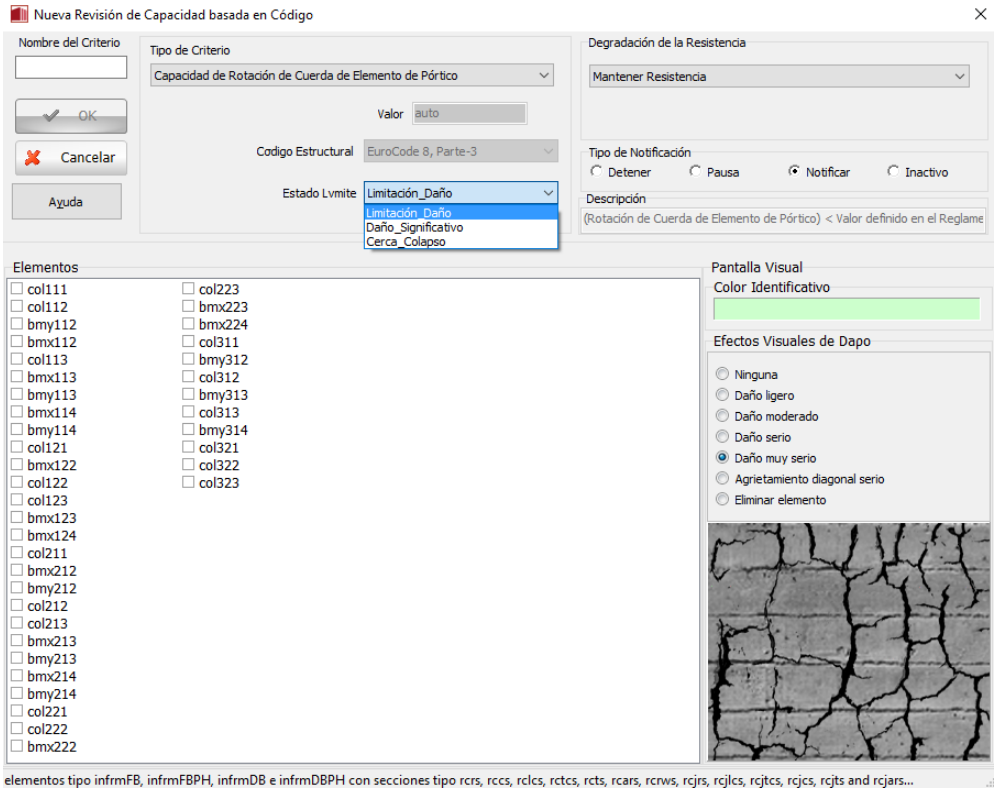
Módulo de Factores de Seguridad



Módulo de Nivel de Conocimiento



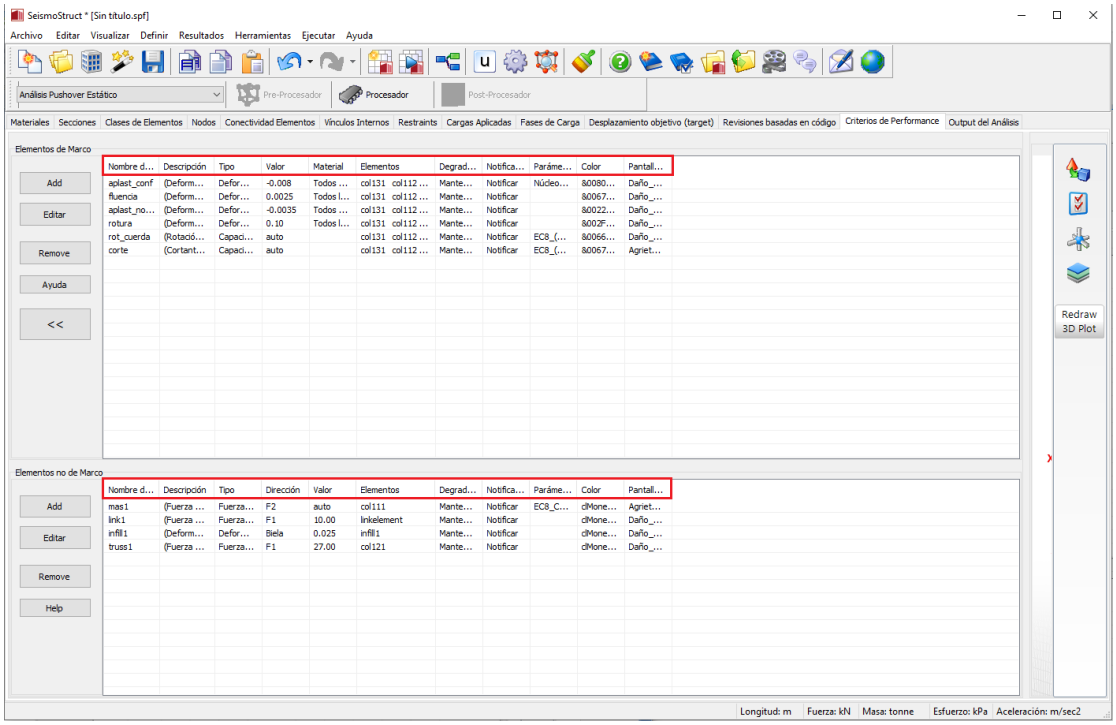
Módulo de Propiedades Avanzadas de Miembro



Módulo de Revisiones de Capacidad Basadas en Código

Criterios de Desempeño

Dentro del contexto de la ingeniería sísmica basada en el desempeño/la performance, resulta primordial que los analistas e ingenieros sean capaces de identificar los instantes en los que distintos estados límites de performance (por ej., daño a componentes no estructurales, daño estructural, colapso) son alcanzados. Esta tarea puede ser llevada a cabo eficientemente con SeismoStruct mediante la definición de **Criterios de Performance**, con los cuales el programa monitorea automáticamente durante el análisis la consecución de determinados umbrales de deformación del material, curvatura de la sección, rotación de cuerda del elemento y/o corte del elemento, fuerza/momento del elemento, deformación del elemento, deriva del elemento, etc.Diferentes áreas están disponibles para la definición de criterios de rendimiento de Elementos de Marco y Elementos no deMarco.

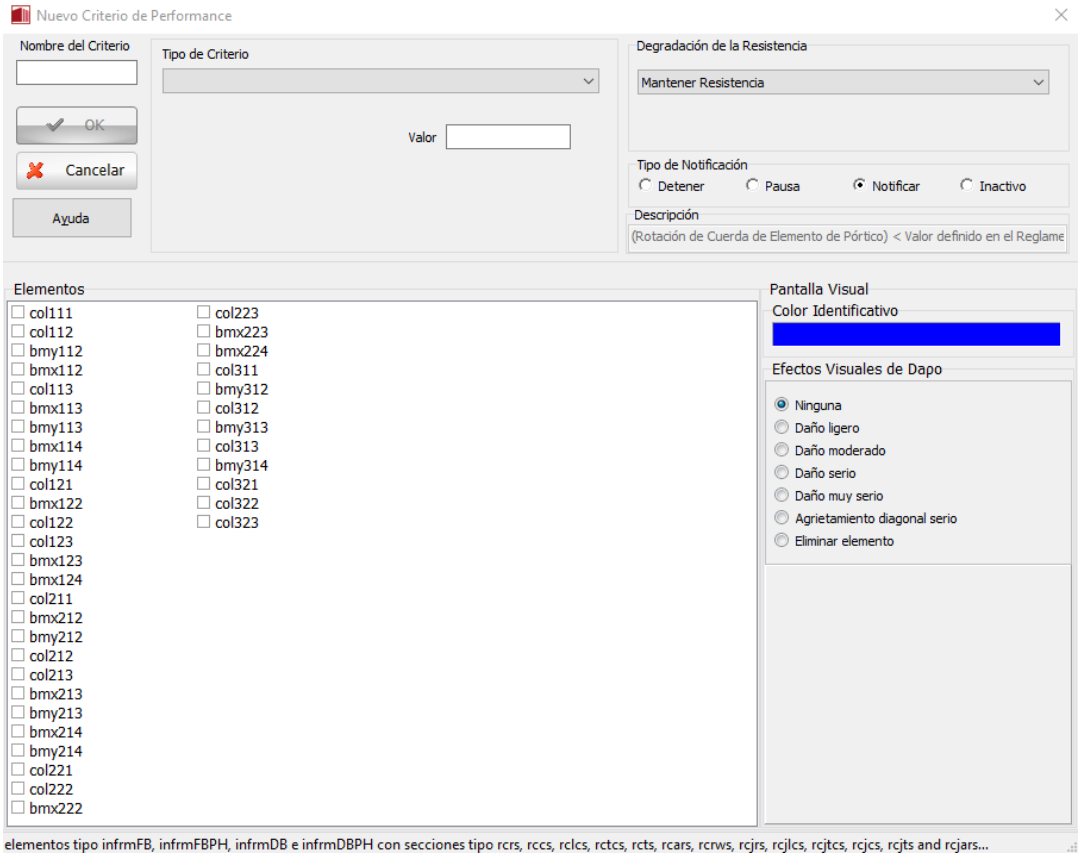


Módulo Criterios de Performance

IMPORTANTE: Por razones obvias, el uso de verificaciones con Criterios de Performance produce un ligero aumento del tiempo de ejecución del análisis.

Para indicar una verificación de performance estructural, el usuario debe:

1. Definir el nombre/identificador del criterio;
2. Seleccionar el tipo de criterio (es decir, el parámetro de respuesta a controlar: deformación del material, curvatura seccional, rotación de cuerda del elemento o corte del elemento por elementos de portico y fuerza/momento, deformación, deriva, fuerza de corte, fuerza de compresión y momento flector para elementos que no son elementos de marco dependiendo del tipo de elemento) en el menú desplegable;
3. Establecer el valor para el cual el criterio de performance es alcanzado;
4. Seleccione la ecuación para el cálculo del valor límite, en el caso de criterios con límites automáticamente definidos información adicional para su uso puede encontrarse en el Apéndice H–Códigos.
5. Indicar los elementos sobre los cuales el criterio debe ser aplicado (si se ha seleccionado un criterio de deformaciones, es necesario seleccionar un material en el menú desplegable antes de definir los elementos);
6. Definir el elemento de Degradación de Resistencia, cuando una revisión en particular ha sido alcanzada. El usuario puede especificar una resistencia residual como porcentaje de la capacidad, seleccionar remover el elemento completamente, o mantener su resistencia sin ningún tipo de degradación.
7. Definir el tipo de acción a seguir cuando el criterio es alcanzado: (i) detener el análisis e introducir una notificación en el registro del análisis, (ii) pausar el análisis e introducir una notificación en el registro, (iii) dejar que el análisis prosiga e introducir una notificación en el registro, (iv) ignorar la consecución, es decir, colocar el criterio en modo inactivo;
8. Asignar un color para cada criterio definido, para permitir la visualización gráfica en el módulo **Visor de la Deformada**.
9. Seleccionar los efectos visuales de daño, para poder permitir la visualización gráfica del daño en el módulo de **Visualizador de la Deformada.**



Selección del Tipo de Criterio

NOTA: Los usuarios deben tener cuidado al definir la degradación de la resistencia, ya que este tipo de opciones puede llevar a inestabilidades numéricas.

Tipo de Criterio

El tipo de criterio a utilizar depende claramente de los objetivos del usuario. Sin embargo, dentro del contexto del enfoque de modelado con fibras implementado en SeismoStruct, las *deformaciones de los materiales* constituyen habitualmente el mejor parámetro para la identificación del estado de performance de una estructura dada. Los criterios disponibles referidos a las deformaciones de los materiales son:

- **Fisuración de elementos estructurales**. Puede ser detectada controlando cuándo se verifican deformaciones (positivas) mayores que la razón entre la resistencia a tracción y la rigidez inicial del hormigón [valor típico: +0.0001].
- **Descascaramiento del hormigón de recubrimiento**. Puede ser identificado verificando si las deformaciones (negativas) del recubrimiento son mayores que la deformación última de aplastamiento del hormigón no confinado [valor típico: -0.002].
- **Aplastamiento del hormigón del núcleo**. Puede ser verificado controlando si las deformaciones (negativas) del núcleo son mayores que la deformación última de aplastamiento del hormigón confinado [valor típico: -0.006].
- **Fluencia del acero**. Puede ser detectada controlando cuándo se verifican deformaciones mayores que la razón entre el límite de fluencia y el módulo de elasticidad del acero [valor típico: + 0.0025].
- **Rotura del acero**. Puede ser establecida controlando si las deformaciones (positivas) del acero son mayores que la deformación de rotura [valor típico: +0.060].

Alternativamente, o en forma adicional, las *curvaturas de las secciones* y/o las *rotaciones de cuerda* pueden también ser utilizadas en la verificación de numerosos estados límites, para lo cual se sugiere a los usuarios referirse a la literatura disponible por mayores indicaciones respecto a valores de curvatura/rotación a utilizar [por ej., Priestley, 2003].

Finalmente, se puede introducir el rendimiento de la rotación de acordes, la capacidad de rotación de los acordes y la capacidad de corte del elemento para elementos de marco, por lo que el programa calcula automáticamente la capacidad de los elementos durante el análisis, de acuerdo con la ecuación seleccionada de los Códigos disponibles (Eurocódigos, ASCE 41-23, NTC -18, KANEPE y TBDY), y lo compara con la demandacorrespondiente.Se pueden introducir revisiones de **fuerza/momento, desplazamiento** y **deriva** de elementos para elementos que no son de marco, asi que el programa calcula automáticamente la capacidad de los elementos durante el análisis, de acuerdo con la ecuación seleccionada de los Códigos disponibles (Eurocódigos, ASCE 41-23 y NTC -18), y lo compara con la demanda correspondiente o los valores definidos por el usuario.

NOTA 1: En los Criterios de desempeño donde solo se permiten valores positivos, las verificaciones se llevan a cabo contra el valor absoluto de la cantidad de respuesta para la demanda. Mientras que, en los Criterios de desempeño donde se definen valores tanto positivos como negativos, la verificación se lleva a cabo contra el valor con signo de la cantidad de respuesta, y se permiten diferentes valores para los valores positivos y negativos. En este último caso si se introduce un valor positivo para el criterio, el programa considerará automáticamente una evaluación del tipo "mayor que". Por el contrario, si se introduce un valor negativo para el criterio, el programa asumirá automáticamente una evaluación del tipo "menor que".

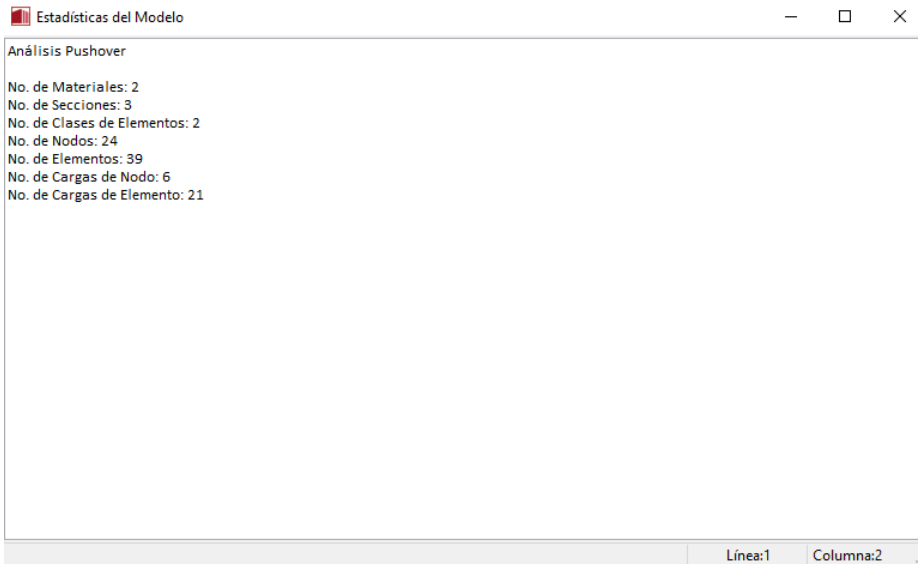
NOTA 2: Las verificaciones de deformaciones y curvaturas son llevadas a cabo en las secciones de integración de los elementos seleccionados.

NOTA 3: Debe notarse que los Criterios de Performance sólo pueden ser definidos para controlar la respuesta de elementos inelásticos de pórtico. Sin embargo, es posible asignarles a éstos un material elástico, lo cual significa que, en la práctica, los criterios de performance también pueden ser aplicados a miembros cuya respuesta sea elástica.

NOTA 4: Calidades promedio de los materiales sin ningún tipo de factores de seguridad o de confianza se usan en el cálculo automático de la capacidad de los elementos, p. ej. en el caso de los Criterios por Desempeño con un límite automáticamente definido.

ESTADÍSTICAS DEL MODELO

La función de 'Estadísticas del Modelo' está disponible desde el menú del programa (*Ver > Estadísticas del Modelo*) o haciendo clic en , para permitir a los usuario ver un resumen de los datos de entrada.

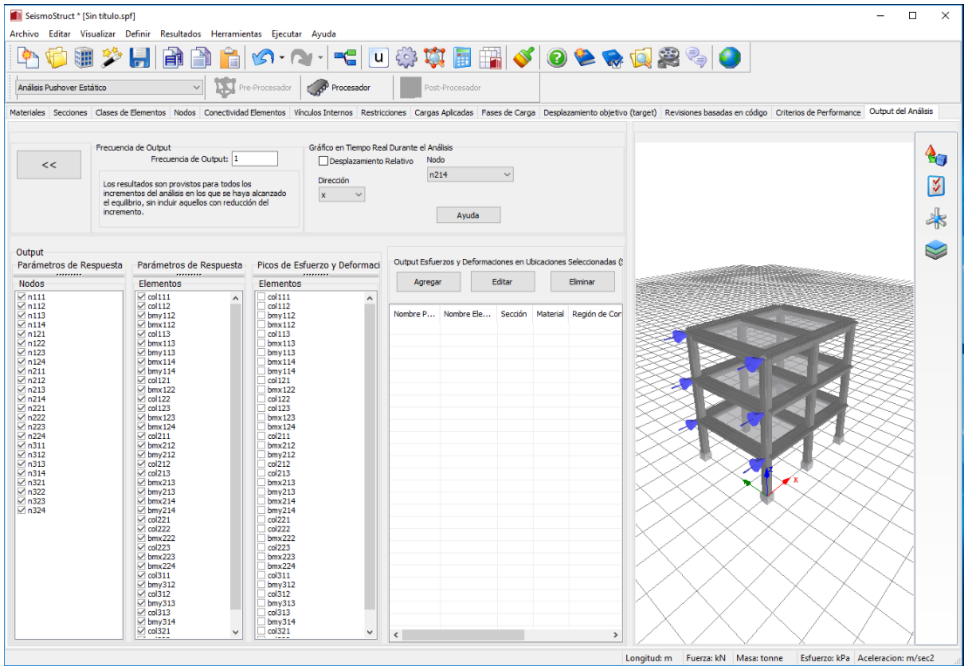


Función de Estadísticas del Modelo.

OUTPUT DEL ANÁLISIS

Siendo un programa de análisis basado en fibras, SeismoStruct calcula y produce como output una gran cantidad de parámetros de respuesta (como deformaciones, esfuerzos, curvaturas, solicitaciones internas de los elementos, desplazamientos nodales, etc.). Esto puede dar lugar a dos grandes inconvenientes: (i) cierta dificultad en el post-procesamiento de los resultados y en la evaluación de los distintos niveles de performance de la estructura por parte del usuario, y (ii) archivos de resultados muy grandes (de hasta 50Mb o más, especialmente cuando se llevan a cabo análisis dinámicos sobre modelos de grandes dimensiones).

En la mayoría de los casos, los usuarios hacen uso solamente de una pequeña parte de la amplia gama de resultados producidos por SeismoStruct, dado que es común que la respuesta de un número limitado de nodos y/o elementos seleccionados provean información suficiente acerca de la performance y respuesta de la estructura que se está analizando. Por lo tanto, en el módulo de **Output del Análisis**, los usuarios tienen la posibilidad de reducir el output al mínimo necesario, disminuyendo así tanto el espacio ocupado en disco como el tiempo y esfuerzo de procesamiento de los resultados.



Módulo Output del Análisis

Esto puede ser realizado mediante los siguientes ajustes del output:

Frecuencia de Output

Si se adopta un valor de frecuencia igual a cero, se provee output para todos los incrementos del análisis en los que se haya alcanzado el equilibrio, incluyendo los correspondientes a los niveles de reducción del incremento. Si se indica, en cambio, un valor de frecuencia igual a la unidad, el output de los niveles de reducción del incremento es omitido. Este último es el comportamiento por defecto, ya que los usuarios están habitualmente interesados en obtener resultados en correspondencia con el número inicial de incrementos definido en la fase de pre-procesamiento. Sin embargo, si este no es el caso (por ej., si la carga ha sido dividida en un número muy grande de incrementos sólo para facilitar la convergencia), entonces un valor de frecuencia *n* veces mayor que la unidad puede ser empleado, y el output ser generado cada *n* incrementos equilibrados.

Output de Parámetros de Respuesta Nodal

Los usuarios pueden especificar los nodos para los cuales los parámetros de respuesta nodal (fuerzas de vínculos, desplazamientos, velocidades y aceleraciones) serán proporcionados. El usuario puede seleccionar todos los nodos (o ninguno) haciendo clic derecho con el mouse y eligiendo *Seleccionar Todos* (o *Seleccionar Nada*) en el menú desplegable. Para una selección más rápida, es posible predefinir grupos de nodos.

NOTA: Si no todos los nodos han sido seleccionados para el output, las deformadas del modelo estructural no podrán ser visualizadas en el *Post-Procesador*.

Output de Fuerzas en Elementos

Los usuarios pueden especificar los elementos para los cuales obtener resultados de sus solicitaciones internas (fuerzas axiales y de corte, momentos flectores y torsores). El usuario puede seleccionar todos los elementos (o ninguno) haciendo clic derecho con el mouse y eligiendo *Seleccionar Todos* (o *Seleccionar Nada*) en el menú desplegable. Para una selección más rápida, es posible predefinir grupos de elementos.

Output de Valores Pico de Esfuerzos/Deformaciones y Curvatura

Los usuarios pueden especificar los elementos para los cuales obtener resultados de curvaturas y valores pico (máximos y mínimos) de esfuerzos/deformaciones (debe notarse que dichos resultados se refieren a las Secciones de Integración de los elementos inelásticos de pórtico). El usuario puede seleccionar todos los elementos (o ninguno) haciendo clic derecho con el mouse y eligiendo *Seleccionar Todos* (o *Seleccionar Nada*) en el menú desplegable. Para una selección más rápida, es posible predefinir grupos de elementos.

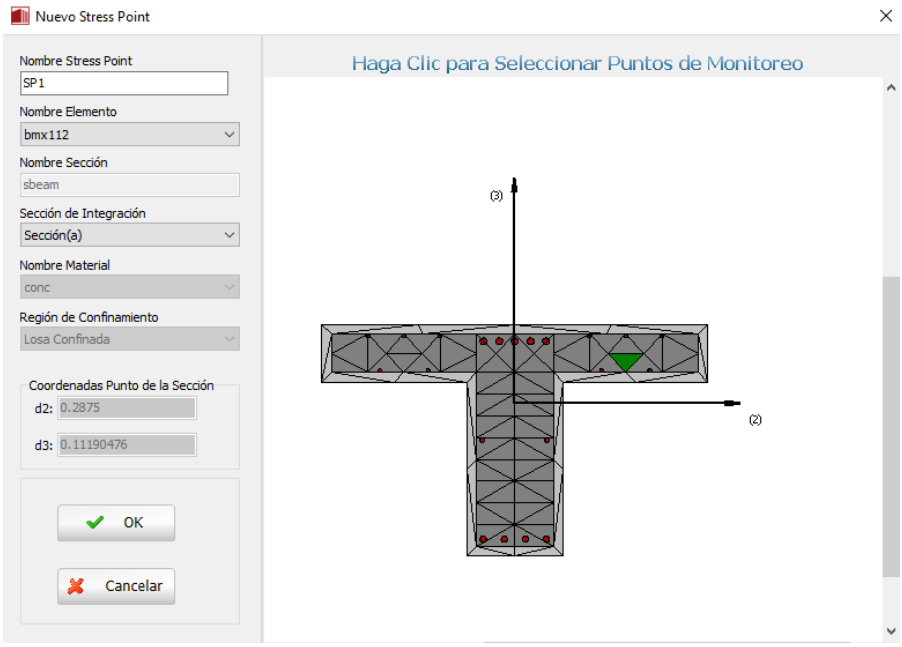
NOTA: La opción *Seleccionar Todos* debe ser utilizada con cuidado, dado que si se opta por obtener resultados de curvatura y valores pico de esfuerzos/deformaciones para todos los elementos de una estructura muy grande es posible que los archivos de output resulten excesivamente extensos (cientos deMb).

Output de Esfuerzos y Deformaciones en Posiciones Seleccionadas

Si los usuarios están interesados en rastrear la variación del esfuerzo y deformación de un determinado material, localizado en un punto seccional dado en las Secciones de Integración de elementos inelásticos de pórtico, entonces pueden definir Stress Points.

Para agregar un nuevo Stress Point, el usuario debe:

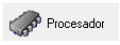
1. Hacer clic sobre el botón *Agregar*;
2. Asignar un nombre;
3. Seleccionar el nombre del elemento en el menú desplegable;
4. Seleccionar la sección de integración en el menú desplegable;
5. Seleccionar gráficamente en la figura de la sección el área a ser monitoreada. El material y las coordenadas de la sección se determinarán automáticamente por el programa.



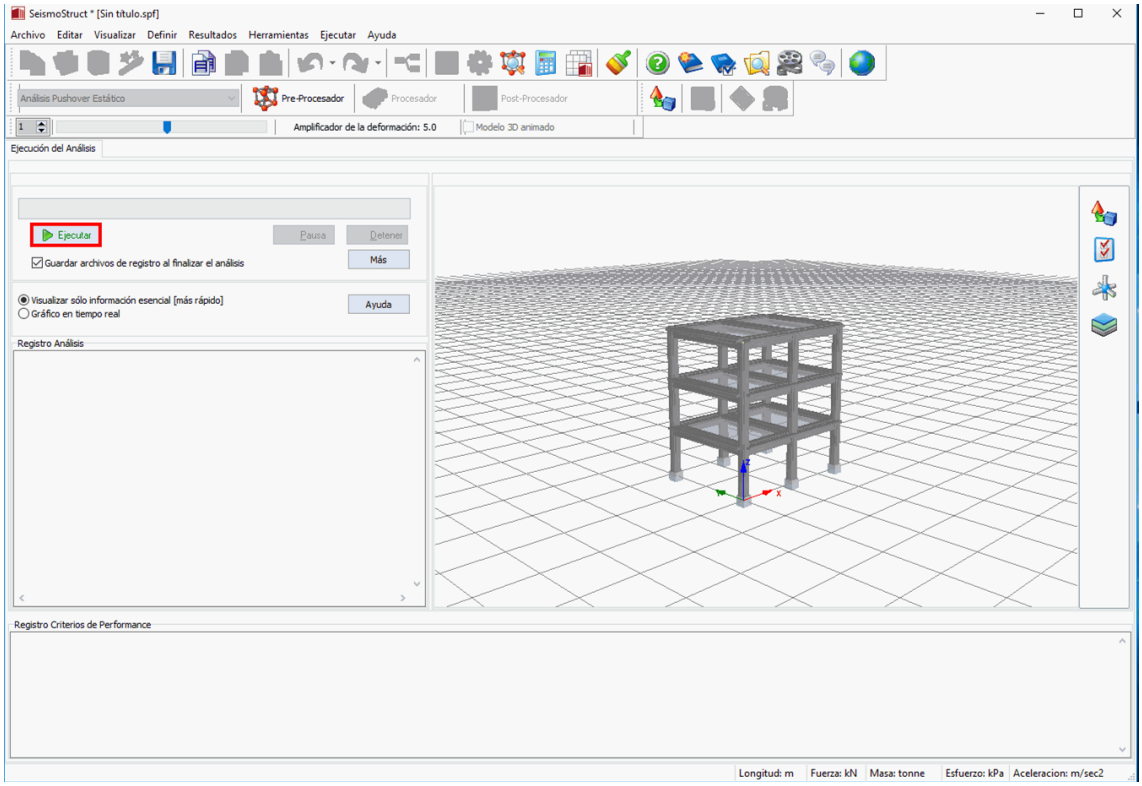
Agregar un nuevo Stress Point

NOTA: En el módulo de *Output*, el usuario puede encontrar también la opción de personalizar el gráfico de desplazamientos que se muestra en tiempo real durante el análisis de una estructura, seleccionando el nodo y grado de libertad a ser considerado. Para una mejor visualización, se recomienda a los usuarios mantener los ajustes por defecto, que son la utilización del desplazamiento de la cima respecto al corte basal para los análisis estáticos, y la deriva total a la cima (diferencia entre los desplazamientos de la cima y de la base) respecto del tiempo para los análisis dinámicos.

Procesador

Habiendo completado la fase de pre-procesamiento, el usuario puede proseguir con la ejecución del análisis. Éste es llevado a cabo en el área del **Procesador** de SeismoStruct, a la cual es posible acceder mediante el botón 

en la barra de herramientas o seleccionando *Ejecutar* > *Procesador* en el menú principal.



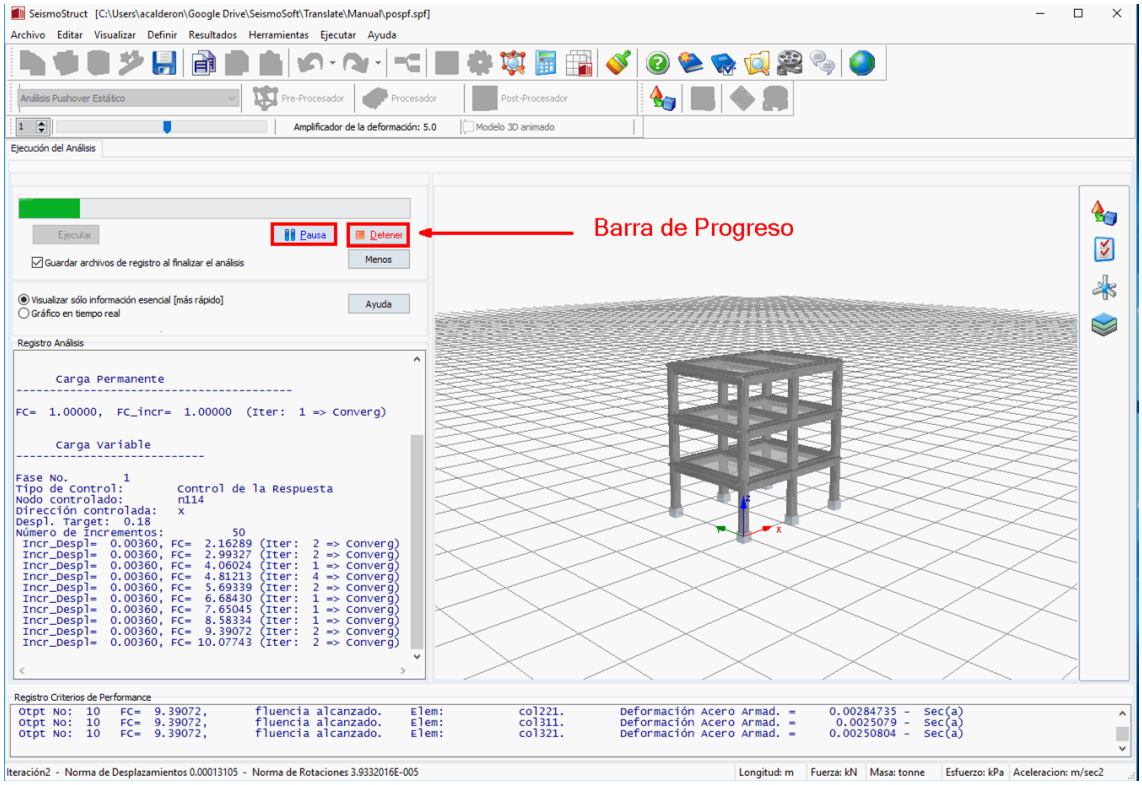
Área del Procesador

NOTA: Es posible realizar análisis simultáneos de múltiples modelos (hasta cientos, siendo la memoria física del ordenador el único límite) sometidos a cargas similares o diversas (por ej., un acelerograma), mediante su definición conjunta dentro del mismo archivo de proyecto (*.spf). De esta forma, es posible llevar a cabo un ahorro significativo de tiempo de cálculo, en especial cuando es necesario analizar un número elevado de modelos simples (por ej., voladizos con un solo grado de libertad), debido al ahorro en el output de los resultados en los archivos *.srf. Adicionalmente, es posible realizar un procesamiento automático de los resultados utilizando oportunamente el IDA (con un solo factor de carga).

Dependiendo del tamaño de la estructura, las cargas aplicadas y la capacidad de procesamiento del ordenador que se esté utilizando, el análisis puede tardar algunos segundos (análisis estático), varios minutos (análisis time-history) o incluso horas (análisis time-history de modelos 3D de gran tamaño y complejidad).

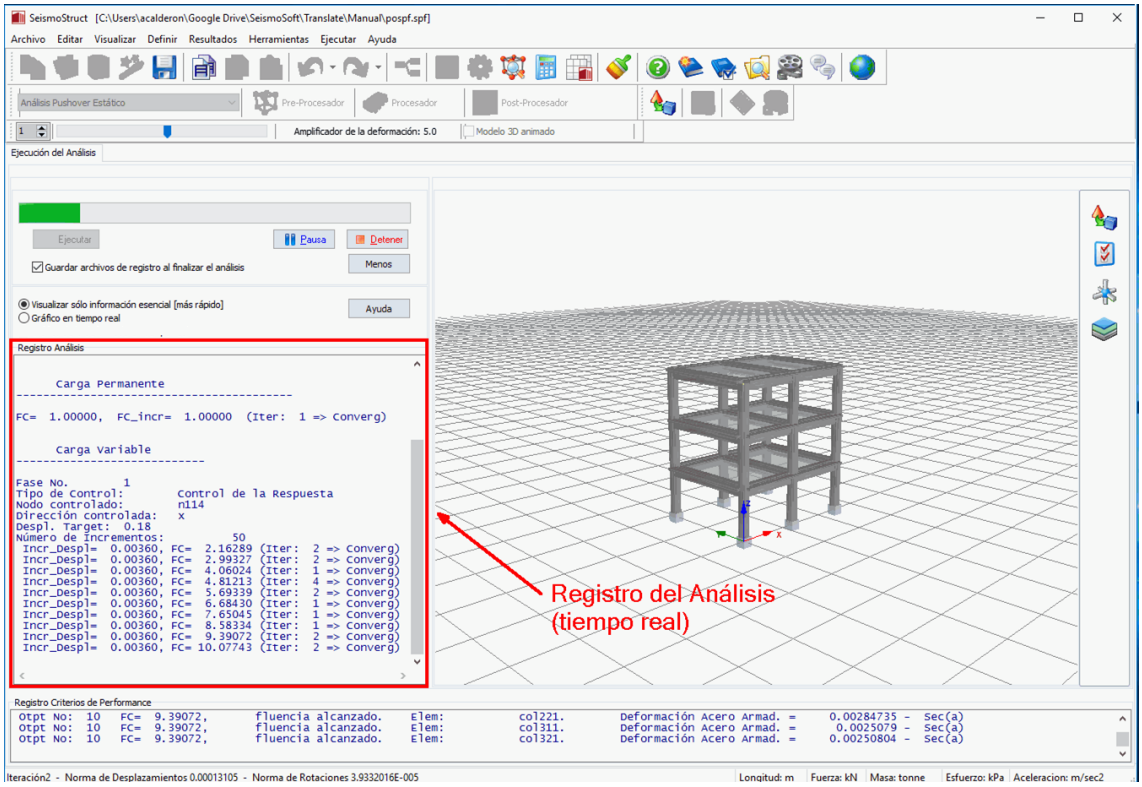
Durante la ejecución del análisis, una *barra de progreso* le indica al usuario el porcentaje de avance del mismo. Gracias a esto, el usuario puede evaluar rápidamente el tiempo que resta para terminar el proceso y planificar su esquema de trabajo subsiguiente.

El análisis también puede ser puesto en pausa, lo cual permite a los usuarios (i) liberar momentáneamente recursos del ordenador para llevar a cabo otra tarea urgente o (ii) verificar los resultados obtenidos hasta ese momento, lo cual puede ser útil para decidir si vale la pena continuar con la ejecución de un análisis extenso. Si el usuario presiona el botón *Ejecutar* nuevamente, el análisis puede continuar.



Barra de Progreso y Botones "Pausa"/"Detener"

El *Registro del Análisis* es también mostrado al usuario, en tiempo real, proveyendo información expeditiva respecto del progreso del análisis, el control de carga y las condiciones de convergencia (para cada incremento global de carga).



Área de Registro del Análisis en Tiempo Real

Este registro es guardado en un archivo de texto (*.log) con el mismo nombre que el archivo de proyecto, y que indica la fecha y hora en las que fue ejecutado el análisis (el tipo de información no técnica que puede resultar de gran utilidad en muchas ocasiones). Por otra parte, si el usuario ha especificado que se verifiquen criterios de performance durante el análisis, el registro en tiempo real correspondiente es también mostrado durante el análisis y guardado en el mismo archivo *.log.

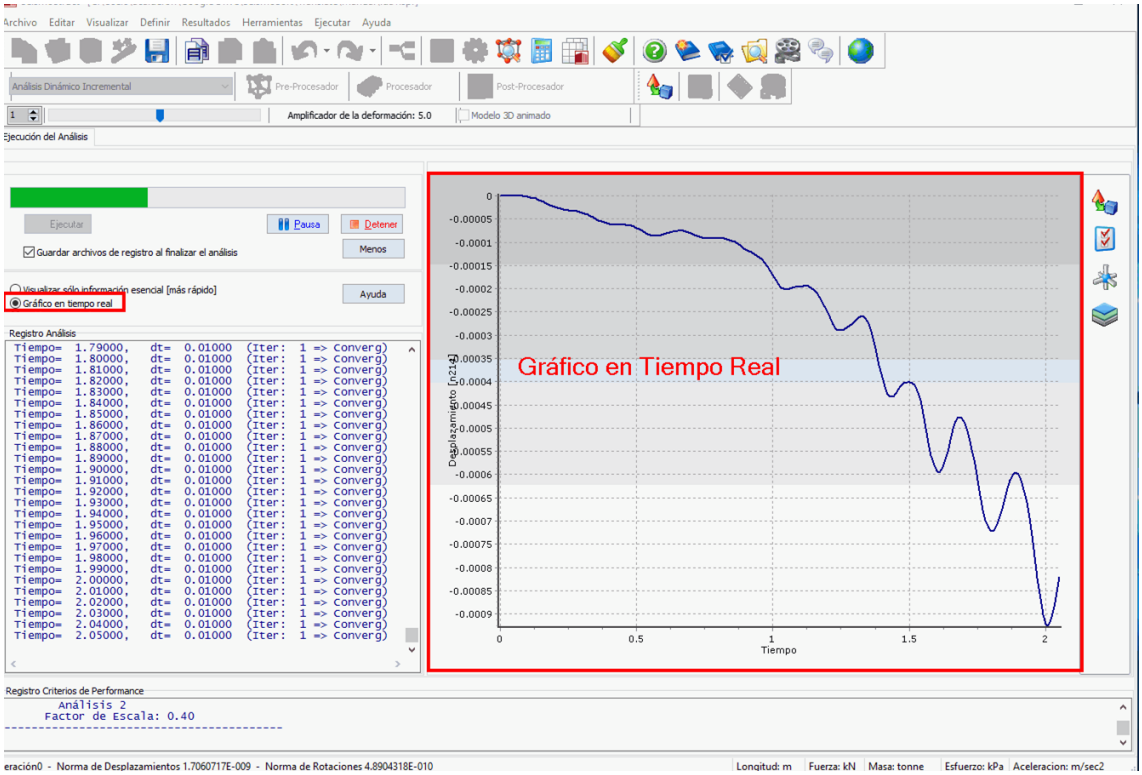
En la parte inferior de la ventana se muestran las normas de convergencia al final de un incremento (global) de carga dado.



Normas de Convergencia

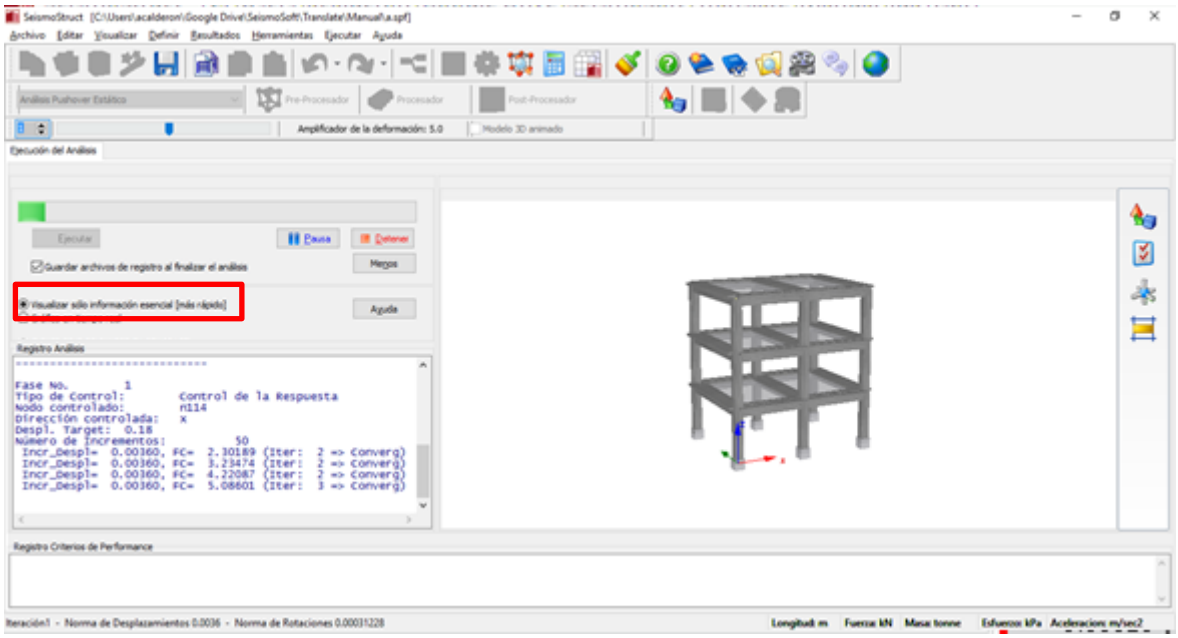
NOTA: Como en el caso del Registro del Análisis descrito anteriormente, esta información no hace referencia a los incrementos de carga o las iteraciones locales de los elementos con formulación basada en fuerzas, mencionados en *Ajustes de Proyecto > Elementos*.

Finalmente, el usuario tiene también la opción de observar el gráfico en tiempo real de la capacidad (pushover estático) o la curva de historial de desplazamientos (análisis time-history) de cualquier nodo dado y respectivo grado de libertad pre-seleccionado en el módulo **Output**.



Opción de Gráfico en Tiempo Real

Ambas opciones pueden, sin embargo, reducir la velocidad de procesamiento y aumentar el tiempo requerido para la ejecución del análisis al ser utilizadas en ordenadores relativamente lentos, por lo cual el usuario tiene también la opción de inhabilitar los gráficos en tiempo real y seguir sólo el registro del análisis.



Opción "visualizar sólo información esencial"

La visualización de este último también puede ser inhabilitada (haciendo clic sobre el botón *Menos*), con el fin de alcanzar incluso una mejor performance (sin embargo, en ordenadores modernos y rápidos esta diferencia resulta completamente despreciable).

NOTA 1: Al comienzo del análisis, es posible que se presente un mensaje con la advertencia "*Términos iguales a cero fueron encontrados en la diagonal de los siguientes nodos:* ". Esto significa que dicho nodo se encuentra completamente desvinculado en los grados de libertad indicados (es decir, el nodo no está conectado ni a un elemento ni a una restricción de vínculo capaz de proveer restricciones/rigidez en dichos grados de libertad), una condición que, si no es intencional, implica la existencia de un error en el ensamble del modelo. Si, por el contrario, dichos grados de libertad nodales no restringidos han sido introducidos intencionalmente, el usuario puede proceder con el análisis sabiendo, sin embargo, que en dichos casos es posible que surjan dificultades de convergencia numérica.

NOTA 2: Al ejecutar un análisis de eigenvalores, es posible que se presente el mensaje "*imposible re-ortogonalizar todos los vectores de Lanczos*", lo cual significa que el algoritmo de Lanczos (el actual algoritmo de resolución de eigenvalores en SeismoStruct) no ha podido calcular todos o algunos de los modos de vibración de la estructura. Este comportamiento puede ser observado ya sea (i) en modelos con errores de ensamble (por ej., nodos/elementos desconectados) o (ii) en modelos estructurales complejos que poseen links, articulaciones, etc. Si los usuarios han verificado cuidadosamente el modelo y no han encontrado errores de modelado, pueden intentar "simplificarlo", removiendo sus cualidades más complejas hasta alcanzar obtener los eigenvalores. Esto facilitará el entendimiento respecto de qué puede estar ocasionando el problema en la ejecución del análisis y, por ende, servir de ayuda para decidir cómo proseguir. Este mensaje aparece usualmente cuando se buscan demasiados modos (por ej., si se solicita buscar 30 modos en un modelo con 24 grados de libertad) o cuando el algoritmo de resolución Eigen no puede encontrar tantos modos (incluso si GDLs > modos).

NOTA 3: Debe notarse que la versión actual de SeismoStruct no cuenta con la posibilidad de multi-procesamiento, es decir, no puede aprovechar las ventajas del hardware con procesadores múltiples, por lo cual la velocidad de un solo análisis puede ser incrementada sólo aumentando la velocidad del CPU (junto con las velocidades de la caché del CPU, el Front Side Bus, la RAM, la RAM de video, el disco duro (rotación y acceso)). Sin embargo, la presencia de más de un CPU reduce los tiempos de ejecución de análisis múltiples contemporáneos ya que, en esos casos, sí es posible realizar "procesamiento en paralelo". Debe notarse también que, actualmente, SeismoStruct no puede hacer uso de más de 2GB de memoria para un análisis dado, por lo cual, una vez más, la disponibilidad de mayor capacidad de memoria será una ventaja sólo cuando análisis múltiples deban ser ejecutados en simultáneo.

NOTA 4: SeismoStruct presenta una limitación de RAM (4GB en Windows 64-bits y 3GB en Windows 32-bits).

NOTA 5: Hasta ahora, el desarollo de SeismoStruct se ha enfocado principalmente en la obtención de elevadas capacidades técnicas fáciles de usar, con un sacrificio obvio en términos de velocidad de ejecución de los análisis, lo cual es algo que esperamos resolver en el futuro. Por el momento, recomendamos encarecidamente asegurarse de que los modelos no presenten un número innecesariamente excesivo de elementos, fibras, incrementos de carga o iteraciones que, junto con el uso de *criterios de convergencia* muy restrictivos, contribuyen a ralentizar el análisis.

NOTA 6: Al utilizar el Algoritmo de Resolución Frontal, puede ocurrir que el análisis se detenga sin razón aparente, en distintos incrementos. En estos casos, se recomienda a los usuarios cambiar al Algoritmo de Resolución Skyline, el cual es numéricamente más estable.

Post-Procesador

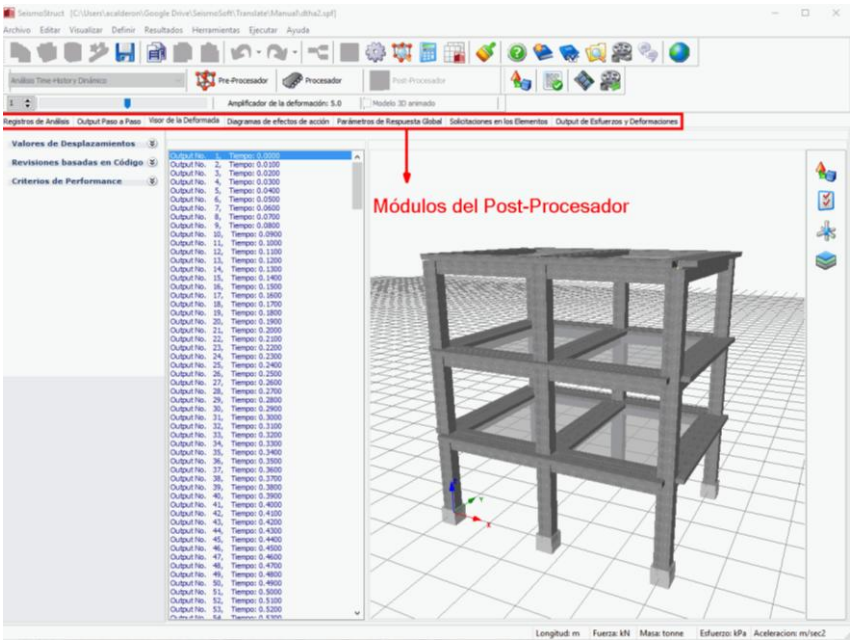
Los resultados del análisis son guardados en un archivo de resultados de SeismoStruct, distinguible por su extensión **.srf* y que llevará el mismo nombre que el archivo de input del proyecto. Al hacer doble clic sobre este tipo de archivos, se abre el**Post-Procesador** de SeismoStruct, al cual también es posible acceder mediante el botón 

en la barra de herramientas o seleccionando *Ejecutar* > *Post-Procesador* en el menú principal.

Al igual que el **Pre-Procesador**, el **Post-Procesador** presenta una serie de módulos en los cuales es posible visualizar los resultados de los distintos tipos de análisis en formato de tabla o gráfico, así como también copiarlos a cualquier otra aplicación de Windows (por ej., los resultados tabulados pueden ser copiados a una planilla de cálculo como Microsoft Excel, mientras que los gráficos pueden ser llevados a un procesador de texto, como Microsoft Word). Cabe recalcar que una herramienta especial para visualizar el máximo, el mínimo y el valor absoluto en todos los plots del Post-Procesador está disponible.

Los módulos disponibles son:

- Registros del Análisis
- Cantidades Modales/de Masa
- Desplazamiento Objetivo
- Output Paso a Paso
- Visor de la Deformada
- Problemas de Convergencia
- Diagramas de Fuerza Internas/Fuerzas Internas
- Revisiones Basadas en Código
- Parámetros de Respuesta Global
- Solicitaciones en los Elementos
- Revisiones de Criterios de Desempeño
- Output de Esfuerzos y Deformaciones
- Curva Envolvente IDA



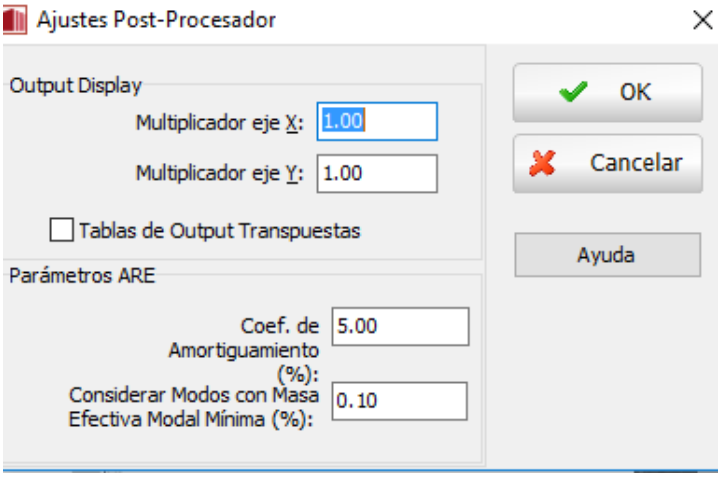
Módulos del Post-Procesador

Existen algunas operaciones generales aplicables a todos los módulos del Post-Procesador. Por ejemplo, la forma en que los componentes del modelo (nodos, secciones, elementos, etc.) son ordenados en sus respectivos módulos de pre-procesamiento determina la forma en que éstos aparecen en las ventanas de diálogo del post-procesador. Por ejemplo, si el usuario elige ordenar los nodos en forma alfabética, éstos aparecerán en orden alfabético en todos los menúes desplegables en los cuales los nodos deban ser enumerados, lo cual puede, en ciertos casos, facilitar y agilizar su individualización y selección.

Por otra parte, al utilizar menúes desplegables con entradas múltiples, es posible comenzar a escribir el identificador de un ítem con el fin de encontrarlo más rápidamente.

AJUSTES DEL POST-PROCESADOR

Con frecuencia, puede resultar útil la posibilidad de aplicar un factor multiplicativo o un coeficiente a los resultados. Por ejemplo, si el análisis ha sido ejecutado utilizando Nmm como unidad de medida para los momentos, los usuarios podrían querer multiplicar los resultados correspondientes por 1e-6, de forma tal de obtener momentos expresados en kNm. Alternativamente, y como segundo ejemplo, los usuarios podrían desear multiplicar los valores de esfuerzos del hormigón por un factor igual a -1, de forma tal que los esfuerzos y deformaciones de compresión sean graficados en el cuadrante x-y positivo, como es habitual. Por estas razones, SeismoStruct brinda a los usuarios la posibilidad de aplicar multiplicadores a todas las cantidades que pueden ser post-procesadas. Esto se lleva a cabo a través de la ventana de diálogo de los *Ajustes del Post-Procesador*, a la cual es posible acceder mediante el menú principal *Herramientas > Ajustes del Post-Procesador...*, o mediante el menú emergente que aparece al hacer clic derecho con el mouse, o a través del botón en la barra de herramientas.



Ajustes del Post-Procesador

Por otra parte, los *Ajustes del Post-Procesador* permiten también al usuario transponer las *tablas de output*. Esto puede resultar de gran utilidad, por ejemplo, en los casos en que un modelo posea varios miles de nodos/elementos, lo cual hace que se generen por defecto tablas de output con un número igualmente grande de columnas, que el usuario no podrá copiar y pegar en aplicaciones de planillas de cálculo (por ej., Microsoft Excel) que resulten relativamente restrictivas en su número máximo admisible de columnas (en Excel, 16384). Al transponer las tablas, los nodos/elementos serán enumerados por filas, superando así la limitación descrita (en general, el tipo de aplicaciones mencionado permite tablas con un máximo de 1048576 filas).

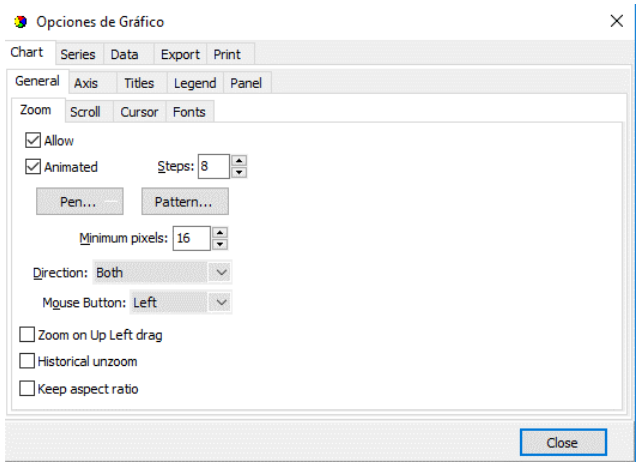
Finalmente, desde los *Ajustes del Post-Procesador*los usuarios pueden cambiar la razón de amortiguamiento y la masa modal efectiva de los modos que se tomarán en consideración en el Análisis del Espectro de Respuesta.

Estos dos ajustes, los cuales inicialmente fueron definidos en los *Ajustes del Pre-Procesador,* también pueden cambiarse en el Posprocesador, para poder adaptar las combinaciones de carga a las necesidades específicas de los usuarios.

NOTA:El Post - Procesador se aplica a todos sus módulos.. Por lo tanto, los usuarios deben tener presente que si, por ejemplo, aplican un coeficiente igual a -1 a los valores del corte basal total de la estructura (graficados sobre el eje *y* en el módulo de curvas histeréticas), entonces los valores de esfuerzos de los materiales (graficados sobre el eje *y* en el módulo de esfuerzos y deformaciones) también se verán afectados por este factor multiplicativo.

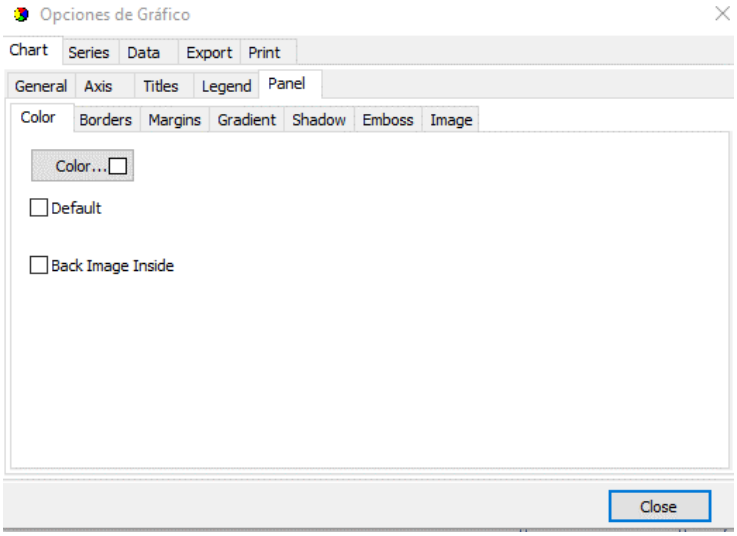
OPCIONES DE GRÁFICO

Todos los gráficos presentados en los módulos del **Post-Procesador** pueden ser ajustados y personalizados utilizando la herramienta *Opciones de Gráfico*, disponible en el menú principal (*Herramientas > Opciones Gráfico…*), en el botón de la barra de herramientas y en el menú emergente que se abre al hacer clic derecho con el mouse. El usuario puede cambiar allí las características de las líneas (color, espesor, estilo, etc.), el fondo (color, gradiente), los ejes (color, tamaño del texto, estilo de rótulos, etc.) y los títulos del gráfico. A través de los ajustes de Guardar Gráfico… y Cargas Ajustes de Gráfico…, disponibles en el menú desplegable con clic derecho. Los ajustes de las impresiones pueden guardarse y retirarse, respectivamente, para aplicarse en otros gráficos o plots.



Opciones de Gráfico – General

NOTA: Antes de copiar los gráficos de resultados a otras aplicaciones de Windows, los usuarios pueden desear remover el gradiente de fondo del gráfico, que se ve agradable en la pantalla pero queda bastante mal en documentos impresos. Esta modificación puede ser realizada en la pestaña "*Panel*" del cuadro de diálogo "*Opciones Gráfico*".



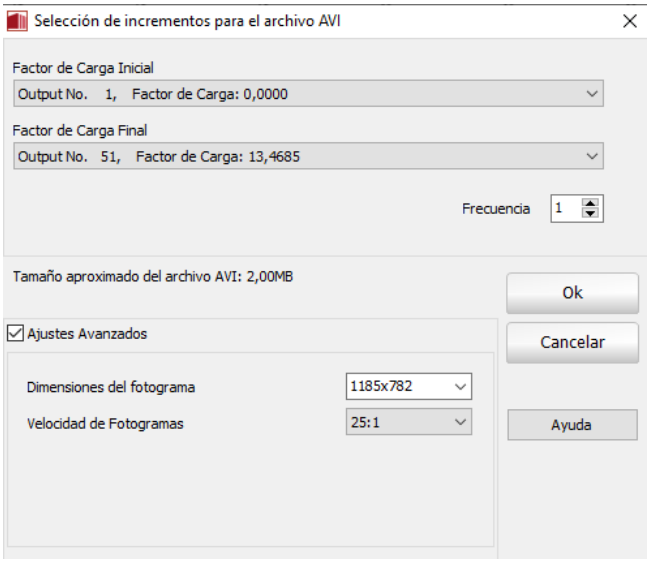
Opciones de Gráfico – Panel

Es posible ajustar el zoom arrastrando el mouse sobre el área del gráfico (una selección de la esquina superior izquierda a esquina inferior derecha acerca, mientras que una selección a la inversa, aleja).

Cómo Crear un Video del Análisis

SeismoStruct brinda a los usuarios la posibilidad de crear animaciones que ilustren la forma en que una estructura en particular, sometida a una serie de cargas dada, se deforma en el tiempo (análisis dinámico) o pseudo-tiempo (análisis estático). Asimismo, es posible también crear un video en el cual un cierto modo de vibración de la estructura (obtenido mediante análisis de eigenvalores) es representado en forma de animación. Es posible acceder a esta función a través del menú principal del programa (Herramientas > Crear Archivo AVI...) o mediante el botón correspondiente en la barra de herramientas  .

Para el caso de animaciones de análisis estáticos y dinámicos, los usuarios sólo deben definir el nombre del archivo de video (*.avi), el factor de carga (o el paso temporal) inicial y final, y la frecuencia de selección de las imágenes. Resulta evidente que, mientras menor sea la frecuencia, mayor será el número de imágenes a utilizar para la creación del video y, por lo tanto, mayor será la calidad ("suavidad" de la secuencia animada), pero también tanto mayor será el tamaño del archivo resultante. La menor frecuencia posible es 1, lo cual significa, en efecto, que todas las deformadas que han sido generadas como output serán utilizadas para la creación del video.

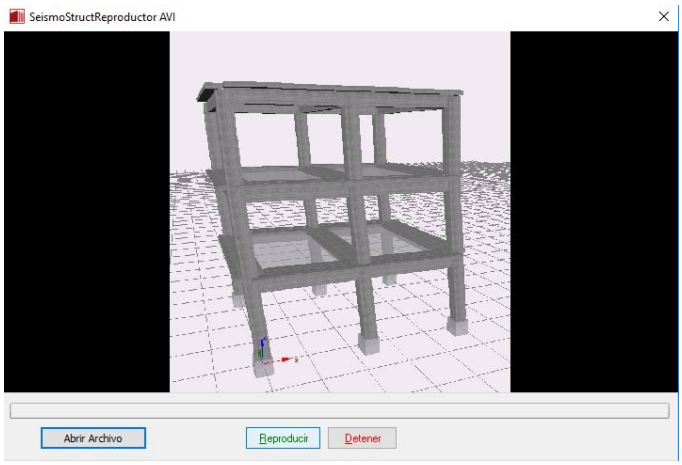


Selección de pasos para el archivo AVI

Si, por otra parte, el usuario desea crear un video que ilustre un determinado modo de vibración de una estructura en particular, entonces deberá definir el número de ciclos que desea que sean creados (es decir, cuántas veces se repetirá la animación modal) y el número de imágenes/cuadros a utilizar por ciclo. Evidentemente, mientras mayor sea el número de cuadros intermedios, más "suave" será la transición entre las imágenes de la animación, pero también será mayor el tamaño final del archivo.

Antes de crear la animación, se recomienda a los usuarios personalizar elGráfico 3D según sus necesidades y gustos, dado que estos ajustes se verán reflejados en el aspecto gráfico final del video. En particular, debe notarse que, durante la creación del video, los ejes del gráfico no son actualizados automáticamente, lo cual implica que los usuarios deben ajustar los ejes según los máximos valores requeridos antes de dar inicio al proceso de creación del video. Esto puede ser realizado ya sea mediante la observación de una deformada de output en la cual las deformaciones son máximas, o retocando manualmente las características de los ejes (haciendo uso de las opciones del Gráfico 3D).

Una vez que la animación ha sido creada, los usuarios pueden verificar que el resultado sea de su agrado mediante elVisor AVIincorporado en SeismoStruct, al cual es posible acceder mediante el menú principal (Herramientas > Mostrar Archivo AVI...)o a través del botón correspondiente en la barra de herramientas.



Reproductor AVI de SeismoStruct

Las animaciones creadas en SeismoStruct (es decir, los videos AVI) pueden ser abiertos también mediante otras aplicaciones de Windows tales como el Windows Media Player o, quizás aún más importante, Microsoft PowerPoint, donde pueden ser utilizados en presentaciones multimedia.

REGISTROS DEL ANÁLISIS

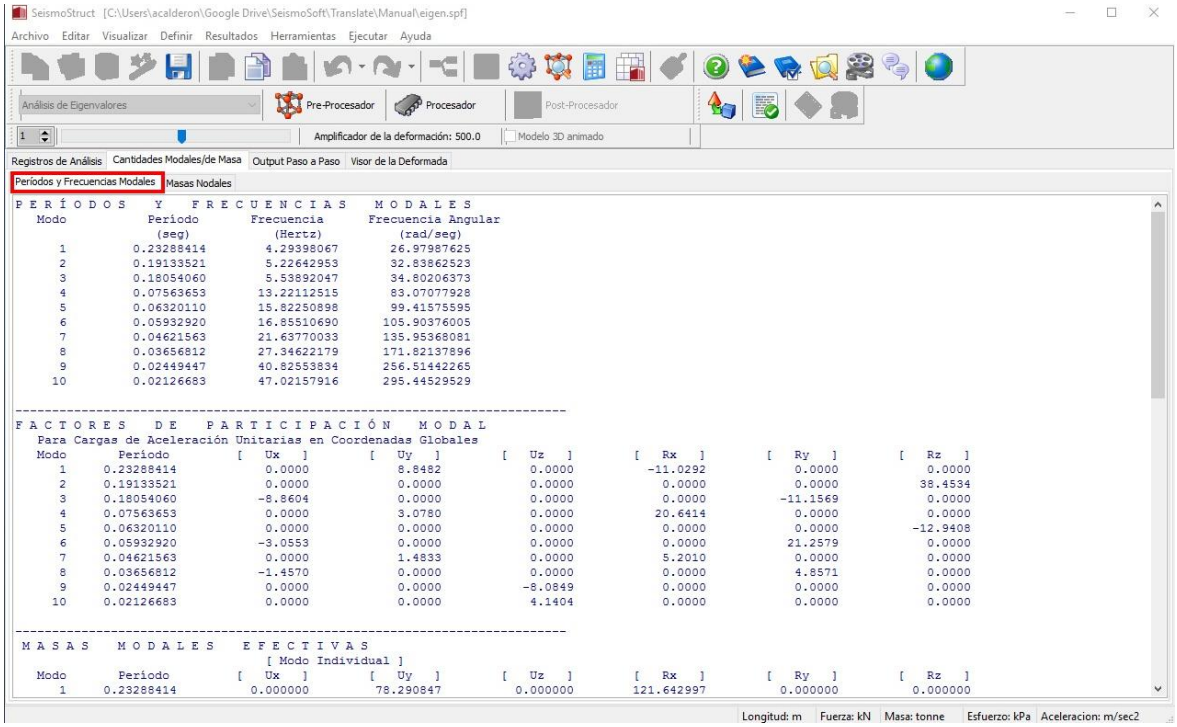
Como se explicó en el área del **Procesador**, durante la ejecución de cualquier análisis se genera un registro de su avance numérico y de la performance de respuesta del modelo, el cual es almacenado en un archivo de registro del proyecto (*.log). El contenido de dicho archivo puede ser visualizado en el módulo **Registros de Análisis** y, de ser necesario, puede ser también copiado y pegado en cualquier otra aplicación de Windows.

Debe notarse también que, dado que la fecha y hora del último análisis son guardadas en el archivo de registro, los usuarios pueden referirse a este módulo cuando requieran este tipo de información.

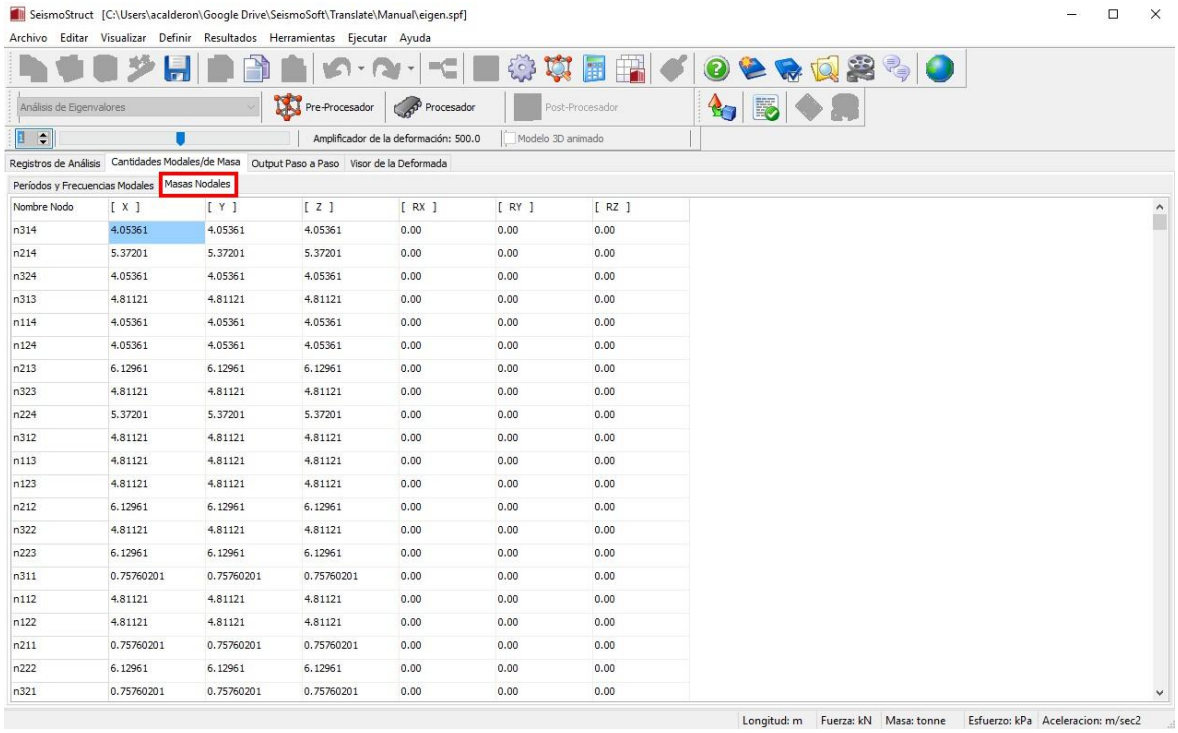
CANTIDADES MODALES/DE MASA

IMPORTANTE: Este módulo es visible sólo cuando han sido llevados a cabo análisis de Eigenvalores o Pushover Adaptativo. También se muestra con un nombre diferente 'Resultados de Eigenvalor', en el caso de análisis pushover cuando el desplazamiento meta se cálcula.

El módulo **Cantidades Modales/de Masa** provee un resumen de (i) los principales resultados modales (es decir, el período/frecuencia natural de vibración de cada modo, los factores de participación modal y las masas modales efectivas), y de (ii) las masas nodales. Estos resultados pueden ser copiados fácilmente a un editor de texto, mediante el menú emergente que aparece al hacer clic derecho con el mouse.



Módulo Cantidades Modales de Masa –Periodos y Frecuencias Modales



Nombre Nodo	[X]	[Y]	[Z]	[RX]	[RY]	[RZ]
n314	4.05361	4.05361	4.05361	0.00	0.00	0.00
n214	5.37201	5.37201	5.37201	0.00	0.00	0.00
n324	4.05361	4.05361	4.05361	0.00	0.00	0.00
n313	4.81121	4.81121	4.81121	0.00	0.00	0.00
n114	4.05361	4.05361	4.05361	0.00	0.00	0.00
n124	4.05361	4.05361	4.05361	0.00	0.00	0.00
n213	6.12961	6.12961	6.12961	0.00	0.00	0.00
n323	4.81121	4.81121	4.81121	0.00	0.00	0.00
n224	5.37201	5.37201	5.37201	0.00	0.00	0.00
n312	4.81121	4.81121	4.81121	0.00	0.00	0.00
n113	4.81121	4.81121	4.81121	0.00	0.00	0.00
n123	4.81121	4.81121	4.81121	0.00	0.00	0.00
n212	6.12961	6.12961	6.12961	0.00	0.00	0.00
n322	4.81121	4.81121	4.81121	0.00	0.00	0.00
n223	6.12961	6.12961	6.12961	0.00	0.00	0.00
n311	0.75760201	0.75760201	0.75760201	0.00	0.00	0.00
n112	4.81121	4.81121	4.81121	0.00	0.00	0.00
n122	4.81121	4.81121	4.81121	0.00	0.00	0.00
n211	0.75760201	0.75760201	0.75760201	0.00	0.00	0.00
n222	6.12961	6.12961	6.12961	0.00	0.00	0.00
n321	0.75760201	0.75760201	0.75760201	0.00	0.00	0.00

Módulo Cantidades Modalesde Masa – Masas Nodales

Con respecto a las masas nodales, SeismoStruct provee una tabla en la cual se resumen las masas de los nodos para cada grado de libertad (incluso rotacionales). Para cada nodo, la masa rotacional es calculada como la suma entre la masa rotacional definida específicamente por el usuario para ese nodo y el producto de la masa traslacional del nodo por el cuadrado de la distancia al centro de gravedad del modelo.

Los**factores de participación modal**, obtenidos como la **razón** entre el**factor de excitación modal**($L_n=\Phi_n^T*M$) y la **masa generalizada**($M_n=\Phi_n^T*M*\Phi_n$), proveen una medida de cuán fuertemente participa un modo dado en la respuesta dinámica de una estructura. Sin embargo, dado que las formas modales Φ_n pueden ser normalizadas en formas diferentes, la magnitud absoluta del factor de participación modal no tiene significado alguno y es, en cambio, su magnitud relativa respecto de los restantes modos que resulta de importancia [Priestley et al., 1996].

Por este motivo, y en particular para el caso de los edificios sometidos a un input sísmico, es habitual que los ingenieros/analistas utilicen la masa modal efectiva ($m_{eff,n}=L_n^2/M_n$) como medida de la importancia relativa que cada uno de los modos de la estructura tiene sobre su respuesta dinámica. De hecho, dado que $m_{eff,n}$ puede interpretarse como la parte de la masa total M de la estructura que es excitada por un modo n dado, los modos que presenten valores altos de masa modal efectiva son propensos a contribuir significativamente en la respuesta.

NOTA 1: Por mayor información respecto del análisis modal y sus respectivos parámetros, se recomienda a los usuarios consultar la literatura disponible [por ej., Clough and Penzien, 1993; Chopra, 1995].

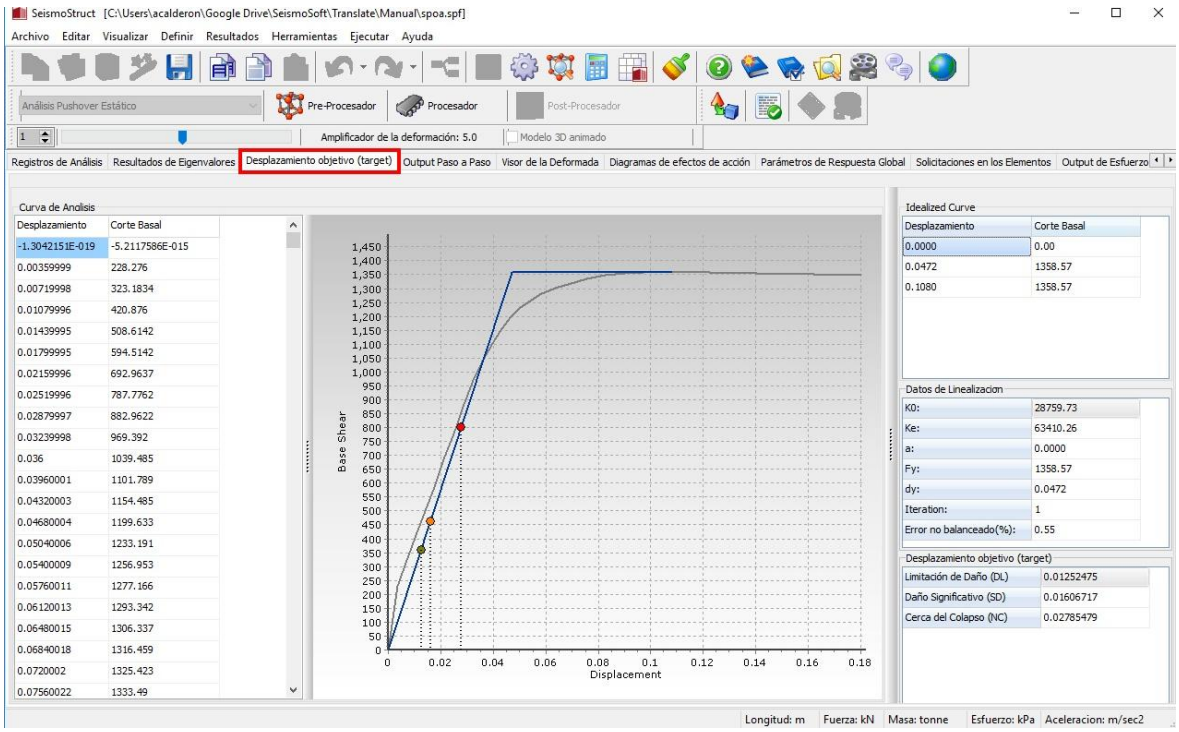
NOTA 2: Las formas modales se encuentran normalizadas respecto de la masa.

NOTA 3: Los Factores de Participación Modal (FPMs) para las rotaciones son calculados considerando una matriz de transformación definida de la siguiente manera (donde x_0, y_0, z_0 son las coordenadas del centro de masa), de forma tal que el factor de excitación modal se convierte en $L_n=\Phi_n^T*M*T_i$, a partir del cual la masa efectiva modal puede ser fácilmente obtenida (como para los grados de libertad traslacionales).

$$T_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & (z-z_0) & -(y-y_0) \\ 0 & 1 & 0 & -(z-z_0) & 0 & (x-x_0) \\ 0 & 0 & 1 & (y-y_0) & -(x-x_0) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

DESPLAZAMIENTO OBJETIVO

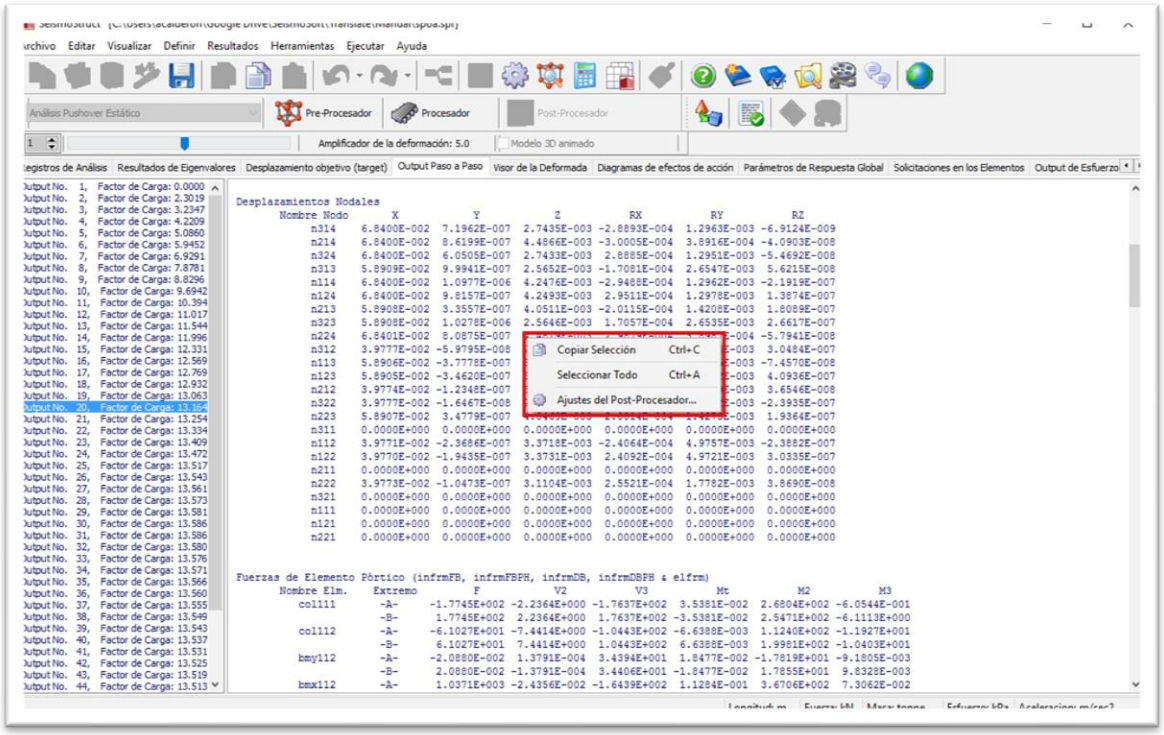
En el módulo de Desplazamiento Objetivo las curvas de capacidad antes y después de la linearización se muestran, junto con los desplazamientos objetivo calculados para los estados límites seleccionados. Información sobre la linearización y el cálculo del desplazamiento objetivo también se proveen aquí. El proceso de linearización siempre se lleva a cabo de acuerdo con la metodología establecida en el Código seleccionado. Los usuarios pueden referirse al Apéndice H–Códigos, para más información sobre el cálculo del desplazamiento objetivo.



Módulo de Desplazamiento Objetivo

OUTPUT PASO A PASO

Este módulo de post-procesamiento se aplica a todos los tipos de análisis y provee, como output tipotexto, todos los resultados analíticos (desplazamientos/rotaciones nodales, fuerzas/momentos de apoyos y elementos, deformaciones y esfuerzos de elementos) calculados por SeismoStruct para cada paso del análisis. El output paso a paso completo, o partes del mismo, pueden ser copiados a editores de texto para posterior manipulación, utilizando los correspondientes comandos del menú, métodos abreviados de teclado, botones de la barra de herramientas o el menú emergente que aparece al hacer clic derecho con el mouse.



Output Paso a Paso

En lugar de copiar y pegar los contenidos de este módulo, los usuarios pueden también utilizar simplemente la función *Exportar a Archivo de Texto*, dentro de la cual es posible seleccionar el rango de pasos incrementales del análisis que resulte de interés, así como un valor del incremento. Esta opción se encuentra disponible en el botón de la barra de herramientas. 

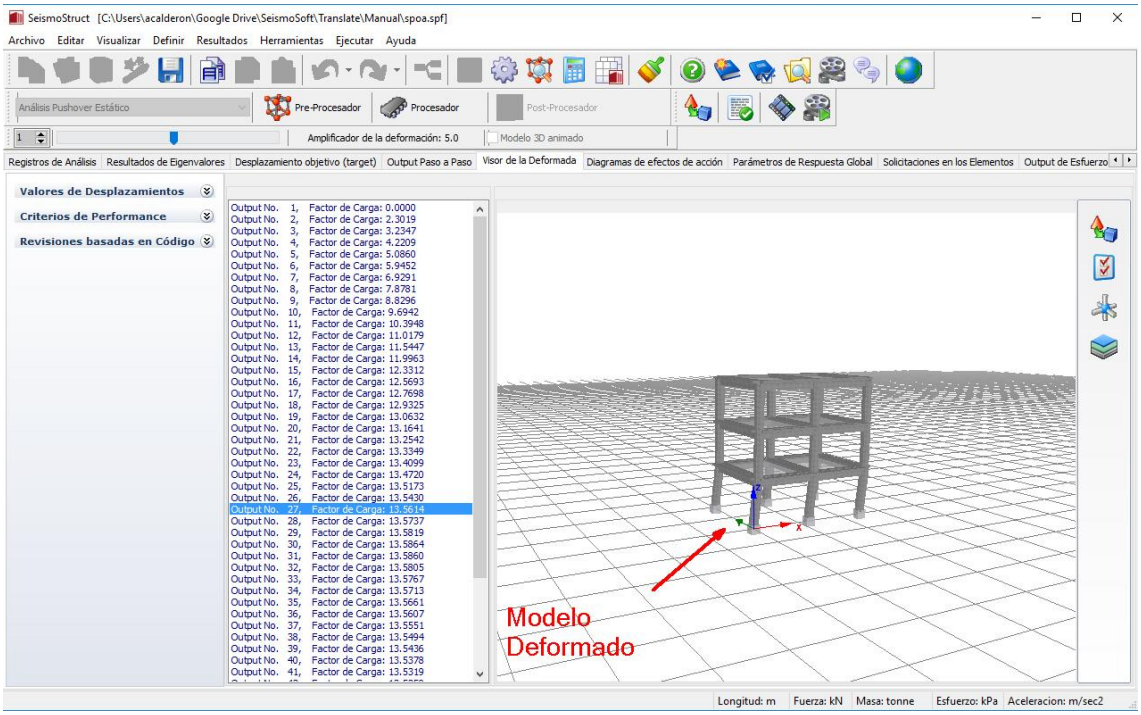
Finalmente, y como se explica en *Ajustes de Proyecto > General*, los usuarios pueden también activar la opción de crear, al final de cada análisis, un archivo de texto (*.out) que contenga el output completo del análisis (como viene dado en este módulo). Esta opción puede resultar útil para los usuarios que desean post-procesar los resultados en forma sistemática (y no ocasional), utilizando su propio código/aplicación de post-procesamiento personalizado/a.

NOTA 1: El output de resultados por incremento correspondiente a cargas permanentes aplicadas al comienzo de un análisis de pushover o time-history se refiere siempre al incremento en el cual se alcanzó el equilibrio, el cual habitualmente corresponde al único incremento/iteración requerido/a para equilibrar este tipo de cargas. Sin embargo, existen ocasiones (cargas permanentes muy grandes) en las que más de un/a incremento/iteración es requerido/a para alcanzar el equilibrio. Si los usuarios desean visualizar los pasos incrementales intermedios llevados a cabo hasta alcanzar la solución final equilibrada de dichas grandes cargas permanentes, deberán llevar a cabo un análisis estático para cargas no variables, para el cual dicho output es provisto.

NOTA 2: El output paso a paso de elementos elásticos de pórtico (elfrm) es provisto siempre luego del output correspondiente a los elementos inelásticos (infrm, infrmPH), incluso cuando los primeros preceden alfabéticamente a los segundos.

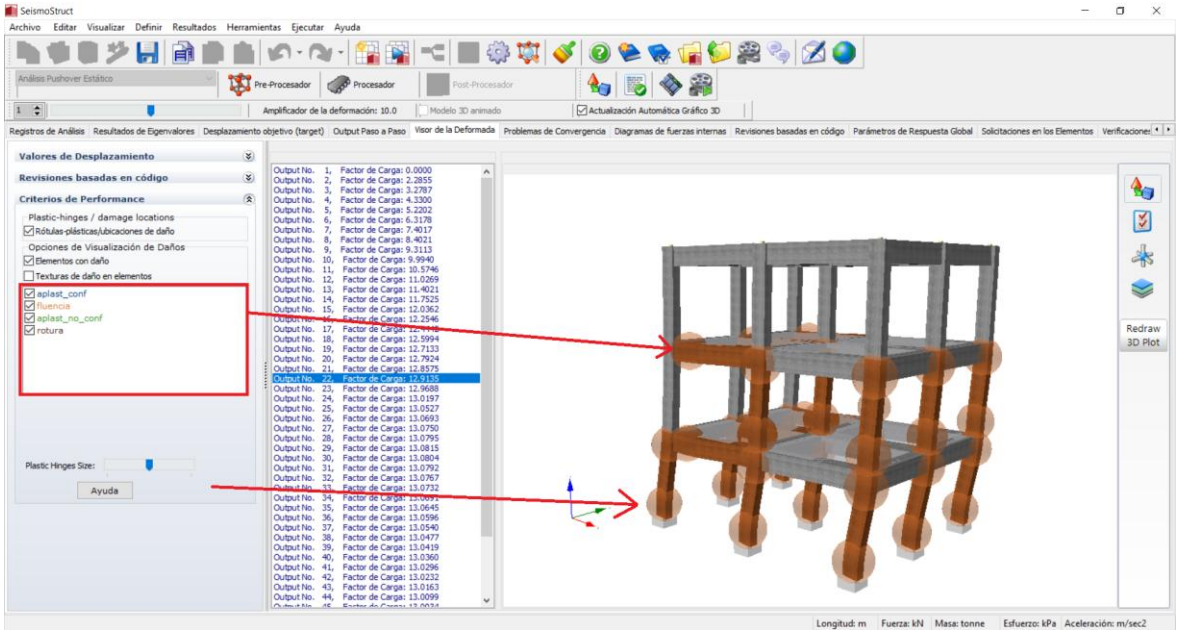
VISOR DE LA DEFORMADA

Con el *Visor de la Deformada*, los usuarios tienen la posibilidad de visualizar la deformada del modelo en cada paso del análisis (haciendo doble clic sobre el identificador del output deseado para actualizar la vista de la deformada) y, por ende, de identificar fácilmente los mecanismos de deformación y, eventualmente, colapso.

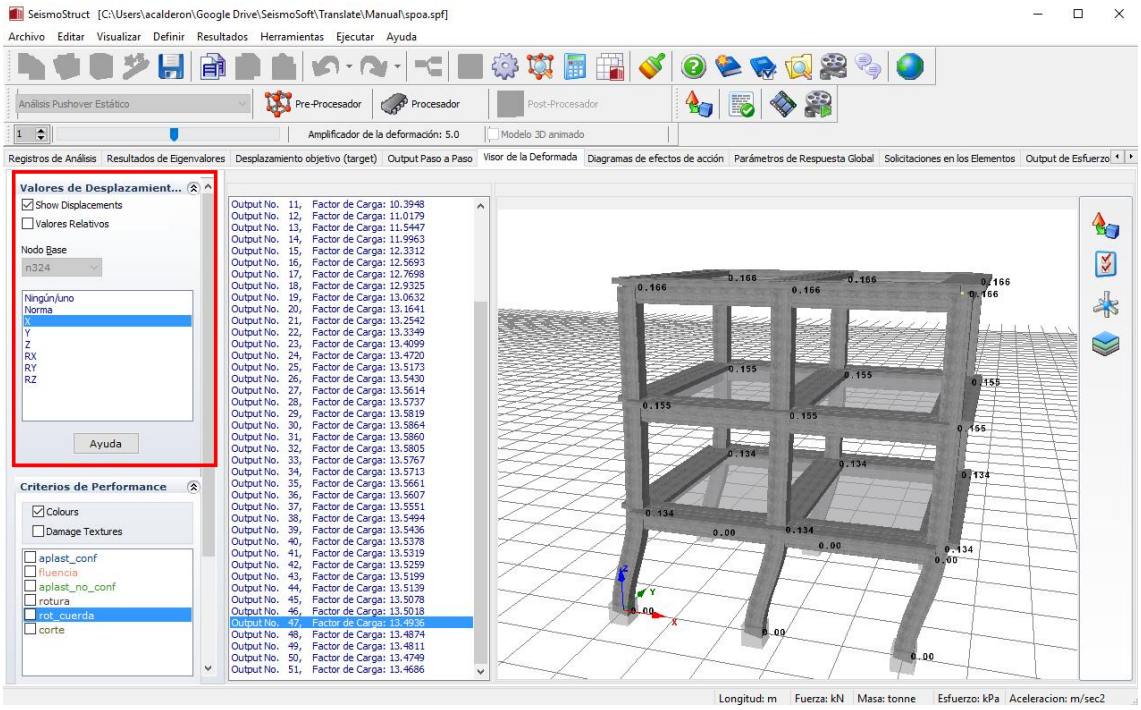


Visor de la Deformada

También está disponible en este módulo la posibilidad de visualizar las zonas de la estructura en las que se han alcanzado diferentes criterios de desempeño. Esto puede hacerse escogiendo la opción de *Mostrar Criterios de Performance*y seleccionar mostrar los lugares de rótulas plásticas/ daño y si tales lugares se distinguiran por medio de texturas y colores. Por otra parte, también es posible ver los valores de desplazamientos marcando la casilla correspondiente.

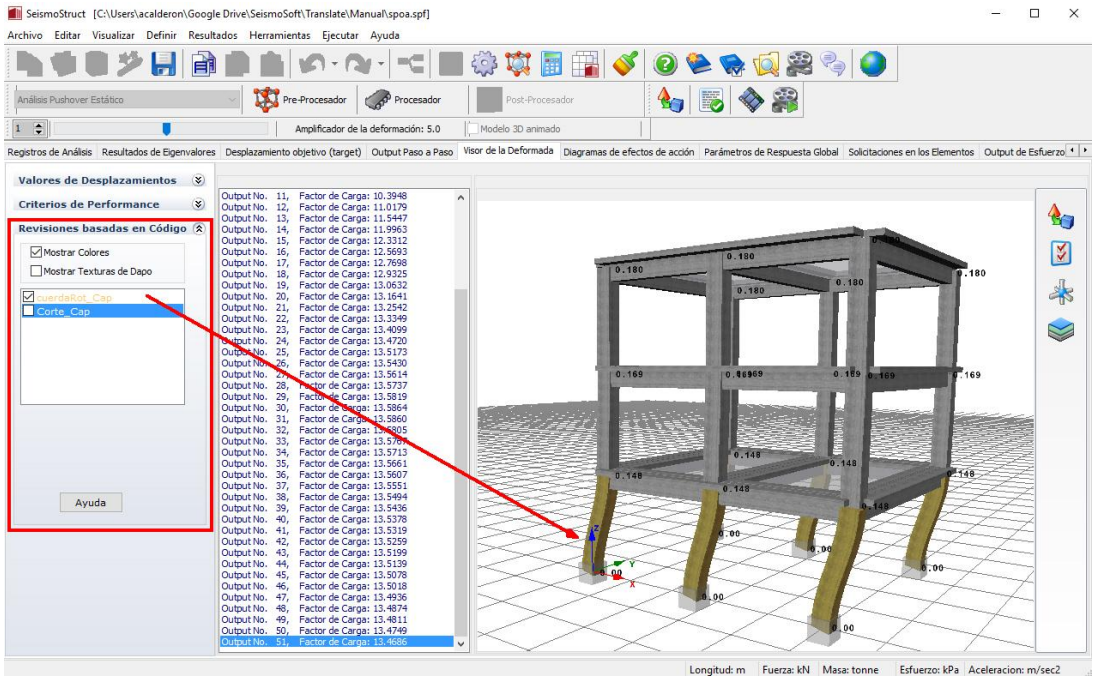


Visor de la Deformada – Opción Mostrar Criterios de Performance



Visor de la Deformada – Opción Mostrar Valores de Desplazamientos

Finalmente, los elementos que han excedido su capacidad de acuerdo a una revisión de código en particular puede ser visualizados escogiendola opción de Revisiones Basadas en Código y seleccionando si se mostrará la ubicación de rótulas/daño, y si se hará distinción se hará a través de colores y/o texturas.



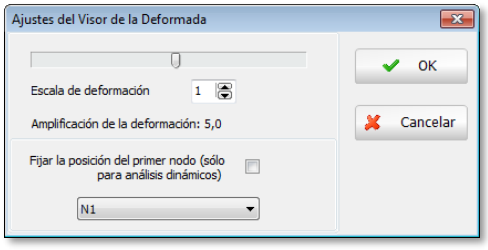
Visor de la Deformada – Opción de Revisiones Basadas en Código

El gráfico de la deformada puede ser ajustado y personalizado utilizando las *Opciones de Gráfico 3D* y luego copiado a cualquier aplicación de Windows mediante la herramienta *Copiar Gráfico 3D*. Además, cuando la deformada de la estructura en tiempo real sea de difícil interpretación (ya sea porque los desplazamientos son demasiado grandes o demasiado pequeños), es posible utilizar el *Multiplicador de la Deformada*, que se encuentra en el menú desplegable que aparece al hacer clic derecho con el mouse o a través del menú principal (*Herramientas* > *Ajustes Deformada...*) o mediante el botón correspondiente en la barra de herramientas, para adaptar mejor la imagen.

Finalmente, y en el caso de análisis dinámicos, resulta de utilidad seleccionar la opción *Fijar nodo seleccionado*, de forma tal que sólo sean graficados los desplazamientos relativos de la estructura, que son los que resultan de interés en Ingeniería. Resulta evidente que, para que esta opción funcione, el "nodo seleccionado" debe ser un nodo de la base de la estructura; si se ha utilizado el *Asistente*, el nodo seleccionado por defecto es el n111 (ver en la figura siguiente).

Por otra parte, la deformación absoluta de cuerpo rígido de los nodos de fundación de una estructura (resultantes de la doble integración del historial de aceleraciones) suele ser grande e irreal, dado que durante el proceso de integración no son aplicados ni la corrección de la línea de base ni otros tipos de filtros que serían necesarios para obtener resultados razonables.

IMPORTANTE: Resulta altamente recomendable hacer uso siempre de esta opción al post-procesar resultados de análisis dinámicos.

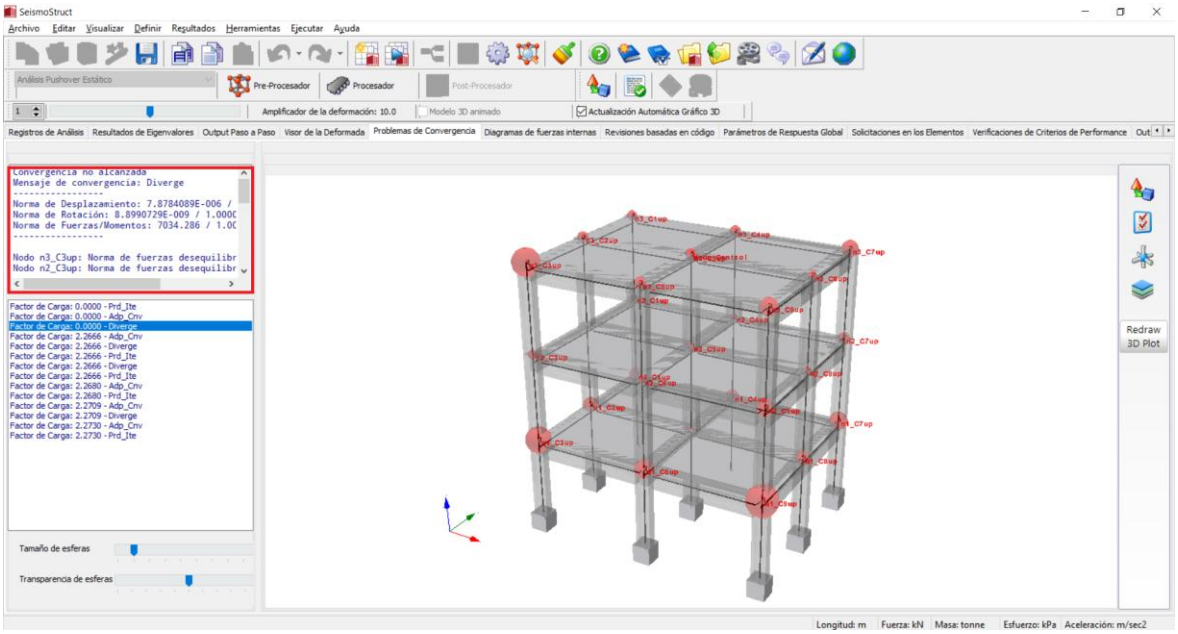


Ajustes de la Deformada

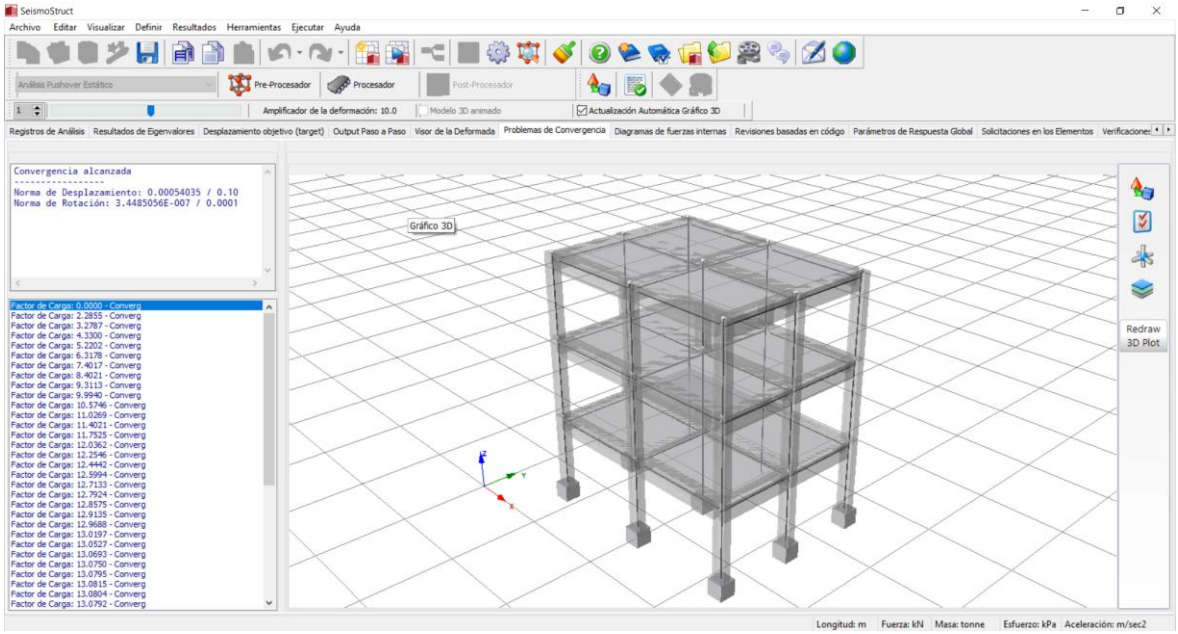
NOTA: Para que los gráficos de la deformada se encuentren disponibles, los parámetros de respuesta nodal deben haber sido seleccionados como output para todos los nodos estructurales (ver módulo de Output); de lo contrario, el Post-Procesador carecerá de información suficiente para realizar este tipo de gráficos.

PROBLEMAS DE CONVERGENCIA

Cuando surgen problemas de convergencia, los usuarios pueden ser informados sobre los elementos que causan las soluciones divergentes. Los elementos o las ubicaciones de la estructura, donde se producen los problemas de convergencia, están marcados en el formato de vista 3D, mientras que la información sobre el tipo de divergencia (valor de las normas de convergencia y sus límites, mensaje de divergencia y los elementos o nodos correspondientes) se muestra en la esquina superior izquierda de la pantalla.



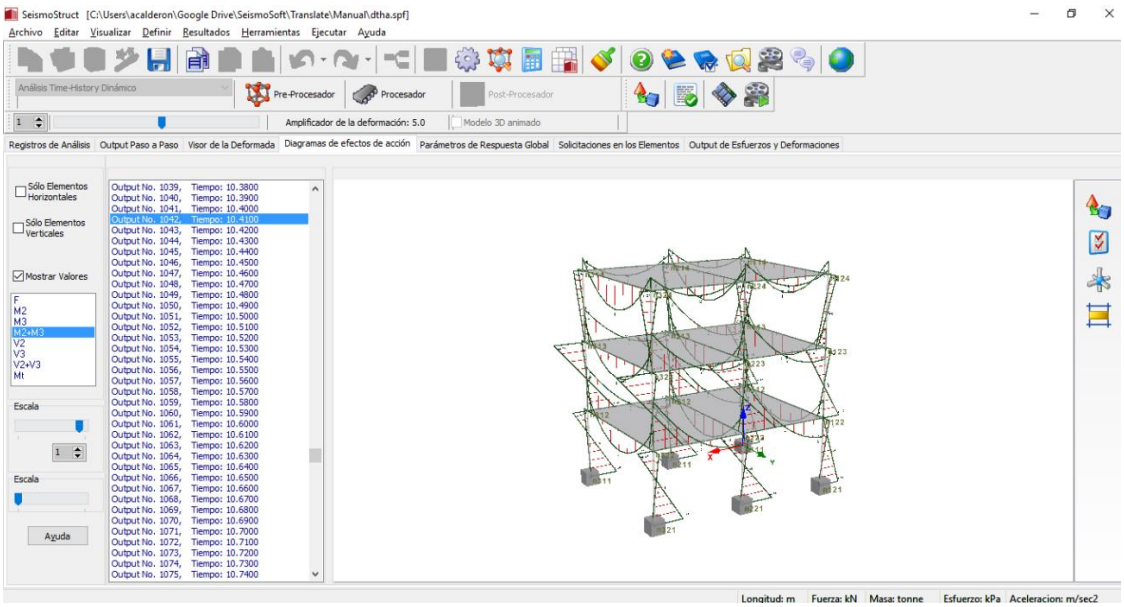
Problemas de Convergencia



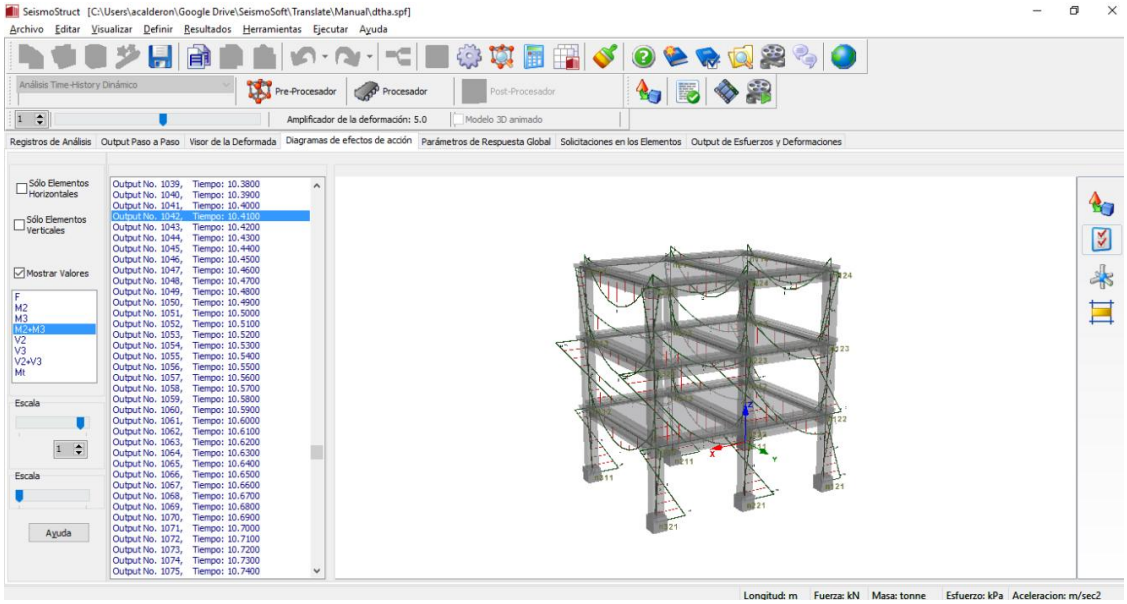
NOTA: Los usuarios deben activar en Configuración de proyecto> Criterios de convergencia la opción de mostrar las dificultades de convergencia en el postprocesador para poder ver la pestaña Problemas de convergencia en el postprocesador.

DIAGRAMAS DE FUERZAS INTERNAS

Los diagramas de fuerzas internas (axial y cortante) y los momentos (flexión y torsión) se proveen en gráficos 3D. De forma predeterminada los diagramas para los elementos verticales y horizontales se muestran en el mismo gráfico. Si el usuario desea obtener los diagramas por separado (solamente vertical u horizontal), deben marcar la casilla correspondiente. La posibilidad de escalar los diagramas y el espesor de las líneas también está disponible.

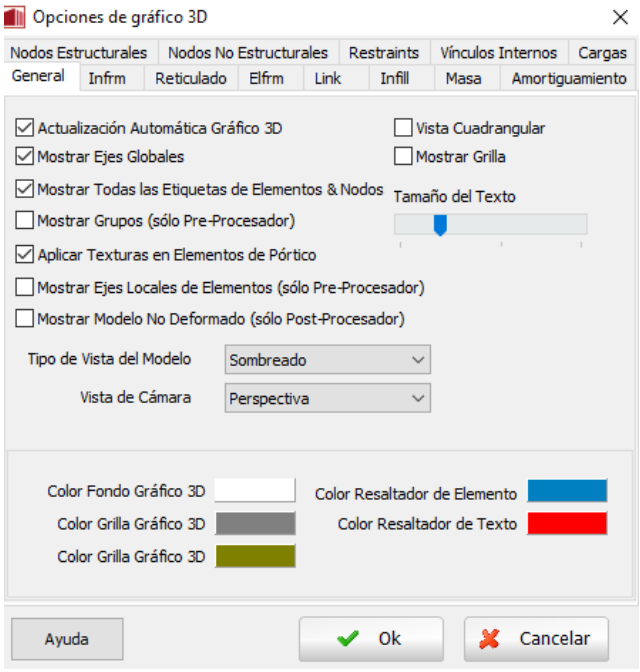


Diagramas de Fuerzas Internas (Elementos como líneas)



Diagramas de Fuerzas Internas

Los usuarios pueden modificar los diagramas, a través de la pestaña de 'infrm' o 'elfrm' en el menú de *Opciones de Gráfico en 3D* (p. ej. los colores de la línea principal y secundarias, el número de líneas secundarias, y los valores).

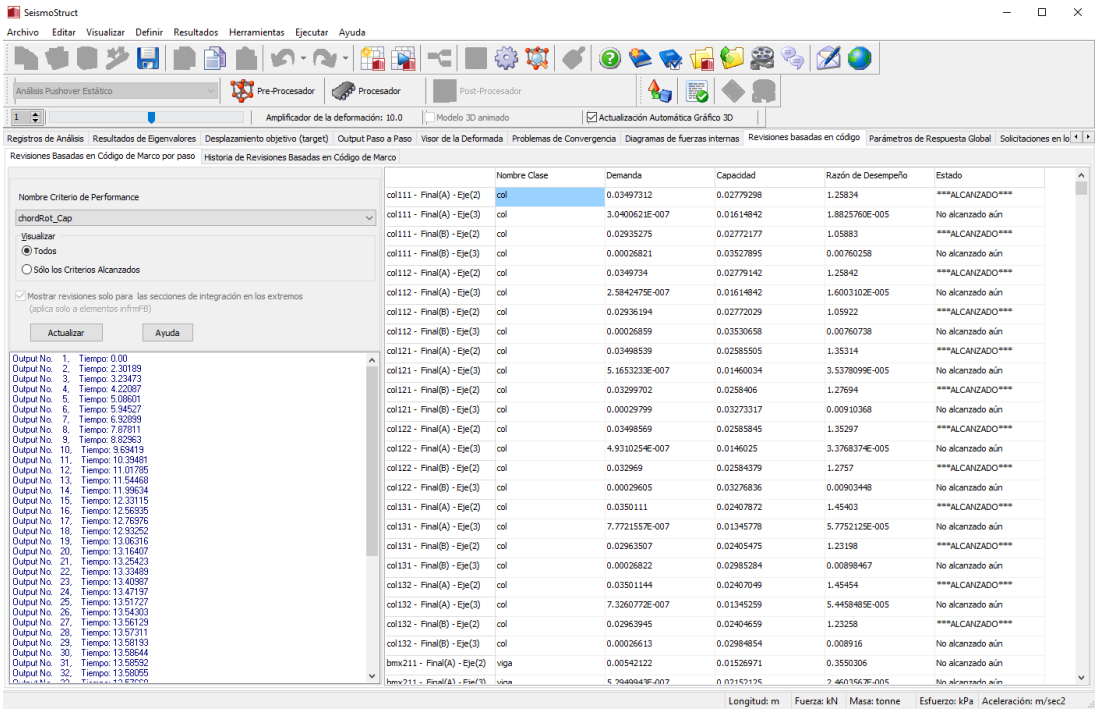


Opciones de Gráfico en 3D

Revisiones Basadas en Código

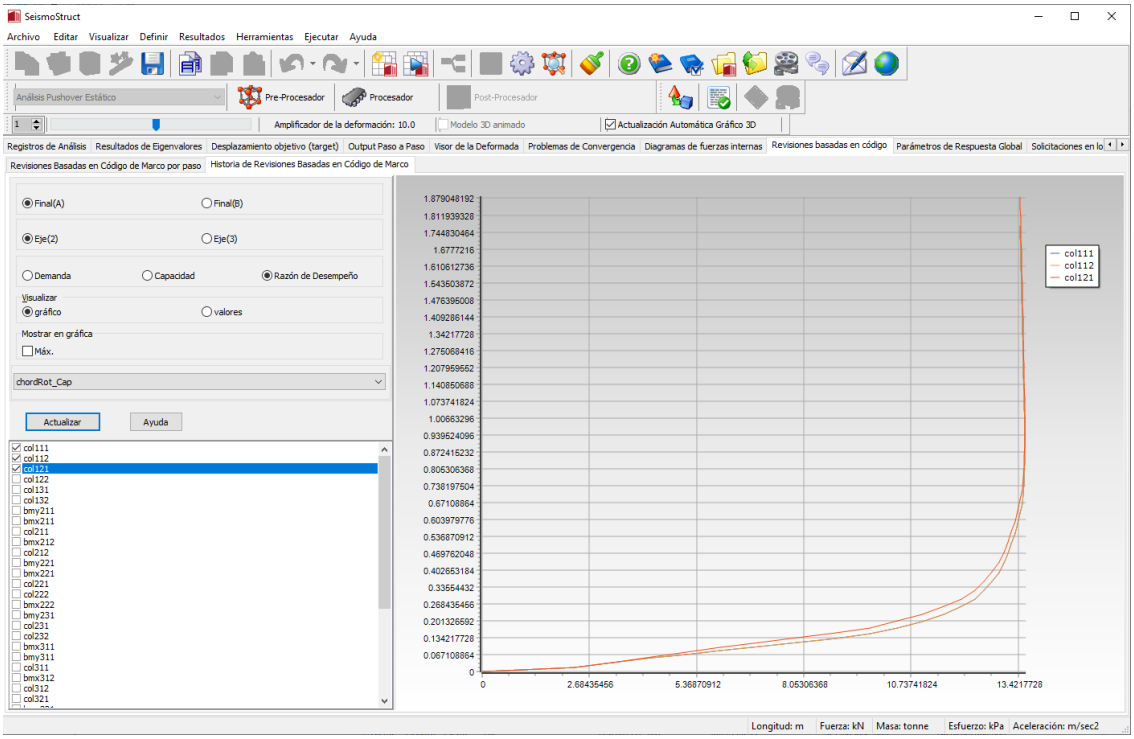
Aquí es posible para el usuario llevar a cabo revisiones basadas en código. Se encuentran disponibles diferentes pestañas para Verificaciones Basadas en Códigos paraelementos de portico y Verificaciones Basadas en Códigos para elementos de mampostería por paso.Primero, el usario debe seleccionar el nombre de la revisión en el menú desplegable. Luego, es necesario seleccionar el paso del análisis (p. ej. un estado límite en particular). En lo referente a las opciones de visualización, los resultados pueden

mostrarse para todos los elementos o únicamente para aquellos elementos que han alcanzado el criterio seleccionado.



Revisiones basadas en código - Revisiones basadas en código por paso

Además, el usuario puede extraer el historial de las revisiones basadas en código de los miembros estructurales. Se encuentran disponibles diferentes pestañas para el historial de las revisiones basadas en códigos de marco y de mampostería. Los usuarios deben seleccionar el nombre de la revisión basada en código del menú desplegable, luego, deben seleccionar el elemento y hacer clic en el botón Actualizar. Los resultados se pueden mostrar en forma de gráfico o tabla. Finalmente, los valores máximos se pueden mostrar en el gráfico seleccionado.



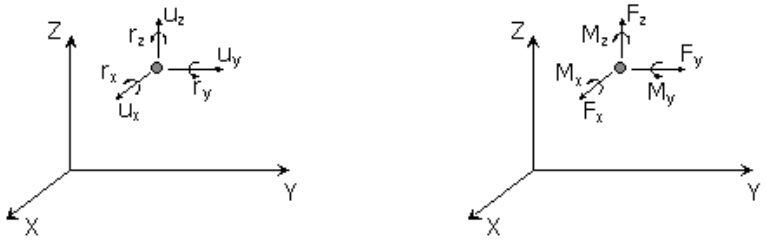
Revisiones basadas en código - Historia de revisiones basados en código

PARÁMETROS DE RESPUESTA GLOBAL

Dependiendo del tipo de análisis y/o de los parámetros de input definidos en el Pre-Procesador, hasta seis tipos de parámetros de respuesta global pueden ser obtenidos como output en este módulo:

- Desplazamientos Estructurales
- Fuerzas y Momentos en los Apoyos
- Aceleraciones y Velocidades Nodales
- Fuerzas Totales de Inercia y de Amortiguamiento
- Curvas Histeréticas

A excepción de este último, todos los resultados están definidos en el sistema global de coordenadas, como se ilustra en la figura más abajo, en la cual debe notarse que las variables de rotación/momento definidas con respecto a un eje en particular, se refieren siempre al momento alrededor (y no a lo largo de) ese mismo eje.

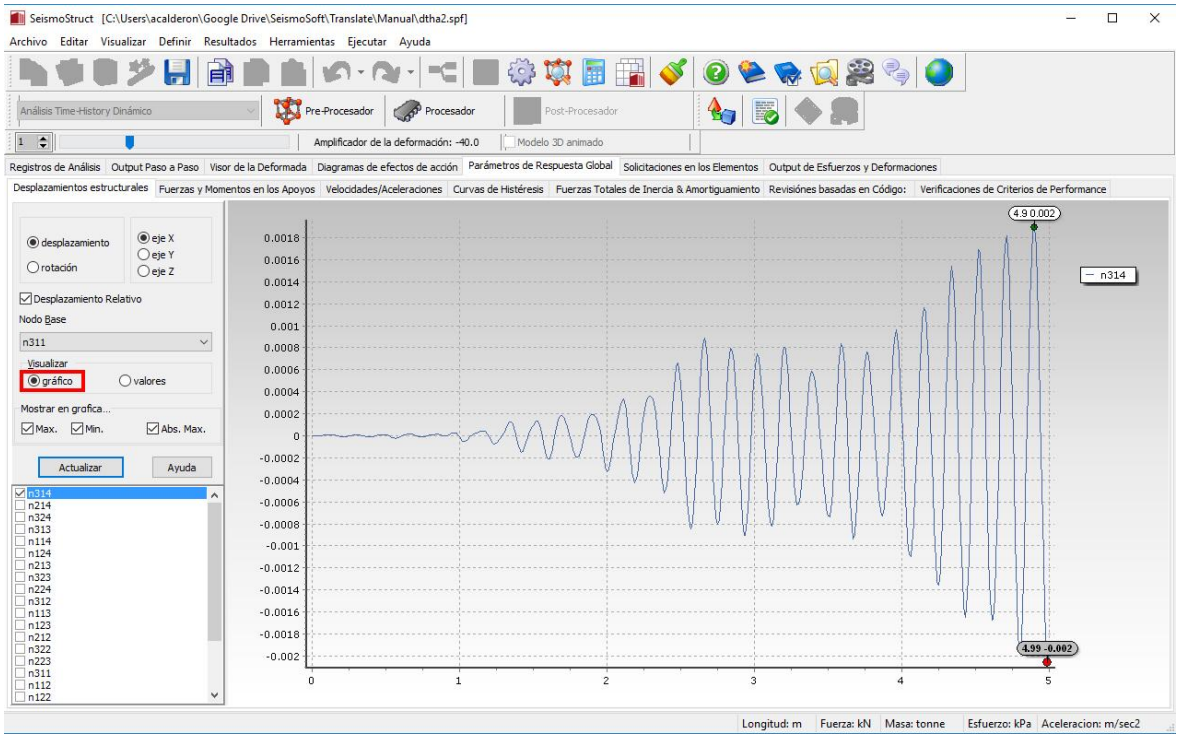


NOTA: Las reacciones en los apoyos deberían ser, en principio, iguales a las fuerzas internas en la base de los elementos conectados a los nodos de fundación. En otras palabras, uno habitualmente esperaría que los valores obtenidos en *Fuerzas y Momentos en los Apoyos* fueran idénticos a aquellos dados en *Solicitaciones en los Elementos* para los elementos conectados a las fundaciones. Sin embargo, algunos factores pueden conducir a la existencia de diferencias entre estos dos parámetros de respuesta: (i) Las solicitaciones en los elementos están dadas en el sistema local de referencia de cada elemento, mientras que las reacciones en los apoyos son provistas en el sistema global de coordenadas. Por lo tanto, en los casos en los que la estructura experimenta grandes desplazamientos/rotaciones, es posible observar diferencias entre las fuerzas de corte en los elementos y las reacciones horizontales en los apoyos. (ii) En los análisis dinámicos con amortiguamiento viscoso equivalente proporcional a la rigidez tangencial, y sólo en algunos casos (típicamente, ménsulas con carga axial baja/nula), puede ocurrir que se observen diferencias entre las solicitaciones internas de los elementos y las reacciones en los apoyos, debidas a respuestas numéricas espurias (asociadas al hecho de que el amortiguamiento proporcional a la rigidez tangencial se comporta de manera histerética y, por ende, puede desarrollar amortiguamiento incluso para velocidades iguales a cero). (iii) La presencia de offsets ("retiros").

Todos estos parámetros son brevemente descritos a continuación:

Desplazamientos Estructurales

El usuario puede obtener los resultados de desplazamientos de cualquier número dado de nodos, respecto de uno de los seis grados de libertad globales disponibles. Debe notarse que en los análisis dinámicos es recomendable graficar desplazamientos nodales *relativos* (con respecto a un apoyo) en lugar de *absolutos*. De hecho, debido a que la deformación absoluta de cuerpo rígido de los nodos de fundación de una estructura (resultante de la doble integración del historial de aceleraciones sin correcciones ni filtros) suele ser grande e irreal, los desplazamientos absolutos proveen escasa información sobre las características reales de la respuesta estructural, razón por la cual habitualmente no son considerados al post-procesar análisis dinámicos.

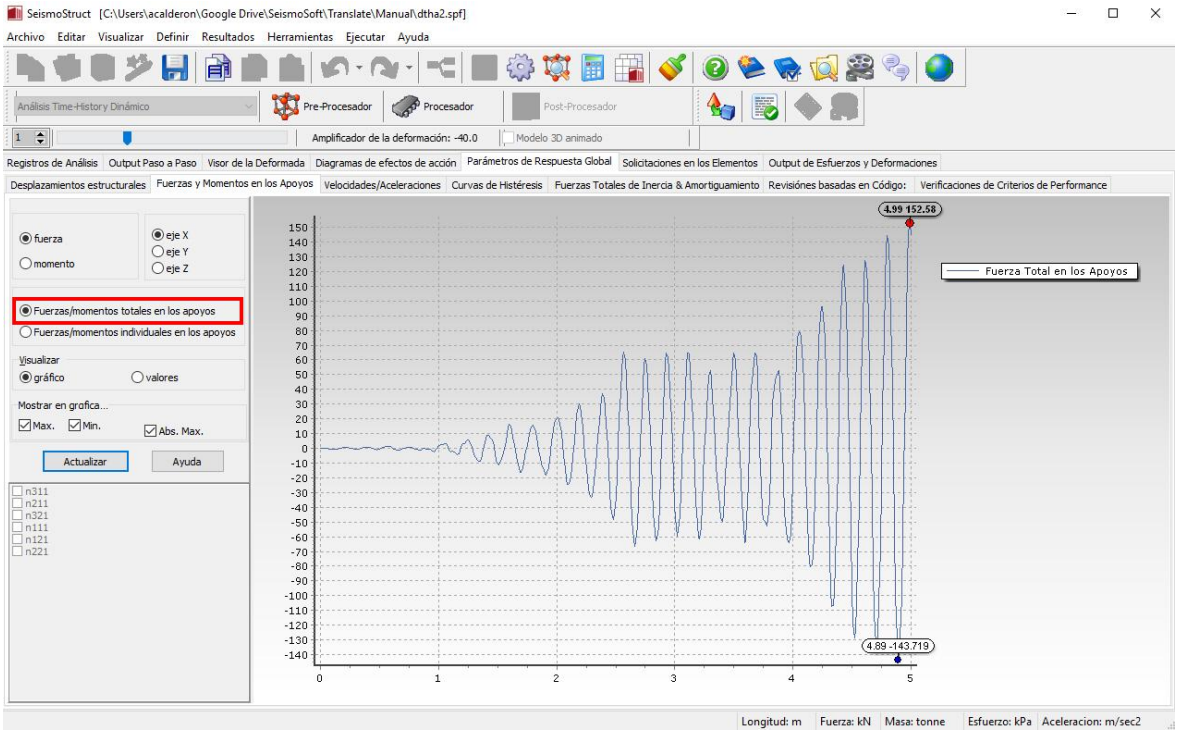


Parámetros de Respuesta Global – Desplazamientos Estructurales

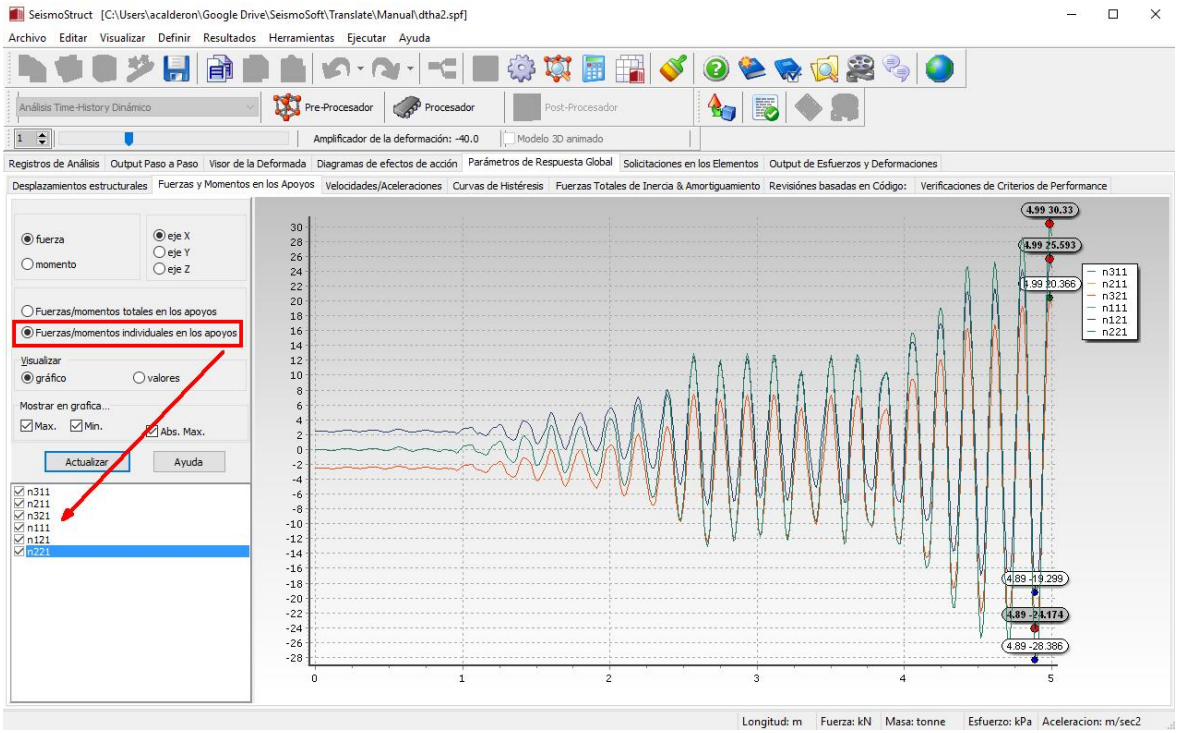
Fuerzas y Momentos en los Apoyos

Al igual que para las deformaciones estructurales, las fuerzas y los momentos de apoyo pueden ser obtenidos en todas las direcciones para todos los nodos con restricciones externas. La posibilidad de obtener como output las fuerzas/los momentos *totales* en una dirección específica, en lugar de valores para apoyos *individuales*, permite también calcular y graficar valores de corte basal total, por ejemplo.

NOTA: Evidentemente, la reacción de momento total no incluye efectos de vuelco, ya que consiste simplemente de la suma de los momentos en los apoyos de la estructura.



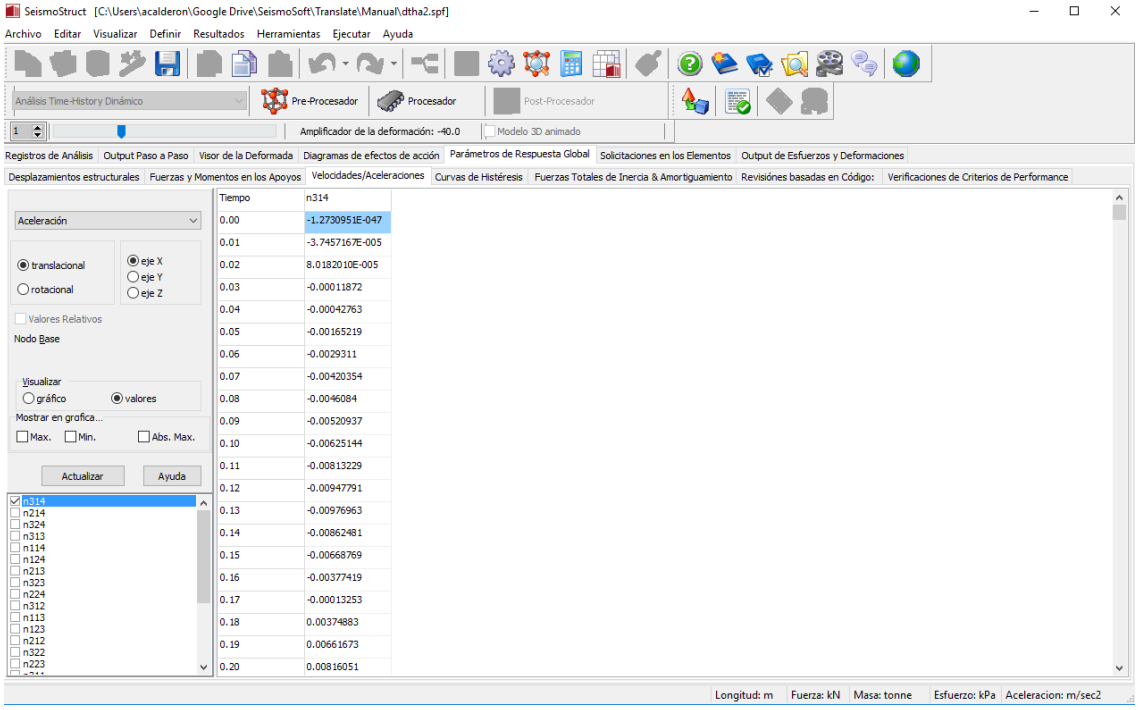
Parámetros de Respuesta Global – Fuerzas y Momentos en los Apoyos (fuerza total)



Parámetros de Respuesta Global – Fuerzas y Momentos en los Apoyos (fuerzas individuales)

Aceleraciones y Velocidades Nodales

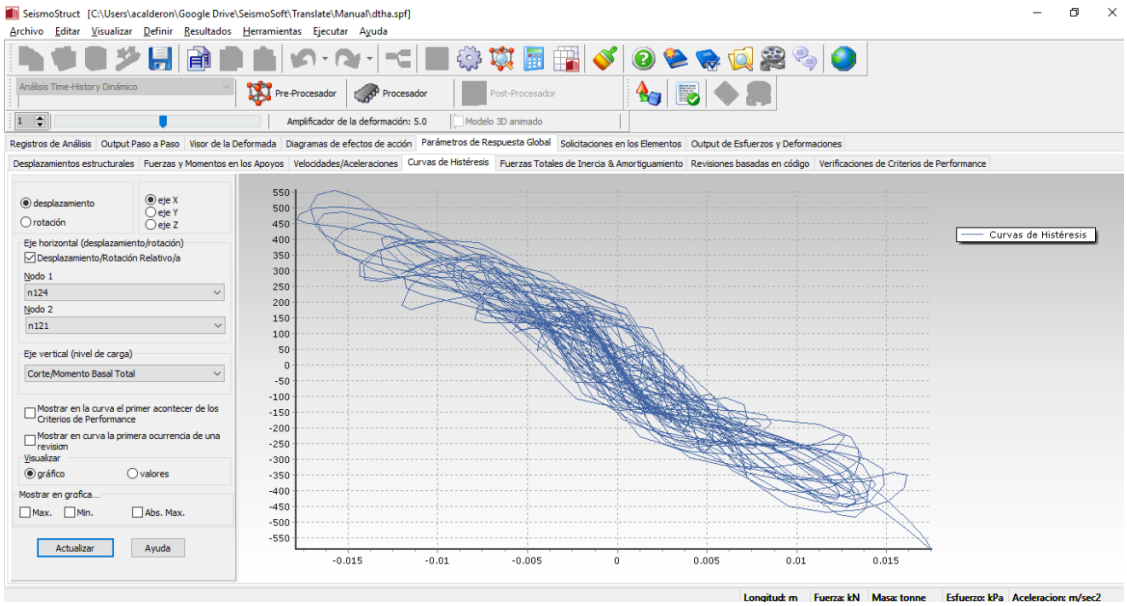
En los análisis dinámicos time-history, las aceleraciones y velocidades de respuesta nodal pueden ser obtenidas en forma análoga a los desplazamientos nodales. La posibilidad de obtener valores relativos, en lugar de absolutos, también está disponible. La modalidad última es habitualmente adoptada para el caso de las aceleraciones, mientras que la primera es más frecuente para las velocidades.



Parámetros de Respuesta Global – Aceleraciones / Velocidades

Curvas Histeréticas

El usuario puede especificar un grado de libertad traslacional/rotacional global a graficar en conjunto con el correspondiente corte basal/momento basal total, o factor de carga (análisis de pushover). En un análisis estático, dicho gráfico representa la curva de capacidad de la estructura, mientras que para un análisis time-history usualmente refleja la respuesta histerética del modelo. También se encuentra disponible la posibilidad de visualizar desplazamientos relativos, lo cual es útil para el post-procesado de análisis dinámicos.



Parámetros de Respuesta Global – Curvas Histeréticas

Fuerzas Totales de Inercia & Amortiguamiento

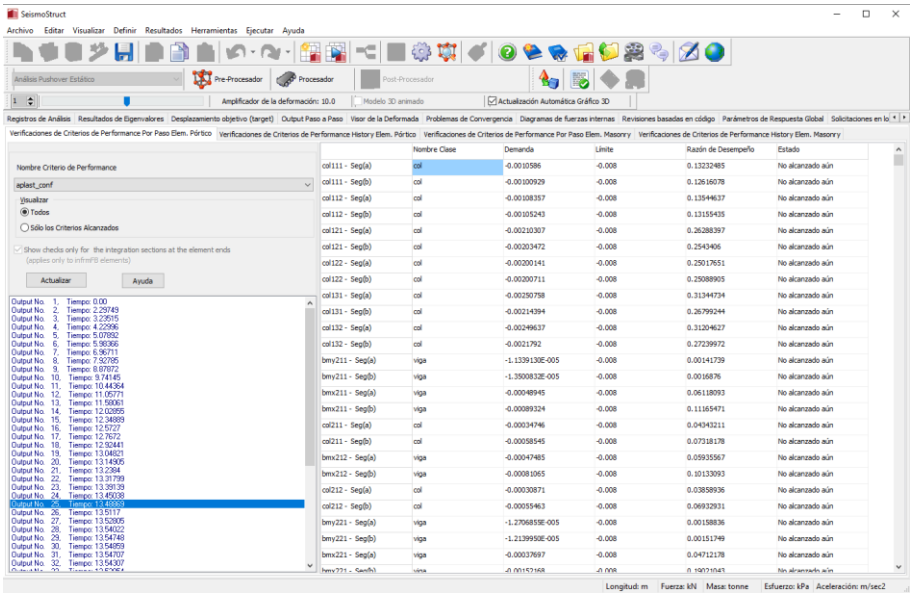
Aquí, el usuario puede obtener el valor total de las fuerzas de inercia y de amortiguamiento viscoso movilizadas en cada incremento dado de un análisis dinámico time-history. Debe notarse que las fuerzas totales de amortiguamiento viscoso (que son el producto, en cada momento del análisis, de la matriz de amortiguamiento y el vector de velocidad) pueden ser calculadas como la diferencia entre las fuerzas internas totales (que son el producto, en cada momento del análisis, de la matriz de rigidez y el vector de desplazamiento) y las fuerzas totales de inercia (que son el producto, en cada momento del análisis, de la matriz de masa y el vector de aceleración). Evidentemente, las fuerzas internas totales son iguales a las *Fuerzas y Momentos en los Apoyos* (descritas anteriormente) y, cuando no se ha definido ningún amortiguamiento viscoso, las fuerzas totales de inercia son simplemente iguales a las fuerzas en los apoyos.

VERIFICACIONES DE LOS CRITERIOS DE DESEMPEÑO

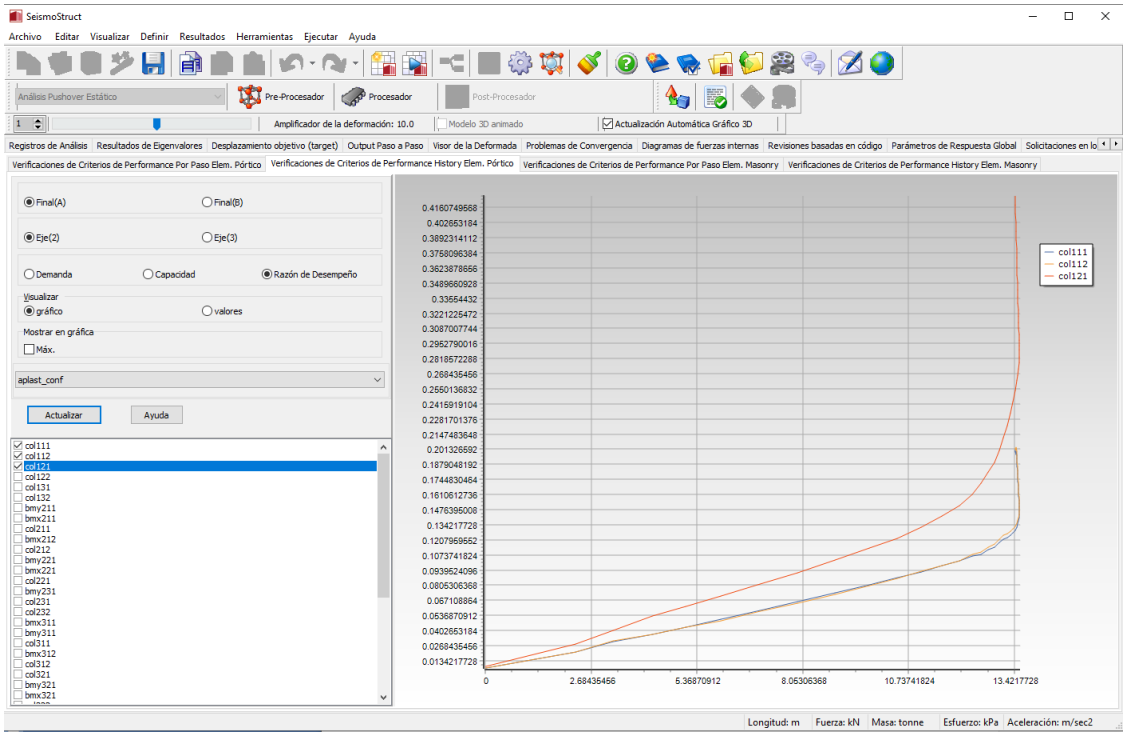
Aquí, el usuario puede realizar la verificación de los Criterios de Desempeño en cada paso. Se encuentran disponibles diferentes pestañas para los criterios de desempeñode elementos de marco, link, infill, mampostería y reticulado.Los usuarios deben seleccionar el nombre del criterio de desempeñodel menú desplegable, luego, deben seleccionar el elemento y hacer clic en el botón Actualizar. Los resultados se pueden mostrar en forma de gráfico o tabla. Finalmente, los valores máximos se pueden mostrar en el gráfico seleccionado.

Además, el usuario puede extraer la historia de las verificaciones de los criterios de desempeño de los miembros estructurales. Se encuentran disponibles diferentes pestañas para la historia de las las verificaciones de los criterios de desempeño de elementos de marco, los elementos de link, de infill, de mampostería y reticulados. Los usuarios deben seleccionar el nombre de la verificación de el criterio de desempeño del menú desplegable, luego, deben seleccionar el elemento y hacer clic en el botón

Actualizar. Los resultados se pueden mostrar en forma de gráfico o tabla. Finalmente, los valores máximos se pueden mostrar en el gráfico seleccionado.



Revisiones de Criterios por Desempeño - Revisiones de Criterios por Desempeño en cada paso



Revisiones de Criterios por Desempeño –Historia de las Revisiones de Criterios por Desempeño

SOLICITACIONES EN LOS ELEMENTOS

Dependiendo del tipo de elementos utilizados en el modelo estructural, pueden obtenerse resultados dehasta once tipos de *solicitaciones* (subdivisibles en cuatro categorías), que se describen a continuación.

NOTA 1: Los grados de libertad rotacionales definidos respecto a un eje en particular, se refieren siempre a la rotación alrededor de (y no según) ese mismo eje. Por lo tanto, esta es la convención que debe ser aplicada en la interpretación de los resultados de rotaciones/momentos obtenidos en este módulo.

NOTA 2: El output de rotaciones de cuerda de los elementos dado en este módulo corresponde a rotaciones de cuerda de miembros estructurales sólo si un único elemento de pórtico ha sido utilizado para representar una columna o viga dadas, es decir, sólo si existe una correspondencia uno-a-uno entre el modelo y la estructura (o entre algunos de sus elementos). Este enfoque es posible cuando se utilizan elementos infrmFB, lo cual permite el uso directo de las rotaciones de cuerda para la realización de verificaciones según las normativas (ver, por ej., Eurocódigo 8, FEMA-356, ATC-40, etc). Cuando es necesario discretizar un miembro estructural utilizando dos o más elementos de pórtico, los usuarios deben post-procesar los desplazamientos/rotaciones nodales para poder estimar las rotaciones de cuerda de los miembros [por ej., Mpampatsikos et al. 2008].

NOTA 3: En presencia de grandes desplazamientos, las fuerzas de corte en los elementos de la base pueden resultar bastante diferentes de las reacciones en los apoyos a los cuales dichos elementos están conectados, dado que las primeras están definidas en el sistema (significativamente rotado) de ejes locales del elemento, mientras que las últimas están definidas respecto del sistema global de referencia fijo.

NOTA 4: En principio, las fuerzas internas desarrolladas en los elementos de pórtico durante un análisis dinámico no deberían exceder su capacidad estática, determinada mediante un análisis de pushover o cálculos realizados a mano. Sin embargo, algunos factores pueden conducir a la existencia de diferencias: (i) Si ocurre endurecimiento por deformaciones cíclicas, es posible que se obtengan "capacidades dinámicas a flexión" mayores, en especial al comparar con cálculos realizados a mano, en los cuales el endurecimiento por deformación no suele ser tenido en cuenta. (ii) Si se introduce un amortiguamiento viscoso equivalente, la estructura/los elementos pueden deformarse en menor medida, por ende elongarse también en menor medida, desarrollando mayor carga axial y, por lo tanto, mayor"capacidad dinámica a flexión". (iii) Si los elementos poseen masas distribuidas, sus diagramas de momento flector desarrollado durante análisis dinámicos serán diferentes de los obtenidos mediante análisis estáticos, por lo que las fuerzas de corte no podrán ser realmente comparadas (sin embargo, los momentos sí).

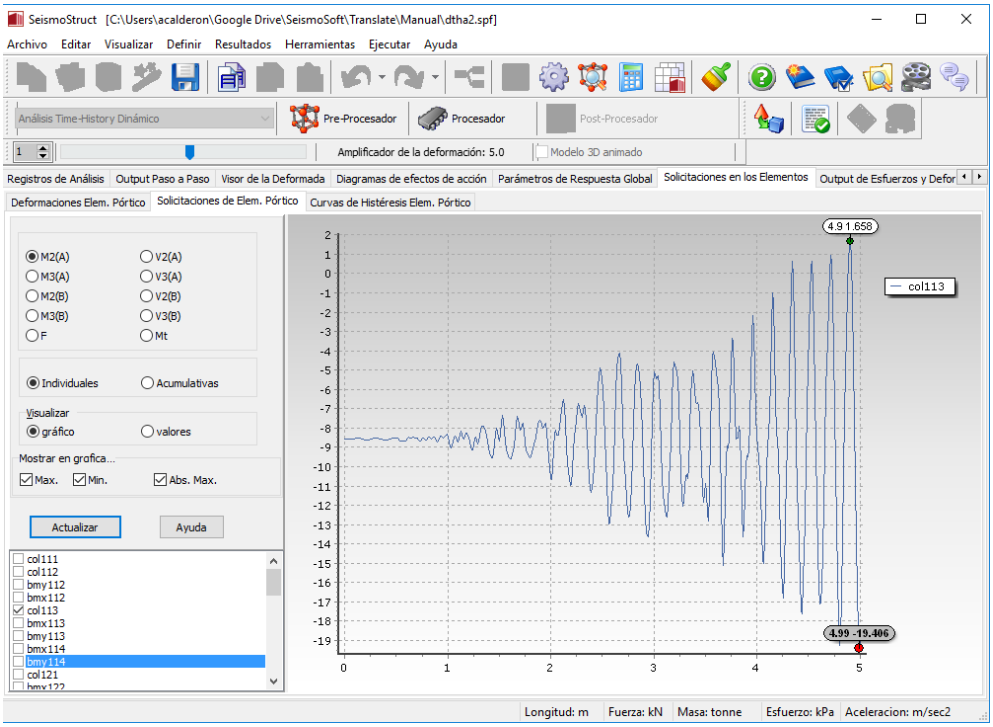
NOTA 5: SeismoStruct no provee automáticamente como output los valores de energía disipada. Sin embargo, los usuarios pueden obtener dichos valores en forma muy simple, realizando el producto/la integral de la respuesta fuerza-desplazamiento.

NOTA 6: Dado que para el modelado de paneles infill SeismoStruct utiliza dos bielas internas en cada dirección, los usuarios deben sumar los valores de fuerzas de ambas bielas con el fin de obtener la fuerza total de la biela del panel.

Elementos de pórtico – Deformaciones

Aquí se detallan las deformaciones sufridas por los elementos inelásticos (infrm, infrmPH) y elásticos (elfrm) de pórtico, calculadas en su sistema de referencia local co-rotacional. Los valores se refieren a

las rotaciones de cuerda en los nodos extremos de cada elemento (denominados A y B, como se explica en el Apéndice A), la deformación axial y la rotación torsional.



Solicitaciones en los Elementos – Deformaciones de Elementos de Pórtico

NOTA: Los elementos elásticos de pórtico son siempre enunciados luego de los elementos inelásticos, aún si los primeros preceden en orden alfabético a estos últimos.

Elementos de pórtico – Solicitaciones internas

Aquí se proveen las solicitaciones internas desarrolladas en los elementos inelásticos (infrm, infrmPH) y elásticos (elfrm) de pórtico, calculadas en su sistema de referencia local co-rotacional. Los valores se refieren a las fuerzas internas (axial y corte) y momentos (flectores y torsores) desarrollados en los nodos extremos de cada elemento, denominados A y B (ver Apéndice A). La posibilidad de obtener resultados acumulativos, en contraposición a resultados individuales, resulta útil cuando el usuario está interesado en sumar la respuesta de un cierto número de elementos (por ej., para obtener el corte total de un determinado piso del pórtico, dado por la sumatoria de las fuerzas internas de corte de todos los elementos en ese nivel).

NOTA: Los elementos elásticos de pórtico son siempre enunciados luego de los elementos inelásticos, aún si los primeros preceden en orden alfabético a estos últimos.

Elementos de pórtico – Curvas Histeréticas

En este módulo se proporcionan las curvas histeréticas de deformaciones versus esfuerzos internos desarrollados por elementos inelásticos (infrm, infrmPH) y elásticos (elfrm) de pórtico, calculados en su sistema de referencia local co-rotacional.

Elementos de reticulado – Fuerzas y Deformaciones

En este módulo se proveen las deformaciones y fuerzas axiales desarrolladas por los elementos de reticulado, así como también las correspondientes curvas histeréticas.

Elementos de Rack – Deformaciones

Aqui se proveen las deformaciones incurridas por los elementos de rack, calculadas en el sistema de referencia co-rotacional local del elemento. Los valores se refieren a las deformaciones, rotaciones y alabeo en los nodos finales de cada elemento (referidos como A y B, como se indica en el Apéndice A), la deformación axial y la rotación torsional.

Elementos de Rack – Fuerzas

En este módulo se proveen las fuerzas internas desarrolladas por los elementos de rack, calculadas en el sistema de referencia co-rotacional local del elemento. Los valores se refieren a las fuerzas internas (axial y de corte), momentos (flectores y torsión) y bimomentos desarrollados en los nodos en los extremos de cada elemento, denominados A y B (consulte el Apéndice A). La posibilidad de obtener los resultados acumulativos, en lugar de los distintos, de cada elemento puede ser muy útil cuando un usuario está interesado en agregar la respuesta de varios elementos (por ejemplo, obtener la fuerza de corte en un piso en particular, dada como la suma de fuerzas de corte internas de los elementos en ese mismo nivel).

Elementos de Mampostería – Deformaciones

En este módulo se proveen las deformaciones incurridas por los elementos de mampostería, calculadas en el sistema de referencia de co-rotación local del elemento. Los valores se refieren a las rotaciones de cuerda y la deformación de corte en los nodos finales de cada elemento (referidos como A y B, como se indica en el Apéndice A), la deformación axial y la rotación torsional.

Elementos de Mampostería – Fuerzas

Aqui se proveen las fuerzas internas desarrolladas por los elementos de mampostería, calculadas en el sistema de referencia co-rotacional local del elemento. Los valores se refieren a las fuerzas internas (axiales y cortantes) y momentos (flectores y torsión) desarrollados en los nodos finales de cada elemento, denominados A y B (ver en el Apéndice A). La posibilidad de obtener los resultados acumulativos, en lugar de los distintos, de cada elemento puede ser muy útil cuando un usuario está interesado en agregar la respuesta de varios elementos (por ejemplo, obtener la fuerza de corte en un piso en particular, dada como la suma de fuerzas de corte internas de los elementos en ese mismo nivel).

Elementos de Mampostería – Curvas Histeréticas

Aqui se proveen gráficas de deformación frente a fuerzas internas desarrolladas por elementos de mampostería, calculadas en el sistema de referencia local de co-rotación del elemento.

Elementos link – Deformaciones

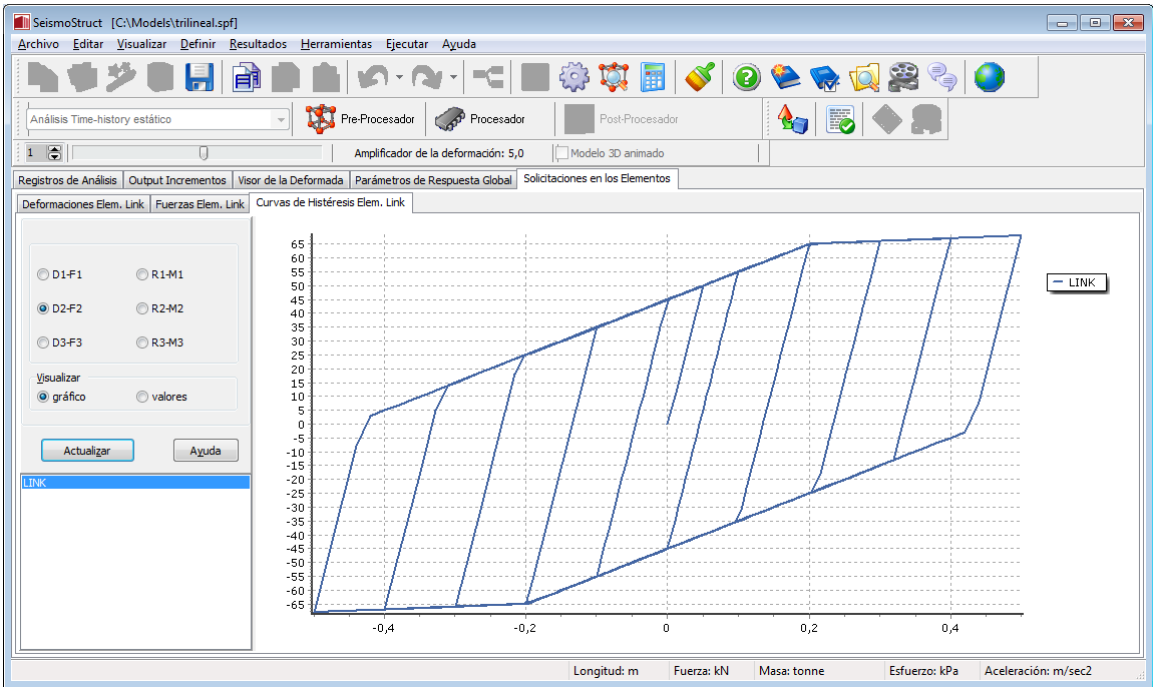
Las deformaciones calculadas para los elementos link pueden ser obtenidas aquí. Las mismas consisten de tres desplazamientos y tres rotaciones, expresados respecto a los tres grados de libertad locales del elemento link, cuya definición se describe en *Pre-Procesador*>*Geometría Estructural*>*Conectividad de Elementos*.

Elementos link – Fuerzas

Las fuerzas internas desarrolladas en los elementos link pueden ser obtenidas aquí. Las mismas consisten de tres fuerzas y tres momentos, expresados respecto a los tres grados de libertad locales del elemento link, cuya definición se describe en *Pre-Procesador*>*Geometría Estructural*>*Conectividad de Elementos*.

Elementos link – Curvas Histeréticas

En este módulo se proporcionan las curvas histeréticas de deformaciones versus fuerzas internas desarrolladas en los elementos link, referidas a los tres grados de libertad locales del elemento, cuya definición puede verse en *Pre-Procesador>Geometría Estructural>Conectividad de Elementos*.



Solicitaciones en los Elementos –Curvas Histeréticas de Elementos Link

Elementos infill – Deformaciones

Aquí se proveen las deformaciones axiales (es decir, diagonales) calculadas para las bielas 1 a 4, así como también las deformaciones de corte (es decir, horizontales) determinadas para las bielas 5 y 6. Debe recordarse que las bielas 1, 2 y 5 son aquellas que conectan el primer y tercer nodo del panel infill(definidosen *Pre-Procesador>Geometría Estructural >Conectividad de Elementos*), mientras que las bielas 3, 4 y 6 conectan la segunda y cuarta esquina del panel.

Elementos infill – Fuerzas

Las fuerzas axiales calculadas para las bielas 1 a 4 del elemento infill, así como también las fuerzas de corte correspondientes a las bielas 5 y 6, son provistas aquí. Debe recordarse que, tal como se describe en *Pre-Procesador>Clases de Elementos*, las bielas de corte sólo trabajan cuando una diagonal dada se encuentra en compresión, por lo que las fuerzas de corte desarrolladas en una biela siempre tendrán un solo signo (es decir, siempre positivas o negativas, pero nunca ambas).

Elementos infill – Curvas Histeréticas

En este módulo se proporcionan las curvas histeréticas de deformaciones versus fuerzas internas desarrolladas en los elementos infill, recordando una vez más que las bielas 1, 2 y 5 son aquellas que conectan el primer y tercer nodo del panel infill (definidos en *Pre-Procesador>Geometría Estructural >Conectividad de Elementos*), mientras que las bielas 3, 4 y 6 conectan la segunda y cuarta esquina del panel.

Elementos shell – Deformaciones

Se pueden obtener las deformaciones calculadas para los elementos shell. Estos consisten en tres desplazamientos y tres rotaciones, cada uno de los cuales se define con respecto a los tres grados de libertad locales del shell, cuya definición se describe en Preprocesador > Geometría estructural > Conectividad de elementos. Cuando se utiliza un elemento mallado, la matriz de rigidez total con participación de los grados de libertad de los nodos internos (nodos de la malla) se factoriza mediante un procedimiento de condensación estática. Como resultado, solo se emiten las deformaciones de los cuatro nodos externos.

Elementos shell – Fuerzas

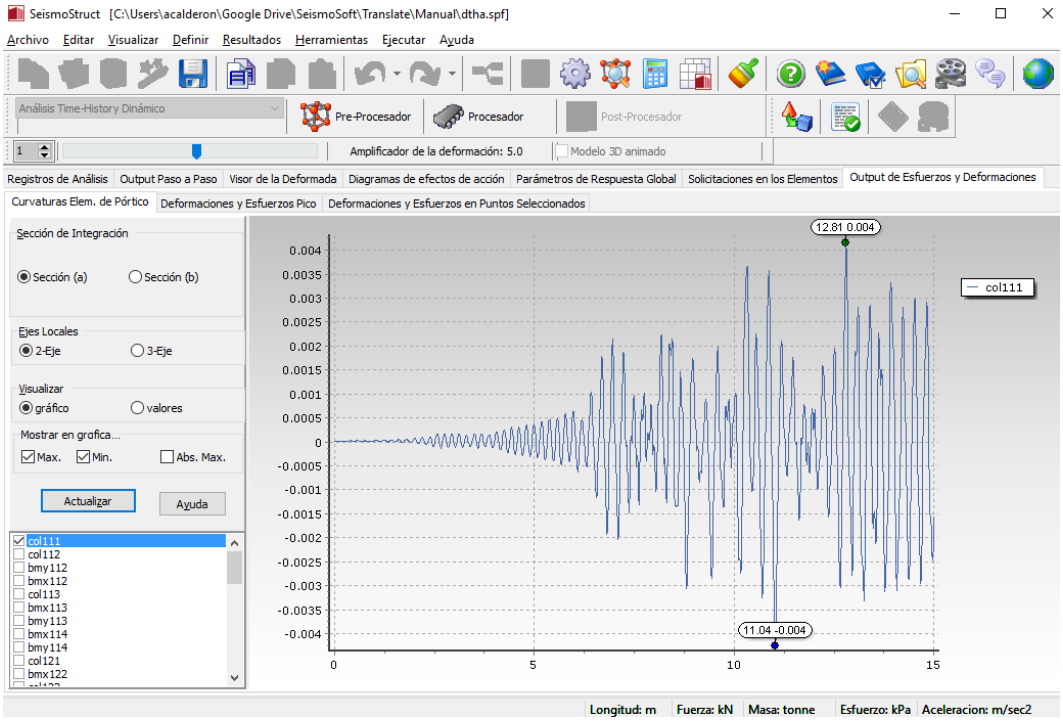
Se pueden obtener las fuerzas internas calculadas para los elementos shell. Estos consisten en tres fuerzas y tres momentos, cada uno de los cuales se define con respecto a los tres grados de libertad locales del shell, cuya definición se describe en Preprocesador > Geometría estructural > Conectividad de elementos. Como se señaló en el caso de las deformaciones del shell, cuando se utiliza un shell mallado, solo se salen las fuerzas de los cuatro nodos externos del elemento.

OUTPUT DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES

En este módulo es posible obtener la respuesta del material de cada uno de los elementos inelásticos de pórtico (infrm, infrmPH) utilizados en el modelado de la estructura.

Curvaturas de Elementos de Pórtico

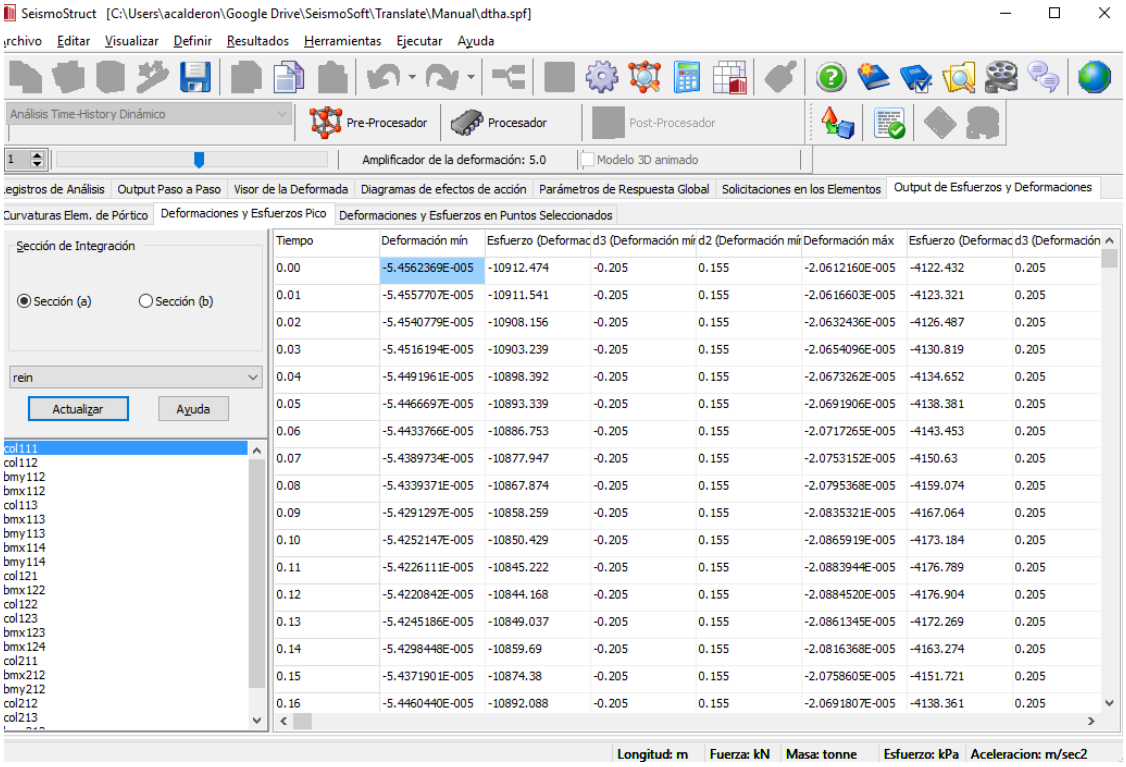
Se proporcionan las curvaturas de los elementos seleccionados, para cada una de las secciones de integración del elemento, respecto a los ejes locales (2) o (3), definidos en *Pre-Procesador>Geometría Estructural >Conectividad de Elementos*.



Output de Esfuerzos y Deformaciones – Curvaturas de Elementos de Pórtico

Esfuerzos y Deformaciones Pico

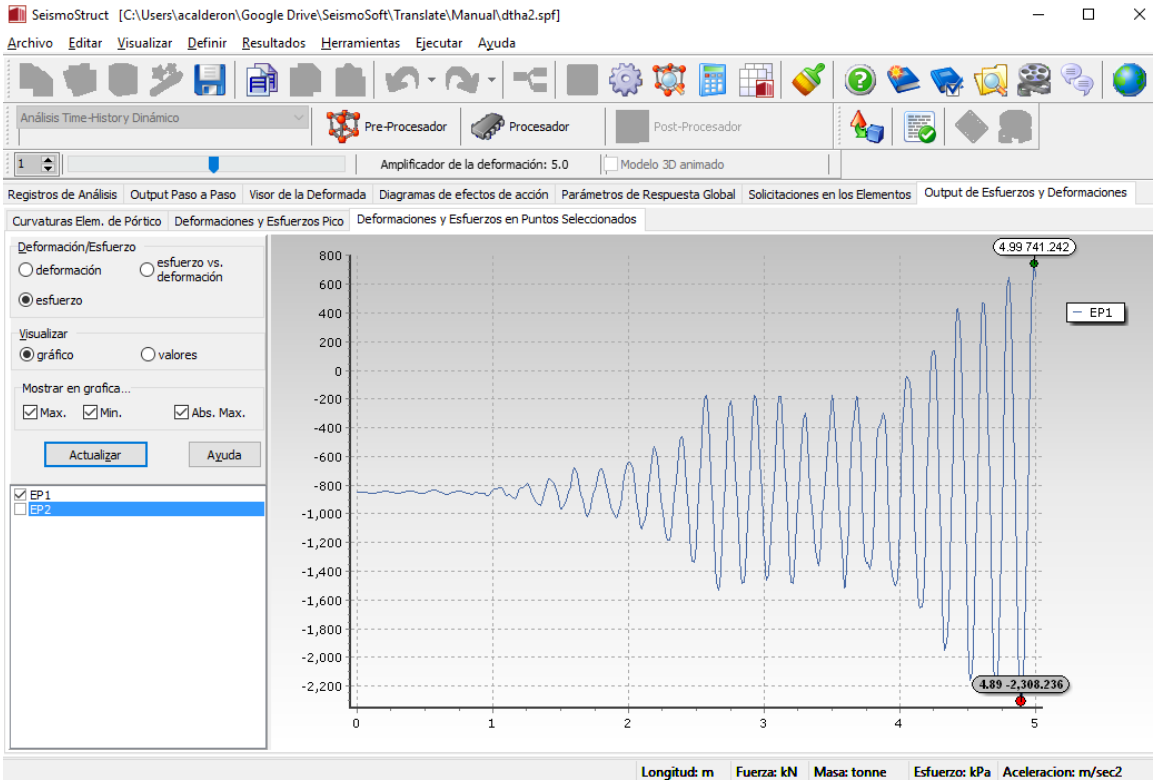
Aquí se muestran los valores máximos/mínimos de los esfuerzos y deformaciones observados/as en cada elemento en particular, así como también las coordenadas locales de la sección en las cuales estos valores tienen lugar. El usuario tiene la posibilidad de seleccionar la sección de integración y el tipo de material a los cuales deben referirse estos resultados.



Output de Esfuerzos y Deformaciones – Esfuerzos y Deformaciones Pico

Deformaciones y Esfuerzos en Puntos Seleccionados

Es posible obtener la historia esfuerzo-deformación completa para cada uno de los Stress Points definidos en el módulo de Output. Los gráficos o resultados tabulados pueden referirse a la variación de los esfuerzos/deformaciones en el tiempo (análisis dinámicos) o pseudo-tiempo (análisis estáticos). Como alternativa, es posible también generar gráficos esfuerzo-deformación. Debe notarse que el material, las coordenadas seccionales, el tipo de sección y la sección de integración del elemento a los cuales se refieren estos resultados están implícitos en la definición de cada Stress Point, creado en *Pre-Procesador>Output del Análisis*.

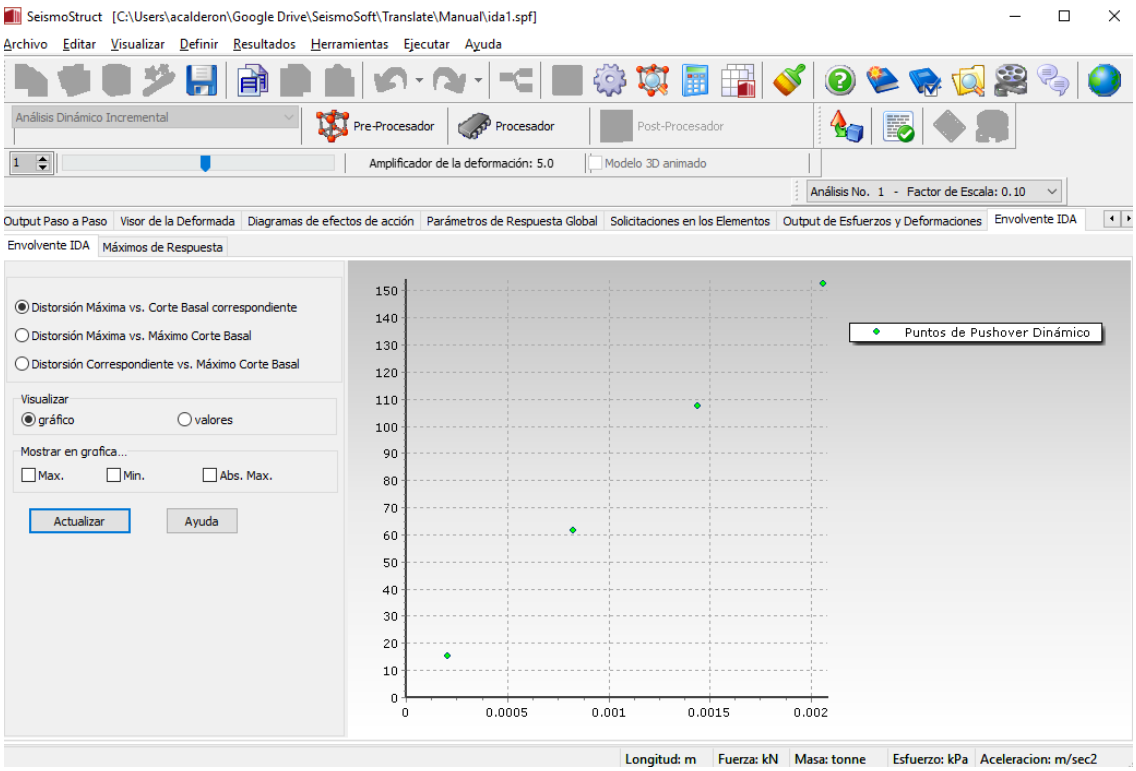


Output de Esfuerzos y Deformaciones – Esfuerzos y Deformaciones en Puntos Seleccionados

ENVOLVENTE IDA

Este módulo es visible sólo cuando se ha llevado a cabo un Análisis Dinámico Incremental, y provee el gráfico de los valores pico de corte basal y los valores máximos de desplazamiento relativo (deriva) del nodo seleccionado por el usuario (parámetros IDA), obtenidos para cada uno de los análisis dinámicos. Es posible graficar: (i) el máximo desplazamiento relativo versus el valor pico de corte basal que se encuentre dentro de una ventana temporal alrededor del desplazamiento máximo (Corte Basal Correspondiente), (ii) el máximo desplazamiento relativo versus el valor pico de corte basal a lo largo de todo el análisis (Corte Basal Máximo), o (iii) el máximo corte basal versus el valor pico de desplazamiento relativo que se encuentre dentro de una ventana temporal alrededor del corte basal máximo (Deriva Correspondiente). La ventana temporal debe ser especificada por el usuario en el módulo Parámetros IDA del Pre-procesador.

Por otra parte, es también posible en este módulo obtener las envolventes de un gran número de parámetros de respuesta adicionales: desplazamientos, velocidades, aceleraciones, reacciones, deformaciones de miembros y fuerzas internas de los elementos.



Envolvente IDA – Deriva Máxima vs. Cortante Basal Máxima

Herramienta Batch de SeismoStruct

Creando Archivos de Entrada con el Creador de SPF

Se encuentra disponible una función especial para crear múltiples archivos SPF sobre la marcha en el menú principal (Herramientas> Abrir Creador de SPF ...) o mediante el botón correspondiente de la barra de herramientas  .

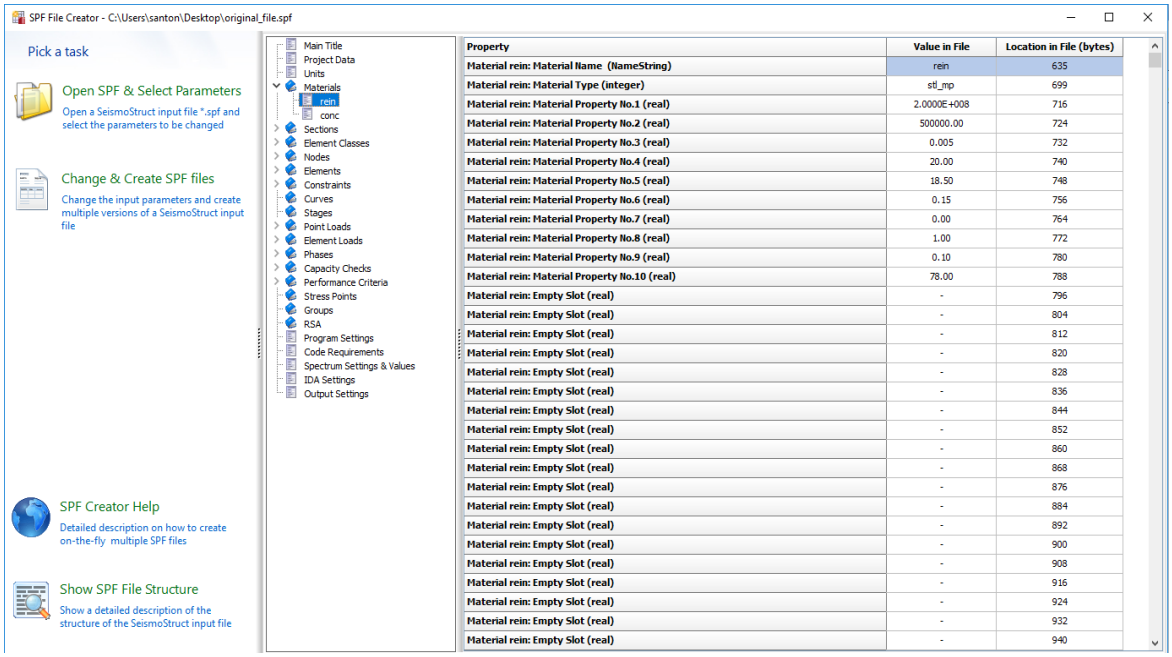
NOTA: Los elementos elásticos de pórtico son siempre enunciados luego de los elementos inelásticos, aún si los primeros preceden en orden alfabético a estos últimos.

Con la instalación del Creador de SPF, los usuarios pueden crear fácil y rápidamente varios archivos de entrada SeismoStruct nuevos, adaptando uno existente. Se observa que no se requieren conocimientos de programación o secuencias de comandos para estas operaciones, ya que el programa se encarga de todo y crea automáticamente los nuevos archivos.

Al abrir el programa, aparecerá la ventana principal del Creador de SPF. Con el botón Abrir SPF y Seleccionar Parámetros, los usuarios pueden cargar su archivo SPF base, que se usará como plantilla para crear todos los nuevos archivos de entrada SeismoStruct.

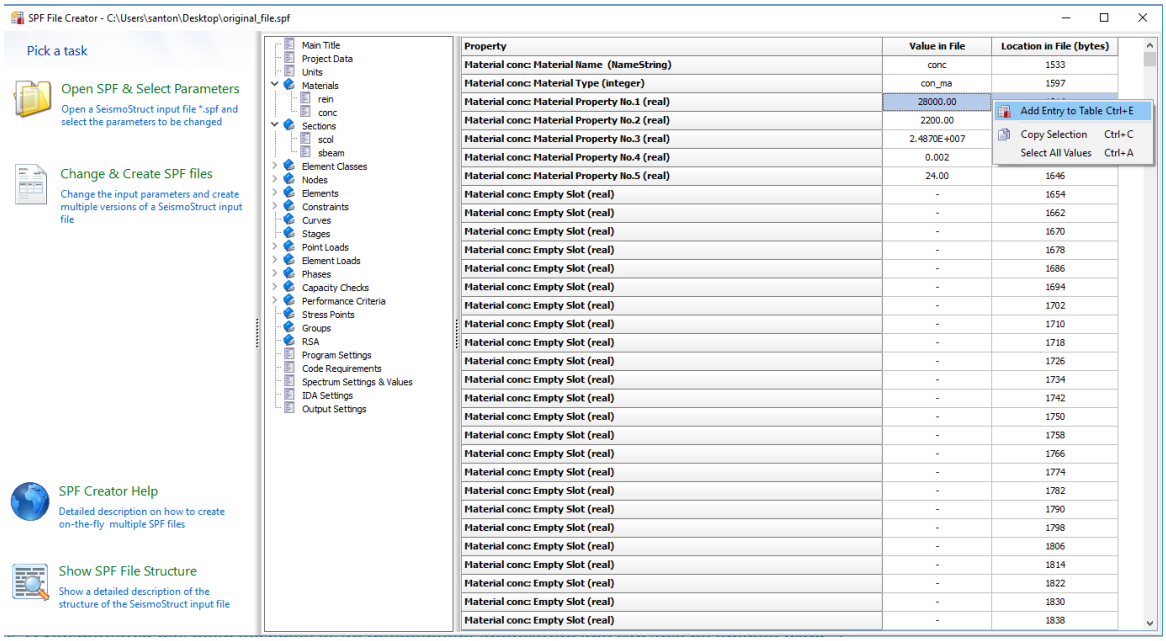
NOTA: Los archivos de entrada SeismoStruct son archivos binarios, es decir, archivos que no son de texto, donde todas las estructuras de datos se almacenan como una secuencia de bytes. Puede encontrar una descripción detallada de la estructura del formato de archivo (* .spf) haciendo clic en el botón

La estructura del archivo de entrada cargado se muestra como una vista de árbol en la parte izquierda de la pantalla, comenzando desde el Título principal y los Datos Generales del proyecto, hasta los Materiales, Secciones y Clases de elementos, hasta la Configuración de Salida. Al seleccionar cada rama de la vista de árbol, todos los datos de un registro en particular, que incluye propiedades del modelo estructural, se muestran a la derecha de la pantalla. Estas propiedades se pueden leer y modificar para crear los nuevos archivos SPF.



Ventana Principal del Creador de SPF

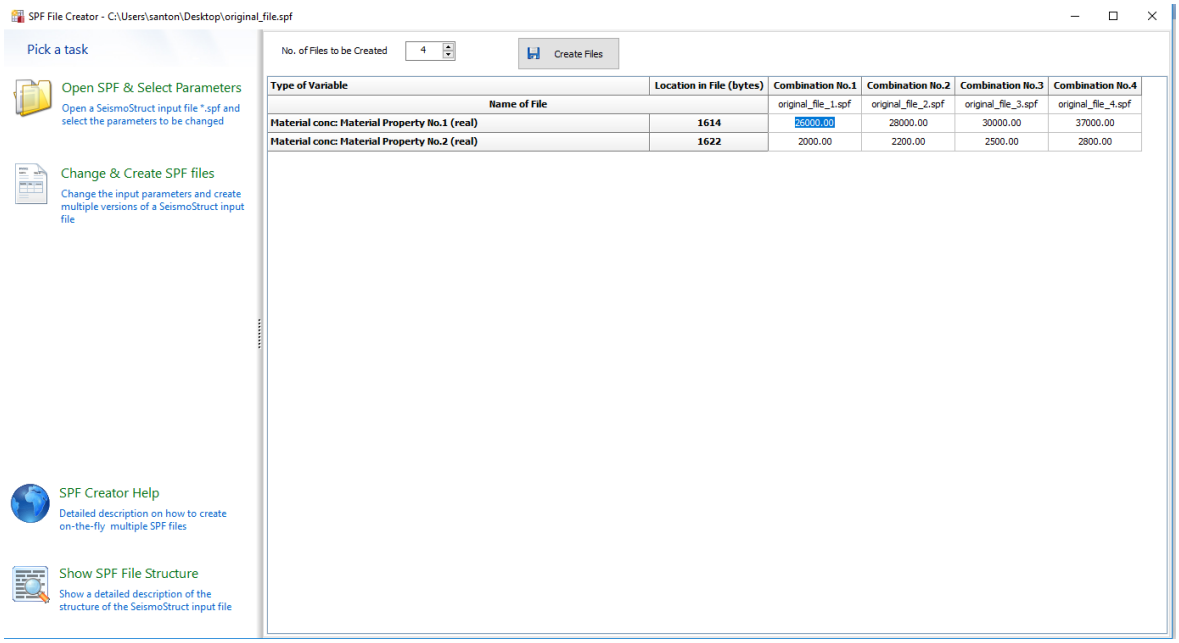
Los usuarios pueden seleccionar las propiedades para las que se introducirán múltiples valores, haciendo clic derecho en cada valor y seleccionando el comando Agregar entrada a la tabla, como se muestra en la imagen a continuación. Todas las propiedades seleccionadas se agregan a una nueva tabla en la pestaña Cambiar y Crear archivo SPF.



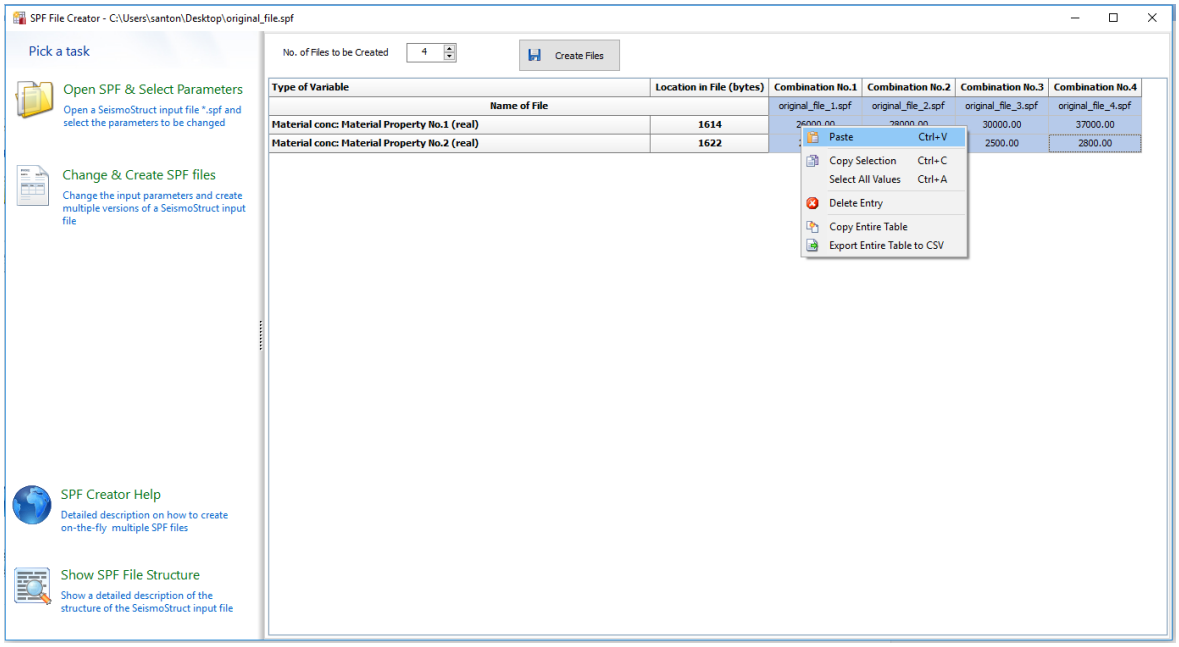
Agregar propiedades del archivo SPF a la tabla de *Cambiar y Crear ArchivoSPF*

En la pestaña Cambiar y Crear Archivo SPF, las entradas de la tabla se pueden modificar directamente (haciendo clic en cada celda de la tabla) o copiando y pegando en aplicaciones de hoja de cálculo, como MS Excel. El número de archivos que se crearán se determina con el parámetro de *Número de Archivos a Crear*.

Después de seleccionar los valores de las propiedades seleccionadas, los usuarios pueden crear los nuevos archivos desde el botón Crear archivos. Los archivos se crean automáticamente en la carpeta, donde existe el archivo original.



Cambio directo de propiedades en la tabla de *Cambiar y Crear Archivo de SPF*



Copiando y pegando datos en la tabla de *Cambiar y Crear Archivo SPF*

SeismoBatch

Una herramienta de Batch llamada SeismoBatch ha sido desarrollada e introducida en SeismoStruct para facilitar la ejecución automática de numerosos análisis que deben ejecutarse en secuencia. SeismoBatch puede ser accedida desde el menú principal (Herramientas > Abrir SeismoBatch…) o a través del botón correspondiente de la barra de herramientas .

NOTA 1: SeismoBatch ha sido diseñado como una aplicación independiente y puede ser abierta desde el Menú de Inicio de Windows sin la necesidad de tener que abrir SeismoStruct.

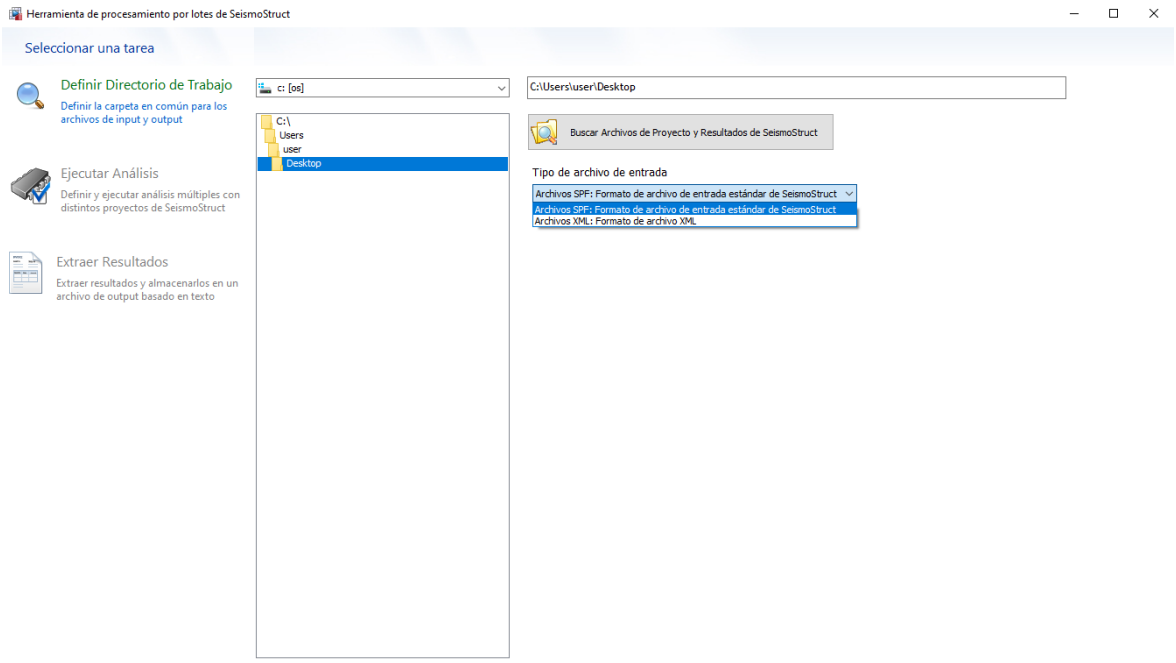
La herramienta de batch esta organizada en tres modeulos; el primero es usado para seleccionar el directiorio de trabajo, donde los archivos de entrada de Seismostruct o XML están guardados, el segundo es usado para correr los análisis, mientras que el tercero se usa para extraer los resultados que sean necesarios de los análisis. El usuario puede moverse de un módulo a otro haciendo uso de los botones del menú en la parte izquierda de la ventana.

NOTA 2: Una característica importante de SeismoBatch es la abilidad de suprimir mensajes de advertencia al inicio de los análisis, de esta forma la ejecución siempre se lleva a cabo. Esto es de importancia particular, cuando largas series de análisis quieren llevarse a cabo sin la presencia del usuario. Se pueden suprimir los mensajes de advertencia en la pestaña General de los Ajustes de Proyecto de SeismoStruct.

NOTA 3: Aún si el usuario decide desplegar mensajes de advertencia al inicio de los análisis, estos son automáticamente cerrados luego de 2 minutos, si no hay ningún tipo de input por parte del usuario. Esto es particularmente útil en SeismoBatch, ya que la secuencia de análsis no se detiene aún si aparece un mensaje de advertencia.

DEFINIENDO EL DIRECTORIO DE TRABAJO EN SEISMOBATCH

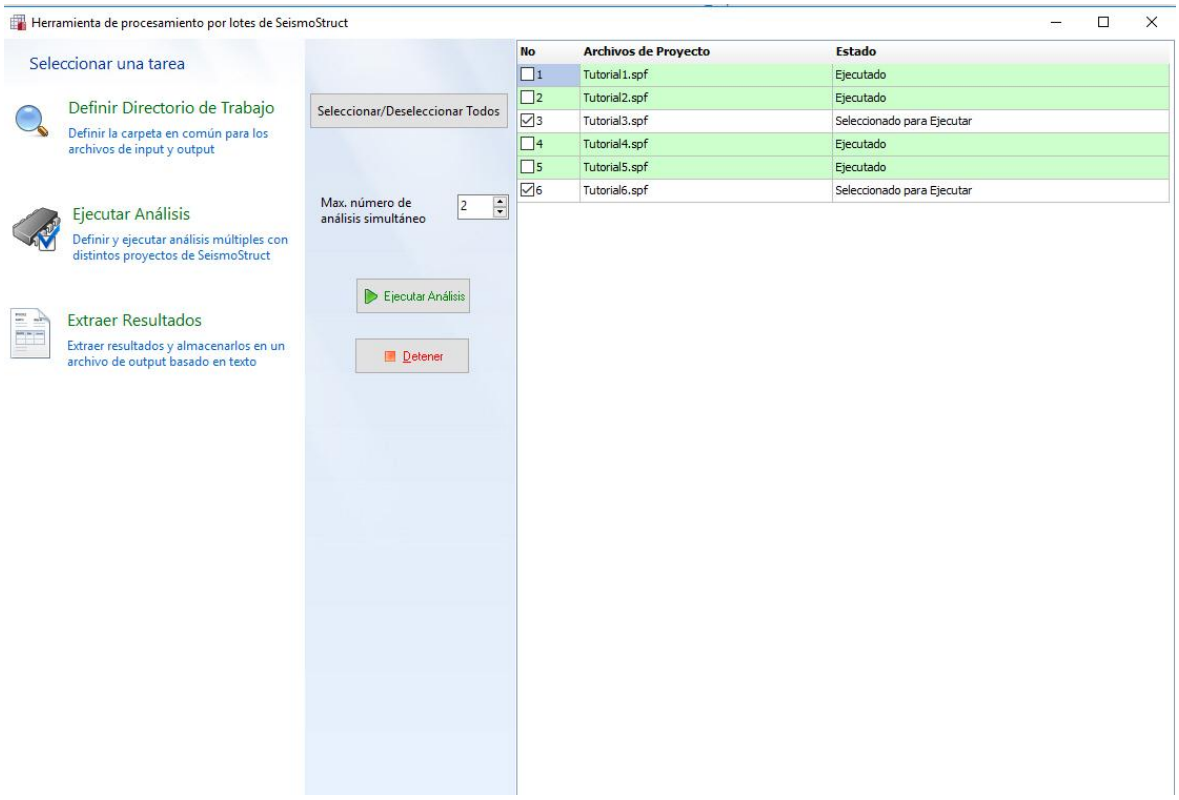
Los usuarios pueden seleccionar el directorio de trabajo desde el el buscador de folders correspondientey si el archivo de entrada es estándar SeismoStruct o formato de archivo XML. Cuando se hace clic en el botón de *Buscar Proyectos y Resultados de SeismoStruct*, el programa muestra el número de archivos de proyectos o XML y resultados en el folder.



Módulo para Definir el Directorio de Trabajo

CORRIENDO LOS ANÁLISIS DESDE SEISMOBATCH

En este módulo los usuarios pueden seleccionar cuáles análisis deben llevarse a cabo; esto se hace marcando o desmarcando las casillas de la tabla, donde se muestra la lista de todos los archivos de proyecto *.spf. El programa automáticamente selecciona todos los proyectos, para los cuales no se ha encontrado archivos de resultados. Por el contrario, cuando existe un archivo de resultados de SeismoStruct, lo que significa que los análisis ya han sido ejecutados, el proyecto en cuestión se desmarca y se identifica con color verde. Cuando el usuario selecciona no correr un análisis, aunque no existe el archivo de output, el proyecto correspondiente aparece en gris para facilitar la visualización.



Módulo de Correr Análisis

La ejecución de los análisis se realiza haciendo clic en el botón Ejecutar. El análisis que se está ejecutando en cualquier momento se indica con rojo, mientras que el verde está coloreado, las entradas de los análisis que ya se han ejecutado, y el blanco son los proyectos que aún no se han llevado a cabo. La opción de ejecutar simultáneamente múltiples análisis se ha introducido desde SeismoBatch 2016 para aprovechar al máximo los procesadores de múltiples núcleos.

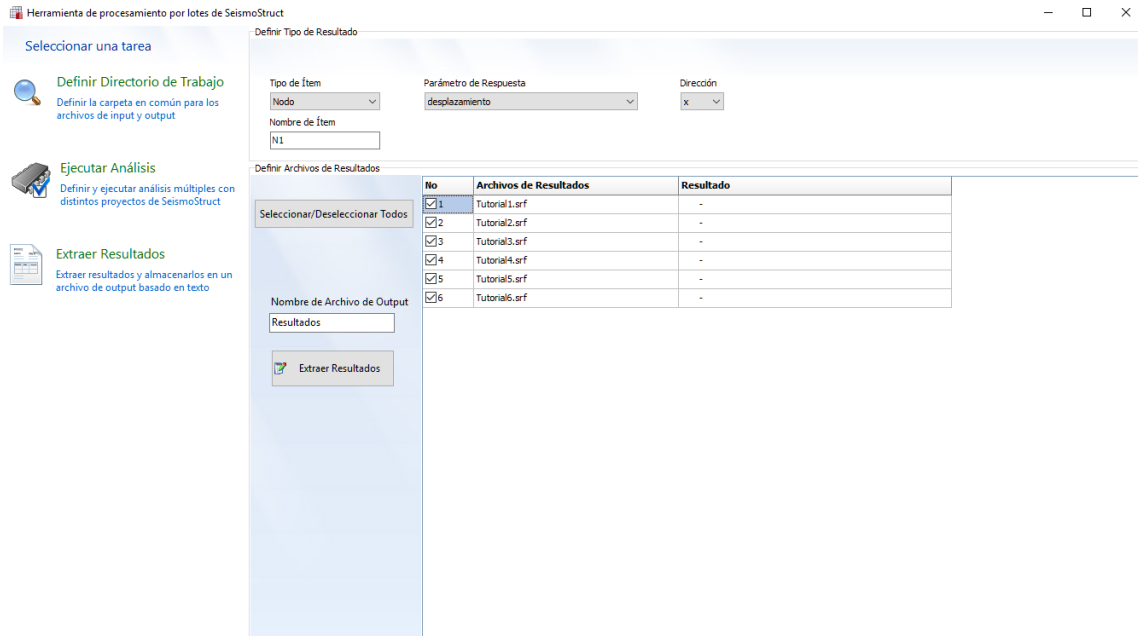
NOTA: Los análisis realizados con la herramienta de batch emplean el motor de SeismoStruct, que es el solucionador de SeismoStruct sin el entorno gráfico. En consecuencia, los análisis de cada batch se ejecutan mucho más rápido que los realizados con SeismoStruct, porque no se gasta tiempo en la actualización gráfica de la aplicación y otras funciones relacionadas con Windows.

EXTRAYENDO RESULTADOS DESDE SEISMOBATCH

En este módulo los usuarios pueden extraer simultáneamente para todos los análisis los resultados que sean necesarios. Lo que debe ser especificado es el tipo de cantidad (p. ej. nodo o elemento), el parámetro de respuesta (p. ej. el desplazamiento absoluto o relativo o rotación), y la dirección para la cual los resultados se extraerán. Los mismos se guardarán en un archivo de output, el cual es un archivo de texto

con los resultados ordenados en columnas (columnas de un solo par de datos, p. ej. tiempo y desplazamiento, para cada uno de los análisis).

El archivo de output puede ser abierto con cualquier editor de texto o aplicación de hoja de cálculo, como Microsoft Excel. Debe notarse que los resultados en forma de texto pueden copiarse y pegarse de forma sencilla en Excel.



Módulo de Extraer Resultados

Bibliografía

Abbasi V., Daudeville L., Kotronis P., Mazars J. [2004] "Using damage mechanics to model a four story RC framed structure submitted to earthquake loading," Proceedings of the Fifth International Conference on Fracture Mechanics of Concrete Structures, Vol. 2, pp. 823-830.

Abdulridha, A., Palermo, D., Foo, S., & Vecchio, F. J. (2013). Behavior and modeling of superelastic shape memory alloy reinforced concrete beams. Engineering Structures, 49, 893-904.

ACI 318-19[2019] American Concrete Institute: Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary.

ACI 369.1-22 [2023] American Concrete Institute: Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Concrete Buildings-Code and Commentary.

ACI 440.2R-17 [2017] American Concrete Institute: Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures.

Ahmad S.H., Shah S.P. [1982] "Stress-strain curves of concrete confined by spiral reinforcement," Journal of the American Concrete Institute, pp. 484-490.

Allotey N.K., El Naggar M.H. [2005a] "Cyclic Normal Force-Displacement Model for Nonlinear Soil-Structure Interaction Analysis: SeismoStruct Implementation," Research Report No. GEOT-02-05, Geotechnical Research Centre, Department of Civil & Environmental Engineering, University of Western Ontario, London, Ontario, Canada.

Allotey N.K., El Naggar M.H. [2005b] "Cyclic soil-structure interaction model for performance-based design," Proceedings of the Satellite Conference on Recent Developments in Earthquake Geotechnical Engineering, TC4 ISSMGE, Osaka, Japan.

Ameny P., Loov R.E., Shrive N.G. [1983] "Prediction of elastic behaviour of masonry," International Journal of Masonry Construction, Vol. 3, No. 1, pp. 1-9.

Annaki M., Lee K.L.L. [1977] "Equivalent uniform cycle concept for soil dynamics," Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 103, No. GT6, pp. 549-564.

ANSI/AISC 342-22 [2022] American Institute of Steel Construction: Seismic Provisions for Evaluation and Retrofit of Existing Structural Steel Buildings.

Anthes R.J. [1997] "Modified rainflow counting keeping the load sequence," International Journal of Fatigue, Vol. 19, No. 7, pp. 529-535.

Alemdar B.N., White D.W. [2005] "Displacement, flexibility, and mixed beam-column finite element formulations for distributed plasticity analysis," Journal of Structural Engineering, Vol. 131, No. 12, pp. 1811-1819.

Antoniou S., Rovithakis A., Pinho R. [2002] "Development and verification of a fully adaptive pushover procedure," Proceedings of the Twelfth European Conference on Earthquake Engineering, London, UK, Paper No. 822.

Antoniou S., Pinho R. [2004a] "Advantages and Limitations of Force-based Adaptive and Non-Adaptive Pushover Procedures," Journal of Earthquake Engineering, Vol. 8, No. 4, pp. 497-522.

Antoniou S., Pinho R. [2004b] "Development and Verification of a Displacement-based Adaptive Pushover Procedure," Journal of Earthquake Engineering, Vol. 8, No. 5, pp. 643-661.

ASCE 7-16 [2017] American Society of Civil Engineers: Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, Chapter 6, “Tsunami Loads and Effects”.

ASCE 41-23 [2023] American Society of Civil Engineers: Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings.

Asteris P.G. [2003] "Lateral stiffness of brick masonry infilled plane frames," ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 129, No. 8, pp. 1071-1079.

Atkinson R.H., Amadei B.P., Saeb S., Sture S. [1989] "Response of masonry bed joints in direct shear," ASCE Journal of Structural Division, Vol. 115, No. 9, pp. 2276-2296.

Auricchio F., Sacco E. [1997] "A superelastic shape-memory-alloy beam," Journal of Intelligent Materials and Structures, Vol. 8, pp. 489-501.

Baiguera M., Rossetto T., Robertson I., and Petrone C. [2019] "Towards a tsunami nonlinear static analysis procedure for the ASCE 7 standard", In Proc. Of SECED Conference, 9-10 September 2019, Greenwich, London, UK.

Bathe K.J. [1996] "Finite Element Procedures in Engineering Analysis," 2nd Edition, Prentice Hall.

Beyer, K., Dazio, A., and Priestley, M.J.N. [2008] "Seismic design of torsionallyeccentric buildings with U-shaped RC walls," ROSE School, Pavia, Italy.

Beyer, K., Dazio, A., and Priestley, M.J.N. [2008] "Inelastic Wide-Column Modelsfor U-Shaped Reinforced Concrete Walls,"Journal of Earthquake Engineering 12:Sp1,1-33.

Beyer, K., Dazio, A., and Priestley, M.J.N.[2008] "Elastic and inelastic wide-columnmodels for RC non rectangular walls," Proceedings of the fortieth World Conferenceon Earthquake Engineering, Beijing, China.

Benjamin S.T., Williams H.A. [1958] "The behaviour of one-storey brick shear walls," ASCE Journal of Structural Division, Vol. 84, No.ST4, pp. 30.

Bento R., Pinho R., Bhatt C. [2008] "Nonlinear Static Procedures for the seismic assessment of the 3D irregular SPEAR building," Proceedings of the Workshop on Nonlinear Static Methods for Design/Assessment of 3D Structures, Lisbon, Portugal.

Bernuzzi C., Zandonini R., Zanon P. [1996] "Experimental analysis and modelling of semi-rigid steel joints under cyclic reversal loading," Journal of Constructional Steel Research, Vol. 38, No. 2, pp. 95-123.

Bertoldi S.H., Decanini L.D., Gavarini C. [1993] "Telai tamponati soggetti ad azione sismica, un modello semplificato: confronto sperimentale e numerico," (in Italian) Atti del 6° convegno nazionale ANIDIS, Vol. 2, pp. 815-824, Perugia, Italy.

Bertoldi S.H., Decanini L.D., Santini S., Via G. [1994] "Analytical models in infilled frames," Proceedings of the Tenth European Conference on Earthquake Engineering, Vienna, Austria.

Beyer K, Dazio A., Priestley M.J.N. [2008] "Inelastic wide-column models for U-shaped reinforced concrete wall," Journal of Earthquake Engineering, Vol. 12, No. 1, pp. 1-33.

Binda L., Fontana A., Frigerio G. [1988] "Mechanical behaviour of brick masonries derived from unit and mortar characteristics," Proceedings of the Eighth International Brick and Block Masonry Conference, Dublin, Ireland.

Blandon, C.A. [2005] Implementation of an Infill Masonry Model for Seismic Assessment of Existing Buildings, Individual Study, European School for Advanced Studies in Reduction of Seismic Risk (ROSE School), Pavia, Italy.

Bouc, R. [1967]. "Forced vibration of mechanical systems with hysteresis". Proceedings of the Fourth Conference on Nonlinear Oscillation. Prague, Czechoslovakia. p. 315.

Broderick B.M., Elnashai A.S., Izzuddin B.A. [1994] "Observations on the effect of numerical dissipation on the nonlinear dynamic response of structural systems," Engineering Structures, Vol. 16, No. 1, pp. 51-62.

Calabrese A., Almeida J.P., Pinho R. [2010] "Numerical issues in distributed inelasticity modelling of RC frame elements for seismic analysis," Journal of Earthquake Engineering, Vol. 14, Special Issue 1, pp. 38-68.

Casarotti C., Pinho R. [2006] "Seismic response of continuous span bridges through fibre-based finite element analysis," Journal of Earthquake Engineering and Engineering Vibration, Vol. 5, No. 1, pp. 119-131.

Casarotti C., Pinho R. [2007] "An Adaptive capacity spectrum method for assessment of bridges subjected to earthquake action," Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 5, No. 3, pp. 377-390.

CEB [1996] RC Frames under Earthquake Loading: State of the Art Report, - Comite Euro-International du Beton, Thomas Telford, London, England.

Celarec D., Dolšek M. [2012] "Practice-oriented probabilistic seismic performance assessment of infilled frames with consideration of shear failure of columns," Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol. 43, No. 9, pp. 1339-1360.

CEN [2005] European Prestandard ENV 1998: Eurocode 8 - Design provisions for earthquake resistance of structures. Comite Europeen de Normalisation, Brussels.

Chang, G.A., Mander, J.B. [1994] "Seismic Energy Based Fatigue Damage Analysis of Bridge Columns: Part 1 – Evaluation of Seismic Capacity," NCEER Technical Report No. NCEER-94-0006,State University of New York, Buffalo, N.Y.

Chege J.K., Matalanga N. [2000] "NDT Application in Structural Integrity Evaluation of Bomb Blast Affected Buildings," Proceedings of the Fifteenth World Conference on Non-Destructive Testing, Rome, Italy.

Chopra A.K. [1995] Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice-Hall.

Christopoulos C., Tremblay R., Kim H.-J., Lacerte M. [2008] "Self-Centering Energy Dissipative Bracing System for the Seismic Resistance of Structures: Development and Validation", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 134, No. 1, pp. 96-107.

Chopra A.K. &Goel R.K. [2001] A Modal Pushover Analysis Procedure to EstimateSeismic Demands for Buildings:Theory and Preliminary Evaluation, Pacific Earthquake Engineering Research Center, Technical Report PEER No. 2001/03.

Clough R.W., Johnston S.B. [1966] "Effect of Stiffness Degradation on Earthquake Ductility Requirements" Proceedings, Second Japan National Conference on Earthquake Engineering, 1966, pp.227-232.

Clough R.W., Penzien J. [1994] Dynamics of Structures, 2nd Edition, McGraw Hill.

Constantinou, M.C., Tsopelas, P.C., Kasalanati, A., and Wolff, E. [1999], "Property Modification Factors for Seismic Isolation Bearings," *Report No. MCEER-990012*, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York, Buffalo, NY.

Cook R.D., Malkus D.S., Plesha M.E. [1989] Concepts and Applications of Finite Elements Analysis, John Wiley & Sons.

Correia A.A., Virtuoso F.B.E. [2006] "Nonlinear Analysis of Space Frames," Proceedings of the Third European Conference on Computational Mechanics: Solids, Structures and Coupled Problems in Engineering, Mota Soares et al. (Eds.), Lisbon, Portugal.

Cremer C., Pecker A., Davenne L. [2002] "Modelling of non linear dynamic behaviour of a shallow foundation with macro - element," Journal of Earthquake Engineering, Vol. 6, No. 2, pp. 175-212.

Crisafulli F.J. [1997] Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Structures with Masonry Infills, PhD Thesis, University of Canterbury, New Zealand.

Crisafulli F.J., Carr A.J., Park R. [2000] "Analytical modelling of infilled frame structures – a general overview," Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, Vol. 33, No 1.

Crisfield M.A. [1991] Non-linear Finite Element Analysis of Solids and Structures, John Wiley & Sons.

Dawe J.I., Young T.C. [1985] "An investigation of factors influencing the behaviour of masonry infills in steel frames subjected to on-plane shear," Proceedings of the Seventh International Brick Masonry Conference, Melbourne, Australia.

Dawe J. L. and Seah C. K. [1989] "Out-of-plane resistance of concrete masonry infilled panels." Can. J. Civ. Eng., 16(6), 854-856

Decanini L.D., Fantin G.E. [1987] "Modelos Simplificados de la Mamposteria Incluida en Porticos. Caracterísicass de Rigidez y Resistencia Lateral en Estado Limite," Jornadas Argentinas de Ingenieria Estructural, Buenos Aires, Argentina, Vol. 2, pp. 817-836. (in Spanish)

Deierlein G.G., Reinhorn A.M., and Willford M.R. [2010] "Nonlinear structural analysis for seismic design," NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 4, produced by the NEHRP Consultants Joint Venture, a partnership of the Applied Technology Council and the Consortium of Universities for Research in Earthquake Engineering, for the National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, NIST GCR 10-917-5.

Della Corte G., De Matteis G., Landolfo R. [2000] "Influence of connection modelling on seismic response of moment resisting steel frames," in Moment Resistant Connections of Steel Frames in Seismic Areas: Design and Reliability (ed. F.M. Mazzolani), Chapter 7, E&FN Spon, London, New York.

De Martino A., Faella C., Mazzolani F.M. [1984] "Simulation of Beam-to-Column Joint Behaviour under Cyclic Loads," Construzioni Metalliche, Vol. 6, pp. 346-356.

De Sortis A., Di Pasquale G., Nasini U. [1999] Criteri di Calcolo per la Progettazione degli Interventi – Terremoto in Umbria e Marche del 1997, Servizio Sismico Nazionale, Rome, Italy. (in Italian)

Dionysis Biskinis and Michael N. Fardis [2013] "Stiffness and cyclic deformation capacity of circular RC columns with or wothout lap-splices and FRP wrapping," Bulletinof Earthquake Engineering11(5)

Dodd L., Restrepo-Posada J. [1995] "Model for Predicting Cyclic Behavior of Reinforcing Steel," Journal of Structural Engineering, Vol. 121, No. 3, pp. 433–445.

Drysdale R.G., Khattab M.M. [1995] "In-plane behaviour of grouted concrete masonry under biaxial tension-compression," American Concrete Institute Journal, Vol. 92, No. 6, pp. 653-664.

Elnashai A.S., Elghazouli A.Y. [1993] "Performance of composite steel/concrete members under earthquake loading, Part I: Analytical model," Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 22, pp. 315-345.

Emori K., Schnobrich W.C. [1978] Analysis of Reinforced Concrete Frame-Wall Structures for Strong Motion Earthquakes, Structural Research Series No. 434, Civil Engineering Studies, University of Illinois at Urbana-Champaign.

EN 1998-1 (2004) (English): Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings.

EN 1998-3 (English) [2004]: Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance -Part 3: Assessment and retrofitting of buildings.

Felippa C.A. [2001] "Nonlinear Finite Element Methods," Lecture Notes, Centre for Aerospace Structure, College of Engineering, University of Colorado, USA. Available from URL: http://www.colorado.edu/engineering/CAS/courses.d/NFEM.d/Home.html.

Felippa C.A. [2004] "Introduction to Finite Element Methods," Lecture Notes, Centre for Aerospace Structure, College of Engineering, University of Colorado, USA. Available from URL: http://www.colorado.edu/engineering/CAS/courses.d/IFEM.d/Home.html.

Ferracuti B., Savoia M. [2005] "Cyclic behaviour of FRP-wrapped columns under axial and flexural loadings," Proceedings of the International Conference on Fracture, Turin, Italy.

Ferracuti B., Pinho R., Savoia M., Francia R. [2009] "Verification of Displacement-based Adaptive Pushover through multi-ground motion incremental dynamic analyses," Engineering Structures, Vol. 31, pp. 1789-1799.

FIB [2001] "Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures," FIB Bulletin n. 14, Federation Internationale du Beton, pp. 138.

FIB [2006] Retrofitting of Concrete Structures by Externally Bonded FRPS, with Emphasis on Seismic Applications, FIB Bulletin n. 35, Federation Internationale du Beton, pp. 220.

Filippou F.C., Popov E.P., Bertero V.V. [1983] "Effects of bond deterioration on hysteretic behaviour of reinforced concrete joints," Report EERC 83-19, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.

Filippou F.C., Fenves G.L. [2004] "Methods of analysis for earthquake-resistant structures", Chapter 6 in 'Earthquake Engineering - From Engineering Seismology to Performance-Based Engineering', eds. Y. Bozorgnia and V.V. Bertero, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.

Fiorato A.E., Sozen M.A., Gamble W.L. [1970] An Investigation of the Interaction of Reinforced Concrete Frames with Masonry Filler Walls, Report UILU-ENG-70-100, Department of Civil Engineering, University of Illinois, Urbana-Champaign IL, USA.

Foster A.S.J., Rossetto T., and Allsop W. [2017] “An experimentally validated approach for evaluating tsunami inundation forces on rectangular buildings”, Coastal Engineering, Vol. 128, pp. 44-57.

Fragiadakis M., Pinho R., Antoniou S. [2008] "Modelling inelastic buckling of reinforcing bars under earthquake loading," in Progress in Computational Dynamics and Earthquake Engineering, Eds. M. Papadrakakis, D.C. Charmpis, N.D. Lagaros and Y. Tsompanakis, A.A. Balkema Publishers – Taylor & Francis, The Netherlands.

Fragiadakis M., Papadrakakis M. [2008] "Modeling, analysis and reliability of seismically excited structures: computational issues," International Journal of Computational Methods, Vol. 5, No. 4, pp. 483-511.

Freitas J.A.T., Almeida J.P.M., Pereira E.M.B.R. [1999] "Non-conventional formulations for the finite element method," Computational Mechanics, Vol. 23, pp. 488-501.

Fugazza D. [2003] Shape-memory Alloy Devices in Earthquake Engineering: Mechanical Properties, Constitutive Modelling and Numerical Simulations, MSc Dissertation, European School for Advanced Studies in Reduction of Seismic Risk (ROSE School), Pavia, Italy.

Gere J.M., Timoshenko S.P. [1997] Mechanics of Materials, 4th Edition.

Giannakas A., Patronis D., Fardis M. [1987] "The influence of the position and the size of openings to the elastic rigidity of infill walls," Proceedings of Eighth Hellenic Concrete Conference, Xanthi-Kavala, Greece. (in Greek)

Giberson, M.F. [1967] “The Response of Nonlinear Multi-Story Structures subjected to Earthquake Excitation,” Doctoral Dissertation, California Institute of Technology, Pasadena, CA., May 1967, 232pp.

Giberson, M.F. [1969] “Two Nonlinear Beams with Definition of Ductility,” Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 95, No. 2, pp. 137-157.

Gostic S., Zarnic R. [1985] "Cyclic lateral response of masonry infilled R/C frames and confined masonry walls," Proceedings of the Eighth North-American Masonry Conference, Austin, Texas, USA.

Hall J.F. [2006] "Problems encountered from the use (or misuse) of Rayleigh damping," Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 35, No. 5, pp. 525-545.

Hamburger R.O. [1993] "Methodology for seismic capacity evaluation of steel-frame buildings with infill unreinforced masonry," Proceedings of the US National Conference on Earthquake Engineering, Memphis, Tennesse, USA.

Hamburger R.O., Foutch D.A., Cornell C.A. [2000] "Performance basis of guidelines for evaluation, upgrade and design of moment-resisting steel frames," Proceedings of the Twelfth World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, paper No. 2543.

Han T.-S., Feenstra P.H., Billington S.L. [2003] "Simulation of Highly Ductile Fiber-Reinforced Cement-Based Composite Components Under Cyclic Loading.", ACI Structural Journal, Vol. 100, No. 6, pp. 749-757

Hellesland J., Scordelis A. [1981] "Analysis of RC bridge columns under imposed deformations," IABSE Colloquium, Delft, pp. 545-559.

Hendry A.W. [1990] Structural Masonry, Macmillan Education Ltd, London, England.

Hilber H.M., Hughes T.J.R., Taylor R.L. [1977] "Improved numerical dissipation for time integration algorithms in structural dynamics," Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 5, No. 3, pp. 283-292.

Holmes M. [1961] "Steel Frames with Brickwork and Concrete Infilling," Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Vol. 19, pp. 473-478.

Hughes T.J.R. [1987] The Finite Element Method, Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis, Prentice-Hall.

Hyodo M., Yamamoto Y., Sugyiama M. [1994] "Undrained cyclic shear behavior of normally consolidated clay subjected to initial static shear stresses," Soils and Foundations, Vol. 34, No. 4, pp. 1-11.

Ibarra L.F., Medina R.A., Krawinkler H. [2005] "Hysteretic Models that Incorporate Stiffness and Strength Deterioration." Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 34 pp. 1489-1511.

Irons B.M. [1970] "A frontal solution program for finite element analysis," International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 2, pp. 5-32.

Izzuddin B.A. [1991] Nonlinear Dynamic Analysis of Framed Structures, PhD Thesis, Imperial College, University of London, London, UK

Kaldjian M.J. [1967] "Moment-curvature of beams as Ramberg-Osgood functions," Journal of Structural Division, ASCE, Vol. 93, No. ST5, pp. 53-65.

KANEPE [2022] Earthquake Planning and Protection Organisation of Greece: Code for Structural Interventions, 3rd revision.

Kappos A., Konstantinidis D. [1999] "Statistical analysis of confined high strength concrete," Materials and Structures, Vol. 32, pp. 734-748.

Karsan I.D., Jirsa J.O. [1969] "Behavior of concrete under compressive loading.", Journal of the Structural Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 95, Issue 12, pp. 2543-2564

Kent D.C., Park R. [1971] "Flexural members with confined concrete.", Journal of the Structural Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 97, Issue 7, pp. 1969-1990

Kunnath S.K. [2004] "Identification of modal combination for nonlinear static analysis of building structures," Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, Vol. 19, pp. 246-259.

LawK.H. and Mackay D.R.[1992]. A parallel row-oriented sparse solution method for finite element structural analysis. Manuscript NA-92-10. Computer Science Department, Stanford University. August 1992.

Liauw T.C., Lee S.W. [1977] "On the behaviour and the analysis of multi-storey infilled frames subjected to lateral loading," Proceedings of Institution of Civil Engineers, Part 2, Vol. 63, pp. 641-656.

Liauw T.C., Kwan K.H. [1984] "Nonlinear behaviour of non-integral infilled frames," Computer and Structures, Vol. 18, No. 3, pp. 551-560.

Lignos D.G.,Krawinkler H. [2011] "Deterioration Modeling of Steel Components in Support of Collapse Prediction of Steel Moment Frames under Earthquake Loading." Journal of Structural Engineering, Vol. 137, No. 11, pp. 1291-1302.

Lignos, D.G., Krawinkler, H. [2012]. "Development and Utilization of Structural Component Databases for Performance-Based Earthquake Engineering", Journal of Structural Engineering, ASCE.

Liu, J. W. H. [1986]. A compact row storage scheme for Cholesky factors using elimination trees. ACM Trans. Math. Software 12, 127-148 (1986).Lopez-Menjivar MA. [2004] Verification of a Displacement-Based Adaptive Pushover Method for Assessment of 2D RC Buildings. PhD Thesis, European School for Advanced Studies in Reduction of Seismic Risk (ROSE School), University of Pavia, Italy.

Mackay D. R., Law K. H., and Raefsky A. [1991] "An implementation of a generalized sparse/profile finite element solution method." Comput. Struct., 41, 723–737.

Madas P. [1993] "Advanced Modelling of Composite Frames Subjected to Earthquake Loading," PhD Thesis, Imperial College, University of London, London, UK.

Madas P. and Elnashai A.S. [1992] "A new passive confinement model for transient analysis of reinforced concrete structures," Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 21, pp. 409-431.

Mahin SA, Bertero VV.[1976] "Nonlinear seismic response of a coupled wall system." ASCE Journal of the Structural Division Vol.102:1759–1980.

Mainstone R.J. [1971] "On the Stiffnesses and Strength of Infilled Panels," Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Supplement IV, pp. 57-90.

Mainstone R.J., Weeks G.A. [1970] "The influence of Bounding Frame on the Racking Stiffness and Strength of Brick Walls," Proceedings of the Second International Brick Masonry Conference, Stoke-on-Trent, United Kingdom.

Mallick D.V., Garg R.P. [1971] "Effect of openings on the lateral stiffness of infilled frames," Proceedings of the Institution of Civil Engineering, Vol. 49, pp. 193-209.

Mander J.B., Priestley M.J.N., Park R. [1988] "Theoretical stress-strain model for confined concrete," Journal of Structural Engineering, Vol. 114, No. 8, pp. 1804-1826.

Mann W., Muller H. [1982] "Failure of shear-stresses masonry - an enlarged theory, tests and application to shear walls, " Proceedings of the British Ceramic Society, Vol. 30, pp. 139-149.

Mari A., Scordelis A. [1984] "Nonlinear geometric material and time dependent analysis of three dimensional reinforced and prestressed concrete frames," SESM Report 82-12, Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley.

Martinez-Rueda J.E. [1997] Energy Dissipation Devices for Seismic Upgrading of RC Structures, PhD Thesis, Imperial College, University of London, London, UK.

Martinez-Rueda J.E., Elnashai A.S. [1997] "Confined concrete model under cyclic load," Materials and Structures, Vol. 30, No. 197, pp. 139-147.

Menegotto M., Pinto P.E. [1973] "Method of analysis for cyclically loaded R.C. plane frames including changes in geometry and non-elastic behaviour of elements under combined normal force and bending," Symposium on the Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well Defined Repeated Loads, International Association for Bridge and Structural Engineering, Zurich, Switzerland, pp. 15-22.

Mirza S.A. [1989] "Parametric study of composite column strength variability," Journal of Construction Steel Research, Vol. 14, pp. 121-137.

Monti G., Nuti C. [1992] "Nonlinear cyclic behaviour of reinforcing bars including buckling," Journal of Structural Engineering, Vol. 118, No. 12, pp. 3268-3284.

Monti, G., Nuti, C., Santini, S. [1996] CYRUS - Cyclic Response of Upgraded Sections, Report No. 96-2, University of Chieti, Italy.

Mosalam K.M., White R.N., Gergely P. [1997] "Static response of infilled frames using quasi-static experimentation," ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 123, No. 11, pp. 1462-1469.

Mpampatsikos V., Nascimbene R., Petrini L. [2008] "A critical review of the R.C. frame existing building assessment procedure according to Eurocode 8 and Italian Seismic Code," Journal of Earthquake Engineering, Vol. 12, Issue SP1, pp. 52-58.

Muthukumar S. and DesRoches R. [2006] "Elastoplastic A Hertz contact model with non-linear damping for pounding simulation", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 35, pp. 811-828

Nagashima T., Sugano S., Kimura H., Ichikawa A. [1992] "Monotonic axial compression tests on ultra high strength concrete tied columns," Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, Spain, pp. 2983-2988.

Neuenhofer A., Filippou F.C. [1997] "Evaluation of nonlinear frame finite-element models," Journal of Structural Engineering, Vol. 123, No. 7, pp. 958-966.

Newmark N.M. [1959] "A method of computation for structural dynamics," Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 85, No. EM3, pp. 67-94.

Nogueiro P., Simoes da Silva L., Bento R., Simoes R. [2005a] "Numerical implementation and calibration of a hysteretic model with pinching for the cyclic response of steel and composite joints," Proceedings of the Fourth International Conference on Advances in Steel Structures, Shangai, China, Paper no. ISP-45.

Nogueiro P., Simoes da Silva L., Bento R., Simoes R. [2005b] "Influence of joint slippage on the seismic response of steel frames," Proceedings of the EuroSteel Conference on Steel and Composite Structures, Maastricht, Nederlands, Paper no. 314.

NTC 2018, D.M. Infrastrutture Trasporti 17 gennaio 2018 (G.U. 20 febbraio 2018 n. 8 - Suppl. Ord.). "Norme tecniche per le Costruzioni" (NTC18).

Oran C. [1973] "Tangent stiffness in space frames," Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 99, No. ST6, pp. 987-1001.

Otani, S. [1974] SAKE, A Computer Program for Inelastic Response of R/C Frames to Earthquakes, Report UILU-Eng-74-2029, Civil Engineering Studies, University of Illinois at Urbana-Champaign, USA.

Otani S. [1981] "Hysteresis Models of Reinforced Concrete for earthquake Response Analysis," Journal of Faculty of Engineering, University of Tokyo, Vol. XXXVI, No2, 1981 pp 407-441.

Papia M. [1988] "Analysis of infilled frames using a coupled finite element and boundary element solution scheme," International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 26, pp. 731-742.

Park R., Paulay T. [1975] Reinforced Concrete Structures, John Wiley & Sons, New York.

Park Y. J., Wen Y. K., Ang H-S. [1986] "Random Vibration of Hysteretic Systems under Bi- Directional Ground Motions" *Earthquake Engi neering and Structural Dynamics*, Vol. 14, No 4, pp. 543-557.

Paulay T., Priestley M.J.N. [1992] Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, John Wiley & Sons Inc., New York.

Pegon P. [1996] "Derivation of consistent proportional viscous damping matrices," JRC Research Report No I.96.49, Ispra, Italy.

Penelis G.G., Kappos A.J. [1997] Earthquake-resistant Concrete Structures, E & FN Spon, London, UK.

Petrone C., Rossetto T., and Goda K. [2017] "Fragility Assessment of a RC Structure under Tsunami Actions Via Nonlinear Static and Dynamic Analyses", Engineering Structures, Vol. 136, pp. 36–53.

Pietra D., Pinho R. and Antoniou S. [2006] "Verification of displacement-based adaptive pushover for seismic assessment of high-rise steel buildings," Proceedings of the First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, Paper no. 956.

Pilkey W.D. [1994] Formulas for Stress, Strain, and Structural Matrices, John Wiley & Sons, New York.

Pinho R., Antoniou S. [2005] "A displacement-based adaptive pushover algorithm for assessment of vertically irregular frames," Proceedings of the Fourth European Workshop on the Seismic Behaviour of Irregular and Complex Structures, Thessaloniki, Greece.

Pinho R., Casarotti C., Antoniou S. [2007] "A comparison of single-run pushover analysis techniques for seismic assessment of bridges," Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 36, No. 10, pp. 1347–1362.

Pinho R., Bhatt C., Antoniou S., Bento R. [2008a] "Modelling of the horizontal slab of a 3D irregular building for nonlinear static assessment," Proceedings of the Fourteenth World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, Paper no. 05-01-0159.

Pinho R., Marques M., Monteiro R., Casarotti C. [2008b] "Using the Adaptive Capacity Spectrum Method for seismic assessment of irregular frames," Proceedings of the Fifth European Workshop on the Seismic Behaviour of Irregular and Complex Structures, Catania, Italy, Paper no. 21.

Pinho R., Monteiro R., Casarotti C., Delgado R. [2009] "Assessment of continuous span bridges through Nonlinear Static Procedures," Earthquake Spectra, Vol. 25, No. 1, pp. 143-159.

Priestley M.J.N. [2003] Myths and Fallacies in Earthquake Engineering, Revisited. The Mallet Milne Lecture, IUSS Press, Pavia, Italy.

Priestley M.J.N., Grant D.N. [2005] "Viscous damping in seismic design and analysis," Journal of Earthquake Engineering, Vol. 9, Special Issue 1, pp. 229-255.

Priestley M.J.N., Seible F., Calvi G.M. [1996] Seismic Design and Retrofit of Bridges, John Wiley & Sons Inc., New York.

Prota A., Cicco F., Cosenza E. [2009] "Cyclic behavior of smooth steel reinforcing bars: experimental analysis and modeling issues," Journal of Earthquake Engineering, Vol. 13, No. 4, pp. 500–519.

Przemieniecki J.S. [1968] Theory of Matrix Structural Analysis, McGraw Hill.

Qi Z.X., Eames I., Johnson E.R. [2014], “Force Acting on a Square Cylinder Fixed in a Free-Surface Channel Flow”, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 756, pp. 716–727.

Ramberg W., Osgood W.R. [1943] Description of Stress-Strain Curves by Three Parameters, National Advisory Committee on Aeronautics, Technical Note 902.

Repapis C. [2000] Study of Different Approaches for Nonlinear Dynamic Analysis of RC Frames, MSc Dissertation, Dept. of Civil Engineering, Imperial College, London, UK.

Ribeiro F.L.A., Barbosa A.R., Scott M.H., Neves L.C. [2014] "Deterioration Modeling of Steel Moment Resisting Frames Using Finite-Length Plastic Hinge Force-Based Beam-Column Elements." Journal of Structural Engineering, Vol. 141, No. 2, pp. 04014112.

Richard R.M., Abbott B.J. [1975] "Versatile Elastic Plastic Stress-Strain Formula," Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol. 101, No. 4, pp. 511-515.

Riddington J.R., Ghazali M.Z. [1988] "Shear strength of masonry walls," Proceedings of the Eighth International Brick and Block Masonry Conference, Dublin, Ireland.

Rosenblueth, E.[1951]*A basis for a Seismic Design*, PhD Thesis, University of Illinois, Urbana, USA..

Sahlin S. [1971] Structural Masonry, Prentice-Hall Inc., New Jersey, USA.

San Bartolome A.[1990] Colleciσn del Ingeniero Civil, Libro No. 4, Colegio de Ingenierios del Peru, Peru. (in Spanish)

Sattar S. and Liel A.B. [2010] "Seismic Performance of Reinforced Concrete Frame Structures with and without Masonry Infill Walls". 9th U.S. National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering, Toronto, Canada.

Scott B.D., Park R., Priestley M.J.N. [1982] "Stress-strain behaviour of concrete confined by overlapping hoops at low and high strain rates," ACI Journal, Vol. 79, No. 1, pp. 13-27.

Scott M.H., Fenves G.L. [2006] "Plastic hinge integration methods for force-based beam–column elements," ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 132, No. 2, pp. 244-252.

Seed H.B., Idriss I.M., Makdisi F., Banerjee N. [1975] "Representation of irregular stress time-histories by equivalent uniform stress series in liquefaction analysis," Report No. UCB/EERC 75-29, University of California, Berkeley, USA.

Sheikh S.A., Uzumeri S.M. [1982] "Analytical model for concrete confined in tied columns," Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 108, No. ST12, pp. 2703-2722.

Simo J.C., Hughes T.J.R. [1998] “Computational Inelasticity”, Springer-Verlag New York, USA.

Simoes R., Simoes da Silva L., Cruz P. [2001] "Behaviour of end-plate beam-to-column composite joints under cyclic loading," International Journal of Steel and Composite Structures, Vol. 1, No. 3, pp. 355-376.

Sivaselvan M., Reinhorn A.M. [1999] "Hysteretic models for cyclic behavior of deteriorating inelastic structures," Report MCEER-99-0018, MCEER/SUNY/Buffalo.

Sivaselvan M., Reinhorn A.M. [2001] "Hysteretic models for deteriorating inelastic structures," Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol. 126, No. 6, pp. 633-640, with discussion by Wang and Foliente and closure in Vol. 127, No. 11.

Smyrou E., Blandon C.A., Antoniou S., Pinho R., Crisafulli F. [2011] "Implementation and verification of a masonry panel model for nonlinear dynamic analysis of infilled RC frames," Bullettin of Earthquake Engineering, DOI 10.1007/s10518-011-9262-6.

Spacone E., Ciampi V., Filippou F.C. [1996] "Mixed formulation of nonlinear beam finite element," Computers & Structures, Vol. 58, No. 1, pp. 71-83.

Spoelstra M., Monti G. [1999] "FRP-confined concrete model," Journal of Composites for Construction, ASCE, Vol. 3, pp. 143-150.

Shrive N.G. [1991] "Materials and material properties," in Reinforced and Prestressed Masonry, Longman Scientific and Technical, London, England.

Stafford-Smith B. [1966] "Behaviour of square infilled frames," Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of Structural Division, Vol. 92, No. ST1, pp. 381-403.

Stafford-Smith B. and Carter C. [1969]. "A method for the analysis of infilled frames", Proc. Instn. Civ. Engrs., 44, 31–48.

Stockl S., Hofmann P. [1988] "Tests on the shear bond behaviour in the bed-joints of masonry," Proceedings of the Eighth International Brick and Block Masonry Conference, Dublin, Ireland.

Takeda T., Sozen M.A., Nielsen N.N. [1970] "Reinforced concrete response to simulated earthquakes," Journal of Structural Division, ASCE, Vol. 96, No. ST12, pp. 2557-2573.

TBDY [2018]: Turkish Seismic Building Regulations.

Thiruvengadam H. [1980] "On the natural frequencies of infilled frames," Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 13, pp. 507-526.

Triantafillou T.C. [2006] "Seismic Retrofitting using Externally Bonded Fibre Reinforced Polymers (FRP)," (To appear in Chapter 5 of the fib bulletin "Seismic Assessment & Retrofit of RC Buildings")

Trueb U. [1983] Stability Problems of Elasto-Plastic Plates and Shells by Finite Elements, PhD Thesis, Imperial College, University of London, London.

TS500 [2000]: Requirements for Design and Construction of Reinforced Concrete Structures.

Utku B. [1980] "Stress magnifications in walls with openings," Proceedings of the Seventh World Conference on Earthquake Engineering, Istanbul, Turkey.

Vamvatsikos D., Cornell C.A. [2002] "Incremental dynamic analysis," Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 31, No. 3, pp. 491-514.

Varum H.S.A. [2003] Seismic Assessment, Strengthening and Repair of Existing Buildings, PhD Thesis, University of Aveiro, Portugal.

Wen Y.K. [1976] "Method for Random Vibration of Hysteretic Systems", Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 102, Issue 2, Pg. 249-263.

Wilson E. [2001] Static and Dynamic Analysis of Structures, Computers and Structures Inc, Berkeley, California. (available at URL: http://www.edwilson.org/book/book.htm)

Wakabayashi M. [1986] Design of earthquake-resistant buildings, McGraw-Hill, USA.

Wan Q., Yi W. [1986] "The shear strength of masonry walls under combined stresses," Proceedings of the Fourth Canadian Masonry Symposium, University of New Brunswick, Canada.

Wolf J.P. [1994] Foundation Vibration Analysis Using Simple Physical Models, Prentice Hall, New Jersey, USA.

Yassin M.H.M. [1994] Nonlinear analysis of prestressed concrete structures under monotonic and cyclic loads, PhD Thesis, University of California, Berkeley, USA.

Yankelevsky D.Z., Reinhardt H.W. [1989] "Uniaxial behavior of concrete in cyclic tension," Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 115, No. 1, pp. 166-182.

Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. [1991] The Finite Element Method, 4th Edition, McGraw Hill.Zona A. and Dall'Asta A. [2012] "Elastoplastic model for Steel buckling-restrained braces",Journal of Constructional Steel Research , Vol. 68, pp. 118-125

Apéndice A – Marco teórico e hipótesis de modelado

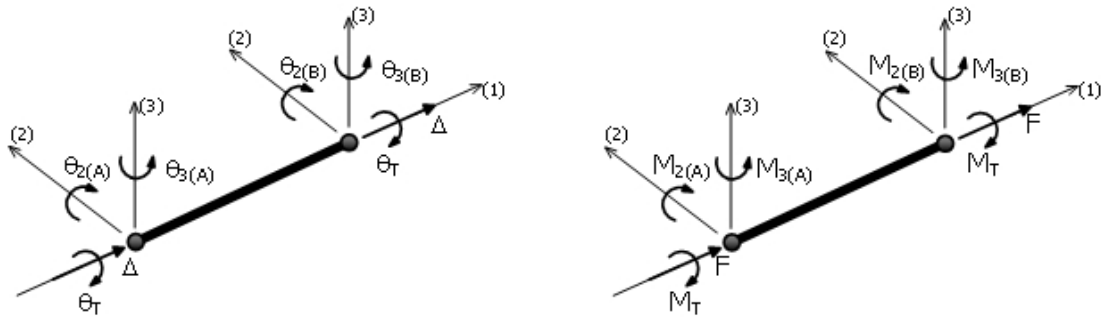
Este apéndice tiene como fin proveer a los usuarios un panorama general sobre los fundamentos teóricos y convenciones de modelado en SeismoStruct, así como también hacer referencia a una serie de publicaciones a las cuales los usuarios pueden acudir para profundizar en estos conceptos.

NO-LINEALIDAD GEOMÉTRICA

SeismoStruct utiliza una formulación completamente co-rotacional desarrollada e implementada por Correia and Virtuoso [2006], que le permite tener en cuenta el efecto de grandes desplazamientos/rotaciones y grandes deformaciones independientes, relativas a la cuerda de los elementos de pórtico (conocidos habitualmente como efectos P-Delta).

La formulación implementada se basa en una descripción exacta de las transformaciones cinemáticas asociadas a los grandes desplazamientos y rotaciones tridimensionales del miembro viga-columna. Esto permite la definición correcta de las deformaciones independientes y fuerzas del elemento, así como también la definición natural de los efectos de las no-linealidades geométricas en la matriz de rigidez.

Sin perder su nivel de generalidad, la implementación de esta formulación considera pequeñas deformaciones relativas a la cuerda del elemento, al margen de la existencia de grandes desplazamientos y rotaciones nodales. En el sistema local referido a la cuerda del elemento viga-columna se definen seis grados de libertad básicos de desplazamientos ($\theta_{2(A)}$, $\theta_{3(A)}$, $\theta_{2(B)}$, $\theta_{3(B)}$, Δ, θ_T) y las correspondientes fuerzas internas del elemento ($M_{2(A)}$, $M_{3(A)}$, $M_{2(B)}$, $M_{3(B)}$, F, M_T), como se muestra en la figura a continuación:



Sistema local referido a la cuerda del elemento viga-columna

NOTA 1: Si se prevé que una viga o columna dada deba experimentar grandes deformaciones relativas a la cuerda que conecta sus nodos extremos (es decir, efectos p-delta), este efecto puede ser tenido en cuenta utilizando 2 ó 3 elementos por miembro, lo cual resulta suficiente en la mayoría de los casos.

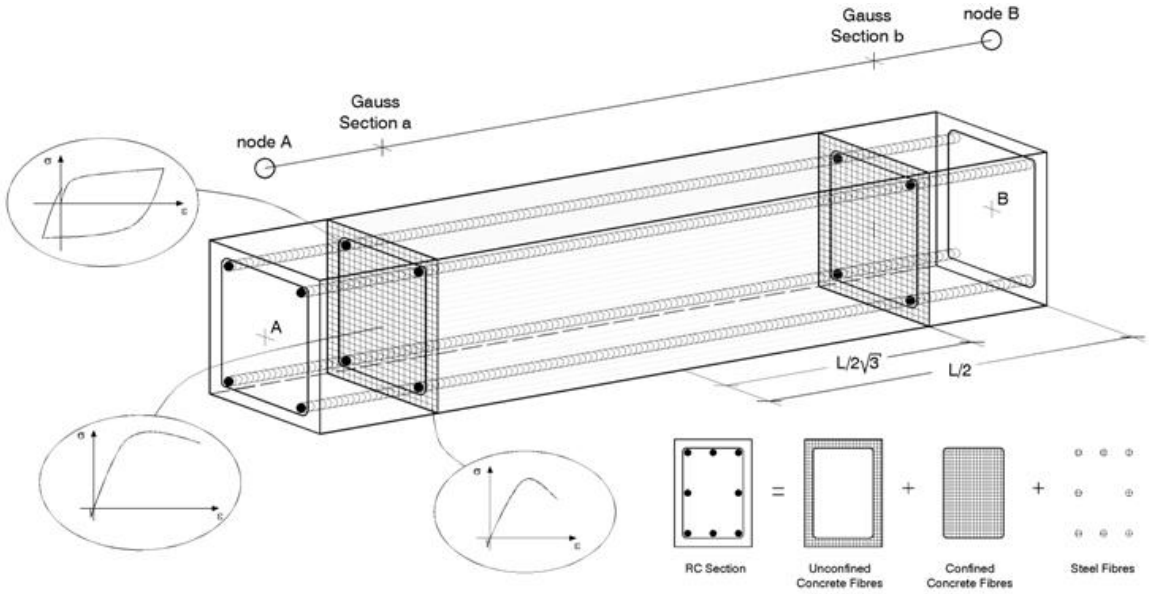
NOTA 2: Debe notarse que, en la evaluación de pilas individuales, la no-linealidad geométrica acoplada a un eje neutro no baricéntrico puede conducir a la obtención de niveles erróneos de carga axial.

INELASTICIDAD DE LOS MATERIALES

El uso de elementos con inelasticidad distribuida está comenzando a ser cada vez más habitual en aplicaciones de ingeniería sísmica, tanto en investigación como en el ejercicio profesional. Dado que autores como Filippou and Fenves [2004] o Fragiadakis and Papadrakakis [2008] brindan un tratamiento exhaustivo de sus ventajas en relación con los modelos más simples de plasticidad concentrada, así como también una descripción concisa de su evolución histórica y sus limitaciones, aquí simplemente se hará mención del hecho de que los elementos con inelasticidad distribuida no requieren de la calibración (no siempre directa) de parámetros empíricos de respuesta a partir de la respuesta real o ideal de un elemento de pórtico bajo condiciones de carga ideales, como es el caso para los modelos de plasticidad concentrada.

En SeismoStruct se hace uso del llamado "enfoque de fibras" para representar el comportamiento de las secciones transversales, donde cada fibra es asociada a una relación uniaxial esfuerzo-deformación; el estado seccional de esfuerzo-deformación de los elementos viga-columna es obtenido mediante la integración de la respuesta esfuerzo-deformación uniaxial no lineal de las fibras individuales (típicamente 100-150) en las cuales ha sido subdividida la sección (en la figura de abajo se esquematiza, a modo de ejemplo, la discretización de una sección transversal típica de hormigón armado).

Este tipo de modelos presenta numerosas ventajas adicionales, las cuales pueden resumirse en: (i) no es necesario realizar análisis momento-curvatura previos para definir los elementos; (ii) no es necesario definir ningún tipo de respuesta histerética de los elementos (dado que queda definida implícitamente mediante los modelos constitutivos de los materiales); (iii) modelado directo de la interacción entre esfuerzo axial y momento flector (tanto para la resistencia como para la rigidez); (iv) representación directa de la carga biaxial y de la interacción de la resistencia flexional en direcciones ortogonales.

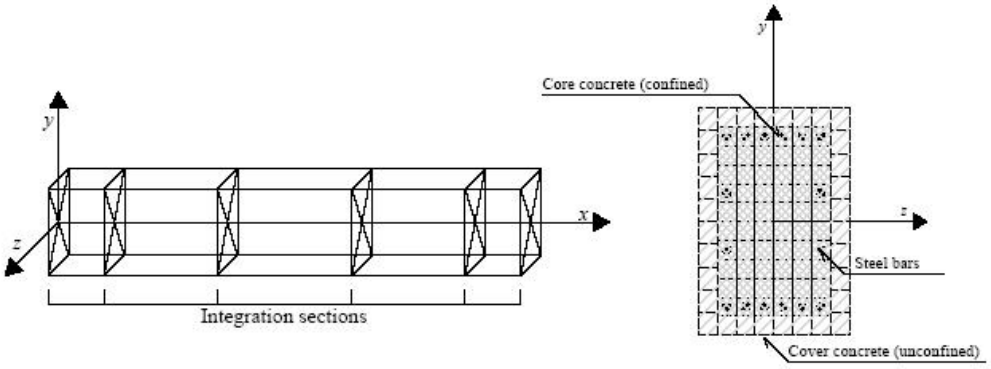


Discretización de una sección transversal típica de hormigón armado

Los elementos de pórtico con inelasticidad distribuida pueden ser implementados mediante dos formulaciones de elementos finitos (FE) diferentes: la clásica formulación basada en desplazamientos ("DB", *displacement-based*) [por ej., Hellesland and Scordelis 1981; Mari and Scordelis 1984], y la más reciente formulación basada en fuerzas ("FB", *force-based*) [por ej., Spacone et al. 1996; Neuenhofer and Filippou 1997]. En el enfoque DB, el campo de desplazamientos es impuesto, mientras que en un elemento FB el equilibrio es satisfecho estrictamente y no se aplican restricciones al desarrollo de deformaciones inelásticas a lo largo del miembro; por mayores detalles ver, por ej., Alemdar and White [2005] y Freitas et al. [1999].

En el enfoque DB se utilizan funciones de forma de desplazamientos que corresponden, por ejemplo, a una variación lineal de la curvatura del elemento. Para el caso DB, en cambio, una variación lineal de momento es impuesta, es decir, la contraparte de la variación lineal de la curvatura. Cuando el comportamiento del material es elástico y lineal, ambos enfoques producen, naturalmente, el mismo resultado, a condición de que sólo actúen fuerzas nodales sobre el elemento. Por el contrario, cuando el material presenta comportamiento inelástico, la imposición de un campo de desplazamientos no permite capturar la forma deformada real dado que el campo de curvaturas puede ser, para el caso general, altamente no lineal. En esta situación, si se utiliza una formulación basada en desplazamientos es necesario realizar una discretización (meshing) refinada del elemento estructural (típicamente 4-5 elementos por cada miembro estructural) para el cálculo de los desplazamientos/fuerzas nodales, para poder aceptar la hipótesis de un campo lineal de curvaturas dentro de cada sub-dominio. Aun así, se recomienda a los usuarios no utilizar los valores de curvatura seccional y estados esfuerzo-deformación de fibras individuales calculados de esta forma.

Por el contrario, la formulación basada en fuerzas es siempre exacta, dado que no depende del comportamiento constitutivo que se asuma para la sección. De hecho, no restringe de ninguna manera el campo de desplazamientos del elemento. En este sentido, esta formulación puede ser considerada "exacta", siendo el número discreto de secciones de control utilizadas para la integración numérica a lo largo del elemento la única aproximación introducida. Un mínimo de 3 secciones de integración Gauss-Lobatto son necesarias para evitar una sub-integración, aunque dicha opción no podrá, en general, simular la difusión de la inelasticidad en forma aceptable. Consecuentemente, el número mínimo sugerido de puntos de integración (IP) es 4, aunque suelen utilizarse típicamente entre 5 y 7 (ver figura abajo). Esto permite el modelado de cada miembro estructural con un sólo elemento finito, permitiendo así una correspondencia biunívoca (*one-to-one*) entre miembros estructurales (vigas y columnas) y elementos del modelo. En otras palabras, al utilizar elementos con formulación FB no es necesario, en teoría, discretizar el elemento, incluso si la sección transversal no es constante. Esto es así debido a que el campo de fuerzas es siempre exacto, independientemente del nivel de inelasticidad.



Secciones de integración de Gauss-Lobatto

En SeismoStruct se encuentran implementadas las dos formulaciones descritas (DB y FB). Sin embargo, la formulación basada en fuerzas es típicamente recomendada dado que, como se mencionó anteriormente, no requiere (en general) de la discretización de los elementos, dando lugar así a modelos considerablemente más pequeños (en comparación a aquellos en los que se utiliza la formulación DB) y, por lo tanto, análisis mucho más rápidos, a pesar de que los elementos FB requieran cálculos de equilibrio computacionalmente más demandantes. Una excepción a lo dicho respecto de la no discretización surge cuando se prevén efectos de localización, en cuyo caso es necesario tomar precauciones/medidas especiales, como se describe en Calabrese et al. [2010].

Por otra parte, el uso de un solo elemento por cada miembro estructural permite a los usuarios utilizar el output de rotaciones de cuerda de los elementos para llevar a cabo verificaciones según las normativas (por ej. según Eurocódigo 8, FEMA-356, ATC-40, etc.). Por el contrario, cuando el miembro estructural debe ser discretizado en dos o más elementos de pórtico (necesariamente el caso para los elementos DB), los usuarios deben realizar un post-procesado de los desplazamientos/rotaciones

nodales para poder estimar las rotaciones de cuerda de los elementos (por ej., Mpampatsikos et al. 2008).

Finalmente, debe notarse que, con el fin de obtener una mayor precisión, en SeismoStruct se utiliza la cuadratura de Gauss-Legendre para los elementos DB (los cuales hacen uso de dos secciones de integración) y la cuadratura de Gauss-Lobatto para los elementos FB (para los cuales se emplean de 4 a 10 secciones de integración). Si bien los usuarios pueden referirse a la literatura (o a fuentes de internet) por mayores detalles sobre dichas reglas, se dan a continuación las coordenadas aproximadas a lo largo del elemento (medidas desde su baricentro) de las secciones de integración:

- 2 secciones de integración: [-0.577 0.577] x L/2
- 3 secciones de integración: [-1 0.0 1] x L/2
- 4 secciones de integración: [-1 -0.447 0.447 1] x L/2
- 5 secciones de integración: [-1 -0.655 0.0 0.655 1] x L/2
- 6 secciones de integración: [-1 -0.765 -0.285 0.285 0.765 1] x L/2
- 7 secciones de integración: [-1 -0.830 -0.469 0.0 0.469 0.830 1] x L/2
- 8 secciones de integración: [-1 -0.872 -0.592 -0.209 0.209 0.592 0.872 1] x L/2
- 9 secciones de integración: [-1 -0.900 -0.677 -0.363 0.0 0.363 0.677 0.900 1] x L/2
- 10 secciones de integración: [-1 -0.920 -0.739 -0.478 -0.165 0.165 0.478 0.739 0.920 1] x L/2

NOTA 1: Con la formulación basada sobre fuerzas es inmediatamente posible tener en cuenta las fuerzas que actúan a lo largo del miembro, mientras que en el enfoque DB las cargas distribuidas deben ser transformadas en fuerzas/momentos equivalentes en los nodos extremos del elemento (y luego es necesario utilizar una larga operación de recuperación de los esfuerzos para determinar las solicitaciones correctas en los elementos). Sin embargo, la posibilidad de introducir explícitamente cargas distribuidas no ha sido implementada aún en SeismoStruct, por lo cual el programa siempre aplicará cargas puntuales en los extremos de los elementos.

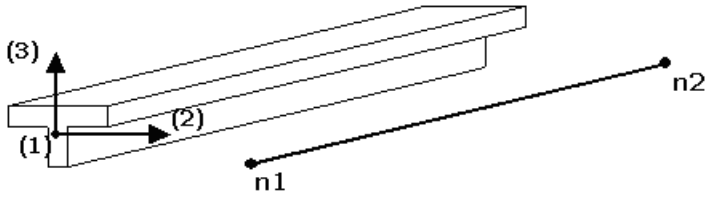
NOTA 2: Si el usuario lo desea, es posible también implementar un enfoque de plasticidad concentrada en SeismoStruct, en contraposición a la filosofía de modelado con plasticidad distribuida intrínseca de los elementos disponibles en el programa. Esto es posible utilizando el elemento elástico de pórtico (elfrm) en conjunto con links no lineales ubicados en sus extremos (alternativamente, es posible utilizar el elemento inelástico de pórtico con rótula plástica (infrmFBPH) que, si bien presenta una formulación de inelasticidad distribuida basada en fuerzas, permite concentrar dicha inelasticidad en una longitud determinada del elemento). Este enfoque de modelado (plasticidad concentrada) debe, sin embargo, ser utilizado con precaución, dado que la precisión del análisis puede verse comprometida si los usuarios no poseen experiencia suficiente en la calibración de las curvas de respuesta disponibles (a utilizar para la caracterización de los elementos tipo link), con cuyos grados de libertad desacoplados por naturaleza no es posible modelar las curvas/superficies de interacción de fuerza axial y momento flector.

NOTA 3: Como se mencionó anteriormente, el modelado con inelasticidad distribuida no requiere de experiencia avanzada, dado que el usuario sólo debe introducir las características geométricas y de los materiales de los miembros estructurales (es decir, parámetros de ingeniería). Su uso es, por lo tanto, altamente recomendado, ya que garantiza una estimación precisa de la respuesta no lineal de las estructuras.

NOTA 4: Se invita asimismo a los usuarios a leer el NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 4 (i.e. Deierlein G.G., Reinhorn A.M., and Willford M.R. [2010]), en el cual el tema del modelado no lineal es ampliamente cubierto.

SISTEMAS DE EJES GLOBALES Y LOCALES

En SeismoStruct, el sistema de referencia global está constituido por una terna de ejes cartesianos x-y-z que se utilizan para definir la longitud (x), profundidad (y) y altura (z) de todos los modelos estructurales. Por otra parte, SeismoStruct requiere también la asignación de un sistema de coordenadas locales 1-2-3 a cada elemento estructural, de forma tal de definir la orientación del elemento en el espacio. Por convención, la dirección local (1) se refiere a la cuerda del elemento, mientras que los ejes (2) y (3) definen el plano de la sección transversal y su orientación. A pesar de no existir limitaciones para la definición de los ejes locales (2) y (3), es habitual que los usuarios asocien el eje (2) a la dirección "débil" del miembro y el eje (3) a la dirección "fuerte", como se ilustra a continuación en referencia a una viga. Esta convención es adoptada en las figuras explicativas utilizadas en la descripción de las secciones en SeismoStruct.



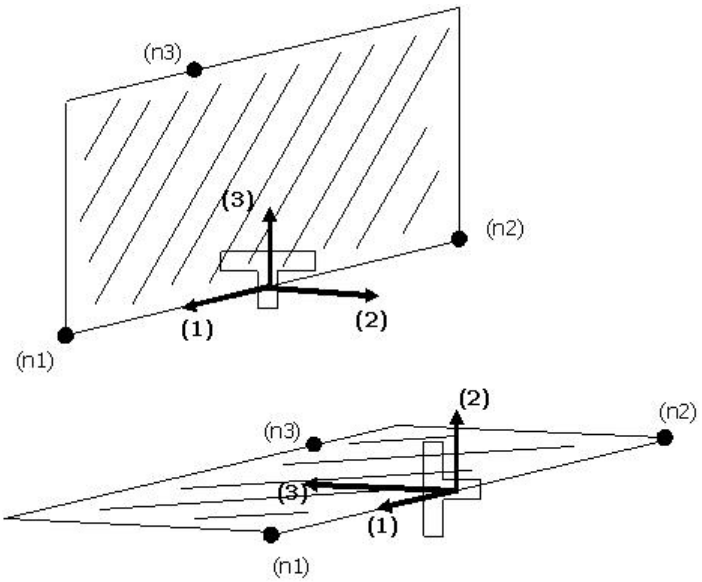
Definición de una viga con sección T (dirección local (1) a lo largo del eje de la cuerda)

Mientras que la orientación del vector local (1) se encuentra definida sin ambigüedades por la línea que une los dos nodos extremos del elemento (siendo la dirección positiva aquella que va del nodo n1 al nodo n2), es necesario utilizar un "elemento de orientación" para caracterizar por completo la orientación de los ejes locales restantes y, por ende, de la sección transversal. A partir de la versión 6 del software, la orientación del elemento puede realizarse de dos modos distintos:

1. mediante la especificación de un **ángulo de rotación** (opción por defecto), cuyo valor por defecto es 0 (los modelos construidos con el *Asistente* siguen esta regla), o
2. mediante la definición de nodos adicionales, llamados "**nodos de orientación**". Si el objeto "por defecto" es seleccionado, la orientación del elemento es calculada automáticamente por el programa, de lo contrario dependerá de la posición del nodo seleccionado.

NOTA: En general, un ángulo de rotación igual a 0 significa que el eje (3) es vertical. Los elementos verticales (en los cuales el eje (1) es vertical) son un caso especial, en los que un ángulo igual a 0 significa que el eje (3) se encuentra orientado según la dirección X.

El nodo de orientación permite definir el plano (1-3) sobre el cual yace el vector (3), su dirección (perpendicular al eje (1)) y orientación (apuntando hacia n3), como se muestra abajo. El vector local (2) es luego definido automáticamente mediante el producto vectorial de los vectores (1) y (3), quedando establecida su orientación mediante la "regla de la mano derecha".



Orientación de un elemento viga con sección T (depende de la posición de n3)

La gran mayoría de las estructuras modeladas en SeismoStruct son pórticos planos y poseen elementos verticales (por ej., columnas rectangulares, muros) con secciones transversales simétricas y vigas "T" horizontales que no son simétricas respecto de su eje (2). Por lo tanto, la selección del objeto "por defecto" como el tercer nodo puede resultar muy ventajoso.

PROCEDIMIENTO PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS NO LINEALES

El verdadero comportamiento estructural es intrínsecamente no lineal, caracterizado por la variación no proporcional de los desplazamientos respecto a la carga, particularmente en la presencia de grandes desplazamientos o inelasticidad de los materiales. Por lo tanto, en SeismoStruct, todos los análisis (con la excepción obvia del cálculo de eigenvalores) son tratados como potencialmente no lineales, lo cual implica el consecuente uso de un procedimiento incremental iterativo para el cálculo de las soluciones, en el cual las cargas son aplicadas en incrementos predefinidos y equilibradas a través de un procedimiento iterativo.

Algoritmo incremental iterativo

El algoritmo de solución es bastante flexible, ya que permite la utilización de los métodos de Newton-Raphson (NR), Newton-Raphson modificado (mNR) o un procedimiento de solución híbrido NR-mNR. Resulta claro que el ahorro en términos de esfuerzo computacional para la formación, ensamblaje y reducción de la matriz de rigidez durante el proceso iterativo puede resultar significativo al utilizar el método mNR en lugar del de NR. Sin embargo, el método mNR suele requerir un mayor número de iteraciones, lo cual puede resultar, en ocasiones, en una demanda computacional excesiva. Por esta razón, el enfoque híbrido, en el cual la matriz de rigidez es actualizada sólo durante las primeras iteraciones de un incremento de carga, suele resultar óptimo.

El procedimiento iterativo sigue los esquemas convencionales utilizados en análisis no lineales, en los cuales las fuerzas internas correspondientes a un incremento de desplazamiento son calculadas y la convergencia es verificada. Si ésta no es alcanzada, se aplican sobre la estructura las fuerzas residuales no equilibradas (resultantes de la diferencia entre el vector de carga aplicado y las fuerzas internas equilibradas) y se computa el nuevo incremento de desplazamiento. Este ciclo continúa hasta alcanzar la convergencia (mensaje del marcador del registro igual a Converg) o el número máximo de iteraciones definido por el usuario (mensaje del marcador del registro igual a Max_Ite).

Por mayores detalles y precisiones respecto de los algoritmos mencionados anteriormente, se recomienda a los usuarios referirse a la bibliografía disponible, como por ejemplo los trabajos de Cook

et al. [1988], Crisfield [1991], Zienkiewicz and Taylor [1991], Bathe [1996] and Felippa [2002], por citar sólo algunos.

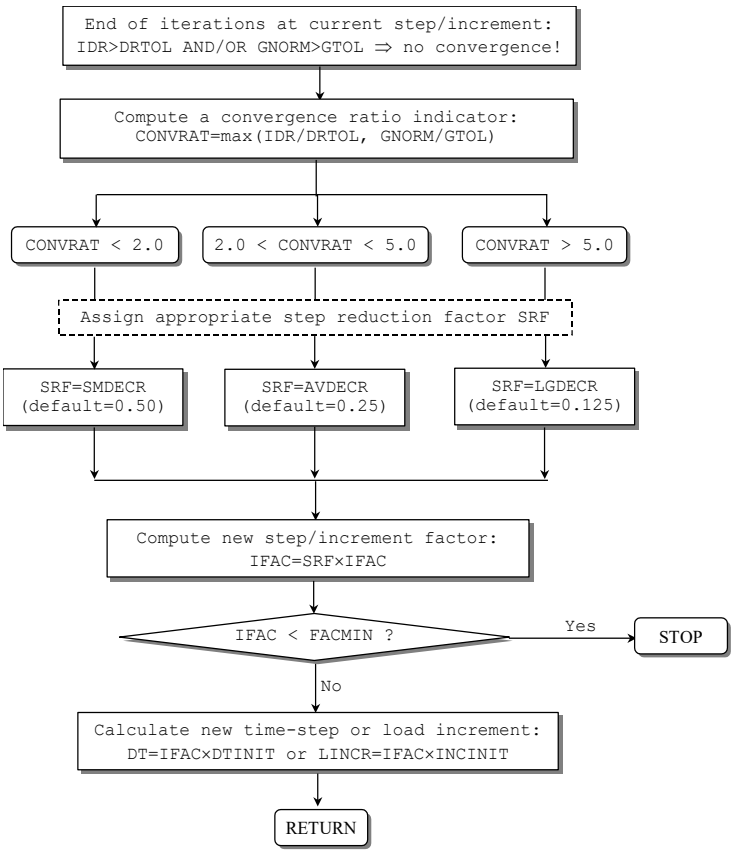
NOTA: Cada elemento con formulación basada en fuerzas requiere un cierto número de iteraciones para alcanzar el equilibrio interno. En algunos casos, el equilibrio interno no puede ser alcanzado, lo cual es señalado por los mensajes del marcador del registro fbd_inv y fbd_ite. Por mayor información sobre este tema, por favor dirigirse al menú *General>Ajustes de Proyecto> Elementos*.

Ajuste automático del incremento de carga o de tiempo

Como se explicó en la sección anterior, para cada incremento se llevan a cabo varias iteraciones hasta lograr la convergencia. Si ésta no es alcanzada en un máximo número de iteraciones especificado, el incremento de carga (o de tiempo) es reducido y el análisis recomenzado desde el último punto de equilibrio (es decir, desde el final del incremento anterior). Esta reducción del incremento, sin embargo, no es constante sino que se adapta al nivel de no convergencia verificado.

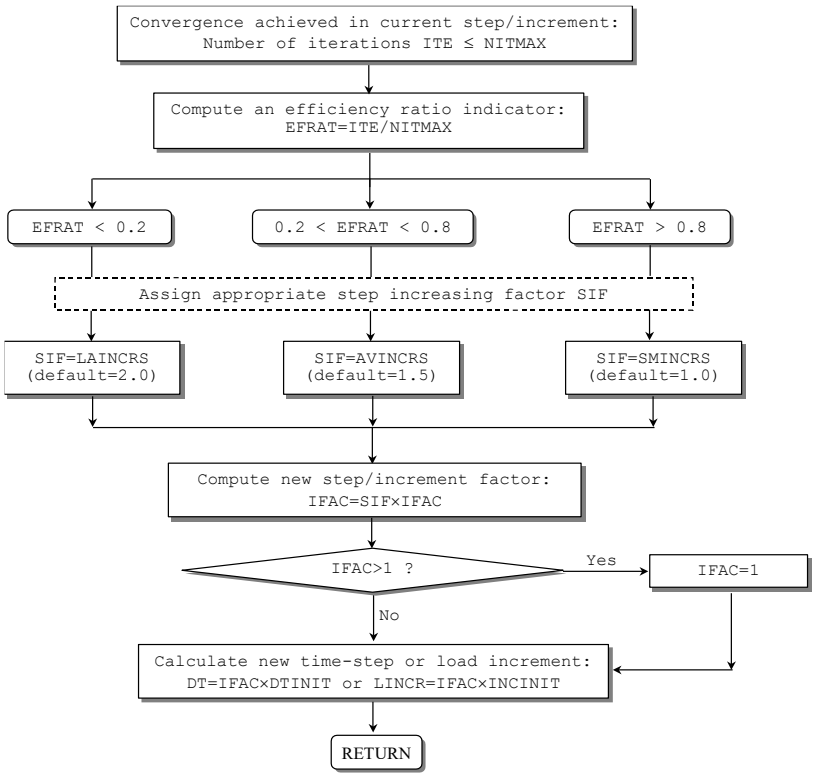
Como se ilustra a continuación, al final de la aplicación de cada incremento se calcula un indicador de convergencia (convrat), definido como la máxima de las razones entre factores de convergencia (basados en desplazamientos/fuerzas, ver la sección sobre Criterios de Convergencia) alcanzados y requeridos. Luego, dependiendo de cuán lejos estuvo el análisis de alcanzar la convergencia (convrat = 1.0), se adopta un factor de reducción del incremento (srf) pequeño, mediano o grande para el cálculo del nuevo factor de incremento (ifac). El producto entre éste y la magnitud del incremento de tiempo o carga inicial, definida por el usuario al comienzo del análisis, define el incremento reducido del análisis a utilizarse en el siguiente paso.

Es útil destacar que, con el fin de evitar ciclos de iteración infinitos en análisis mal definidos (que nunca alcanzan la convergencia), el usuario debe imponer un límite inferior para el factor de incremento (facmin). Si ifac resulta menor que facmin, el análisis es interrumpido.



Para minimizar la duración de los análisis es fundamental que, una vez alcanzada la convergencia, el incremento de carga o de tiempo pueda ser gradualmente aumentado. Por esta razón se calcula un indicador de eficiencia (efrat), definido como la razón entre el número de iteraciones llevadas a cabo (ite) para alcanzar la convergencia y el número máximo de iteraciones permitidas (nitmax). En función de cuán lejos estuvo el análisis de la "eficiencia" (efrat > 0.8), se adopta un factor de aumento del incremento (sif) pequeño, mediano o grande para el cálculo del nuevo factor de incremento (ifac). El producto entre éste y la magnitud del incremento de tiempo o carga inicial, definida por el usuario al comienzo del análisis, define el incremento aumentado del análisis a utilizarse en el siguiente paso.

Es importante destacar que el factor de incremento tiene un límite superior igual a 1, con el fin de evitar que el incremento de tiempo o de carga sea mayor que su valor inicial, definido por el usuario al comienzo del análisis. La única excepción a esta regla ocurre cuando se lleva a cabo un análisis de pushover utilizando el algoritmo de carga/solución con Control Automático de la Respuesta, utilizado cuando los usuarios están interesados principalmente en la solución final y no tanto en la trayectoria de carga/respuesta requerida hasta alcanzar dicho punto final de equilibrio.



Criterios de convergencia

Para verificar la convergencia de la solución al final de cada iteración, se disponen en SeismoStruct de cuatro esquemas diferentes, haciendo uso de dos tipos de criterios (basados en desplazamientos/rotaciones y fuerzas/momentos):

- Esquema basado en desplazamientos/rotaciones
- Esquema basado en fuerzas/momentos
- Esquema basado en desplazamientos/rotaciones Y fuerzas/momentos
- Esquema basado en desplazamientos/rotaciones O fuerzas/momentos

A continuación se presenta la formulación de los dos criterios empleados en los distintos esquemas, mientras que la aplicabilidad de éstos se encuentra descrita en las secciones correspondientes.

El criterio basado en **desplazamientos/rotaciones** consiste en verificar, para cada grado de libertad individual de la estructura, que el desplazamiento/rotación actual sea menor o igual a una tolerancia especificada por el usuario. En otras palabras, siempre y cuando todos los valores de desplazamiento o

rotación que resultan de la aplicación del vector de carga iterativo (cargas residuales no equilibradas) sean menores o iguales a los factores de tolerancia de desplazamiento/rotación predefinidos, se considera alcanzada la convergencia de la solución. Este concepto puede ser expresado en términos matemáticos de la siguiente forma:

$$\max\left[\left|\frac{\delta d_i}{d_{tol}}\right|_{i=1}^{n_d}, \left|\frac{\delta \theta_j}{\theta_{tol}}\right|_{j=1}^{n_\theta}\right] \leq 1 \Rightarrow \text{convergence}$$

donde,

- δd_i es el desplazamiento iterativo en el grado de libertad traslacional *i*
- $\delta \theta_j$ es la rotación iterativa en el grado de libertad rotacional *j*
- n_d es el número de grados de libertas traslacionales
- n_θ es el número de grados de libertas rotacionales
- d_{tol} es la tolerancia para el desplazamiento (por defecto = 10^{-2} mm)
- θ_{tol} es la tolerancia para la rotación (por defecto = 10^{-4} rad)

Por otra parte, el criterio basado en **fuerzas/momentos** implica el cálculo de la norma Euclidiana del vector de carga iterativo no equilibrado (normalizado respecto al incremento de carga), y su comparación con respecto a un factor de tolerancia definido por el usuario. Se trata, por lo tanto, de una verificación global de la convergencia (dado que la convergencia no es verificada para cada grado de libertad individual, como en el caso basado en desplazamientos/rotaciones) que brinda una imagen general del estado de convergencia de la solución, y que puede ser descrita en términos matemáticos de la siguiente forma:

$$G_{norm} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1..n}\left[\frac{G_i}{V_{REF}}\right]^2}}{n} \leq 1 \Rightarrow \text{convergence}$$

donde,

- G_{norm} es la norma Euclidiana del vector de carga iterativo no equilibrado
- G_i es la carga iterativa no equilibrada en el GDL *i*
- V_{REF} es el valor de "tolerancia" de referencia para fuerzas (i=0,1,2) y momentos (i=3,4,5)
- N es el número de GDLs

NOTA: El uso de un criterio global basado en fuerzas/desplazamientos (en contraposición a uno local) es justificado dado que, en SeismoStruct, es habitual que los vectores de carga presenten variaciones significativas respecto al orden de magnitud de las fuerzas/momentos aplicados en los diversos grados de libertad de la estructura, particularmente en los casos en los cuales se utilizan elementos link para modelar conexiones infinitamente rígidas. En estos casos, el uso de un criterio local (como el basado en desplazamientos/rotaciones) conllevaría a criterios de convergencia excesivamente conservadores y difíciles de satisfacer.

Inestabilidad numérica, divergencia y predicción de la iteración

Además de la verificación de la convergencia, es posible realizar otras tres verificaciones de la solución al final de cada incremento del proceso iterativo: inestabilidad numérica, divergencia de la solución y predicción de la iteración. Estos criterios (todos ellos basados en fuerzas/momentos) tienen como fin evitar el cálculo de iteraciones de equilibrio inútiles en los casos en los cuales resulta evidente que la convergencia no será alcanzada, minimizando así la duración del análisis.

Inestabilidad numérica

La posibilidad de que la solución devenga en numéricamente inestable es controlada en cada iteración mediante la comparación de la norma Euclidiana de las cargas no equilibradas, G_{norm}, con una tolerancia

máxima predefinida (por defecto=1.0E+20), varios órdenes de magnitud mayor que el vector de carga aplicado. Si *Gnorm* excede esta tolerancia, se asume que la solución es numéricamente inestable y las iteraciones del incremento actual son interrumpidas, con un mensaje del marcador del registro igual a Max_Tol.

En ocasiones, modelos muy inestables pueden conducir al desarrollo de fuerzas no equilibradas varios órdenes de magnitud mayores que el valor máximo de tolerancia. Esto genera, a su vez, un Problema de Solución (es decir, el análisis se detiene, aunque de forma "prolija"), y las iteraciones del incremento actual son interrumpidas, con un mensaje del marcador del registro igual a Sol_Prb.

Divergencia de la solución

La divergencia de la solución es controlada mediante la comparación entre el valor de *Gnorm* obtenido en la iteración actual y aquel obtenido en la iteración anterior. Si *Gnorm* ha aumentado, se asume que la solución está divergiendo, por lo que se interrumpen las iteraciones del incremento actual, con un mensaje del marcador del registro igual a **Diverge**.

Predicción de la iteración

Finalmente, se lleva a cabo también un control de la tasa logarítmica de convergencia, con el fin de predecir el número de iteraciones (itepred) requeridas para alcanzar la convergencia. Si itepred es mayor que el número máximo de iteraciones especificado por el usuario, se asume que la solución no convergerá y se interrumpen las iteraciones del incremento actual, con un mensaje del marcador del registro igual a Prd_Ite.

Para calcular el valor de *itepred* se utiliza la siguiente ecuación, en la cual *ite* representa el número actual de iteraciones y *Gtol* es la tolerancia de fuerzas/momentos:

$$\text{itepred} = \text{ite} + \frac{\log\left(\mathrm{G_{tol}}/\mathrm{G_{norm}^{ite}}\right)}{\log\left(\mathrm{G_{norm}^{ite}}/\mathrm{G_{norm}^{ite-1}}\right)}$$

Las tres verificaciones descritas anteriormente son habitualmente confiables y efectivas dentro del ámbito de aplicabilidad de SeismoStruct, siempre y cuando los controles de divergencia y de predicción de la iteración no sean llevados a cabo durante las primeras iteraciones de un incremento, durante las cuales la solución puede no ser suficientemente estable aún. Pueden encontrarse más detalles sobre este tema en la sección acerca de la estrategia iterativa, en la cual se describen todos los parámetros relacionados con estos criterios.

NOTA: Cada elemento con formulación basada en fuerzas requiere un cierto número de iteraciones para alcanzar el equilibrio interno. En algunos casos, el equilibrio interno no puede ser alcanzado, lo cual es señalado por los mensajes del marcador del registro fbd_inv y fbd_ite. Por mayor información sobre este tema, por favor dirigirse a *Ajustes de Proyecto > Elementos*.

Lista de Banderas de Convergencia y Divergencia de SeismoStruct

Esta es una lista completa de los mensajes de salida que produce el solucionador de SeismoStruct en caso de ocurrir divergencia, junto con las posibles medidas que el usuario puede tomar en cada caso para hacer que el análisis converja.

Converg: Este mensaje significa que el análisis ha convergido en el paso de carga actual, y que se procederá al siguiente paso.

Max_Ite: este mensaje se produce, si el máximo número de iteraciones ha sido alcanzado en el paso actual, y aún no se alcanza la convergencia. En estos casos, debe incrementarse el número máximo de iteraciones, (*Ajustes de Proyecto > Estrategia de Iteración*), incremente los valores en el criterio de convergencia (*Ajustes de Proyecto > Criterios de Convergencia*), utilice revisiones de convergencia menos rigurosas (p. ej. el esquema de *Basado en Desplazamientos y Rotaciones* en vez de *Basado en*

Desplazamientos y Rotaciones Y *Basado en Fuerzas y Momentos*) o disminuya el intervalo del paso de carga. Esto último puede hacerse en el análisis de pushover incrementando el número de pasos en el módulo de *Fases de Carga,* el cual lleva a una reducción del incremento del factor de carga. De forma similar, en el los análisis de Time History el intervalo de tiempo se reduce al incrementar el número de pasos en el tiempo (*Módulo de Cargar Curvas > Fases de Time History> Número de Pasos.*

NOTA: Cuando vínculos rígidos o diafragmas rígidos, han sido definidos en el modelo, se le aconseja a los usuarios no hacer uso del criterio de convergencia basado en Fuerza, especialmente cuando se utilizan métodos de penalidad para modelar las condiciones de apoyo. En vez de esto, un criterio de Desplazamiento/Rotación con restricciones más severas de desplazamiento y rotación.

Prd_Ite: Estemensaje es similar al mensaje de Max_Ite, con la diferencia de que el solucionador no espera hasta que el máximo número de iteraciones se alcance. En vez, hace una predicción sobre el número de iteraciones que se creen necesarias para la convergencia, basándose en cómo la solución iterativa está convergiendo (p. ej. Usando el tamaño de las fuerzas no balanceadas, y que tan rápido la tolerancia de convergencia está siendo alcanzada). Si el número de iteraciones predicho es mayor al número de iteraciones especificadas por el usuario, el mensaje de Prd_Ite se produce y el análisis diverge. En estos casos, incremente el número Máximo de iteraciones (*Ajustes de Proyecto > Estrategia de Iteración*), escoja un esquema de criterios de convergencia menos riguroso (*Ajustes de Proyecto > Criterios de Convergencia*), o disminuya los pasos de carga, al igual que con el mensaje de Max_Ite. Debe notarse que Prd_Ite es el mensaje de divergencia más común en los análisis.

Diverge: Estemensaje se produce cuando el proceso iterativo en el paso actual está divergiendo, en vez de estar convergiendo a la solución. Debe notarse que la revisión de soluciones divergentes siempre se lleva a cabo luego de la Iteración de Divergencia especificada por el usuario *Ajustes de Proyecto > Estrategia de Iteración.* Esto se lleva cabo porque en general los procesos de solución son inestables en los primeros 3-4 pasos, luego se vuelven estables y gradualmente convergen a la solución. Se le aconseja a los usuarios incrementar la Iteración de Divergencia y el número máximo desde la página de *Estrategia de Iteración,* escoja un criterio de convergencia menos rigurosos desde la página de *Criterio de Convergencia,* o disminuya el paso de carga.

elm_Ite: Este mensaje aparece cuando el número de iteraciones se alcanza en el loop de elemento interno en los elementos que requieren iteraciones en el nivel del elemento(infrmFB, infrmFBPH, infrmDBPH y elementos de mampostería), sin que el equilibrio interno se haya alcanzado. Se les aconseja a los usuarios incrementar el número de iteraciones o incrementar los criterios de convergencia desde la pestaña de *Elementos* en los *Ajustes de Proyecto.* De forma alternativa, la opción de "*No permitir fuerzas no balanceadas en el caso de elm_ite"* puede desmarcarse. Finalmente, pueden tomarse medidas a nivel global también, por ejemplo, puede disminuirse el paso de carga del análisis (incrementando los factores de carga o el número de intervalos de tiempo), y la convergencia global puede aumentarse. Se aconseja a los usuarios referirse a la documentación especifica [p. ej. Spacone et al. 1996; Neuenhofer and Filippou 1997] para un mejor entendimiento de los loops internos en los elementos con formulación basada en fuerza.

elm_Inv: Este mensaje aparece cuando la matriz de rigidez de un elemento que emplea iteraciones internasno puede invertirse durante los loops internos de los elementos. En estos casos, se les aconseja a los usuarios incrementar la tolerancia de la convergencia de los elementos desde la pestaña de *Estrategia Iterativa delElemento* en *Ajustes de Proyecto*, para disminuir el tamaño de los pasos de análisis de forma global o para incrementar los valores de convergencia globales.

elm_Tol: Este mensaje aparece cuando la máxima tolerancia, especificada en la página de *Estrategia de Iteración,* ha sido excedida durante los loops de elementos internos en los elementos con formulación basada en fuerza. Acciones similares con el mensaje de elm_Inv debe llevarse a cabo.

Max_Tol: Este mensaje indica que las soluciones se están volviendo numéricamente muy inestables, con las fuerzas fuera de balance mayores a lo permitido por la Tolerancia Máxima (predeterminado = 1.0E+20) especificadas en la página de *Estrategia de Iteración* en los *ajustes de Proyecto.* Se les recomienda a los usuarios disminuir el incremento de carga, o adoptar un criterio de convergencia

menos riguroso. De forma alternativa, la Tolerancia Máxima puede incrementarse, pero su valor nunca debe exceder 1.0E+35 o 1.0E+40, haciendo la salvedad que usando la última se llegará a soluciones estables. Si este mensaje aparece en los primeros 2-3 pasos del análisis, o cuando las cargas iniciales están siendo aplicadas, debe correrse un análisis de eigenvalores, para confirmar que todos los elementos del modelo están debidamente conectados entre sí.

Sol_Prb: Este mensaje indica que una solución a las ecuaciones en la iteración actual no pudo encontrarse. Hay varias razones para este comportamiento, tales como valores de fuerzas fuera de balance demasiado grandes o valores diagonales de rigidez iguales a cero. Medidas similares a las sugeridas para el caso de Max_tol debe llevarse a cabo.

Consejos para resolver problemas de convergencia

De este modo, se proponen varios pasos a seguir para resolver problemas de convergencia. Se aconseja a los usuarios:

- Aplicar la adaptación automática de las normas en la pestaña Criterios de Convergencia de la Configuración Avanzada del programa (Parámetros de Análisis> Configuración Avanzada).
- Seleccione mostrar los problemas de convergencia en el postprocesador a través de la pestaña Parámetros de Análisis> Configuración Avanzada> Criterios de Convergencia. La visualización de las ubicaciones de la estructura (elementos o nodos), donde surgen las dificultades de convergencia, proporciona retroalimentación significativa para la identificación de los motivos de la divergencia (p. Ej. Vigas poco reforzadas que no pueden soportar las cargas gravitatorias, elementos con muy alta demanda de deformaciones, como columnas cortas o vigas de acoplamiento, etc.).
- Desmarque la opción "No permitir fuerzas desequilibradas en el caso de elm_Ite" para los tipos de elementos con formulación basada en fuerzas (infrmFB ye infrmFBPH) y elementos de mampostería en la pestaña de Estrategia Iterativa del Elemento de la Configuración avanzada.
- Reduzca el valor máximo de Deriva Entre Pisos en la pestaña Análisis de los Requisitos del Código. Este valor no debe exceder 1.0% o 1.2% para edificios altos y para edificios rígidos con grandes muros de corte.
- Asigne 50 a 100 pasos de análisis pushover en el caso general. Este valor debe incrementarse en casos de carga exigente.
- Cambie la deformación de fractura/pandeo para los materiales de acero a un valor muy grande (por ejemplo, 1) en el módulo de Materiales. Cuando se alcanza la deformación de fractura/pandeo para los materiales de acero, la barra de refuerzo se desactiva y conduce a una repentina caída de la resistencia del edificio y las dificultades de convergencia. Hay casos, como las vigas de acoplamiento, donde las deformaciones son enormes. Es muy probable que, si se alcanza este nivel de deformación, las barras de refuerzo se desactivan (se supone que están fracturadas) y las vigas no pueden sostener ninguna carga de gravedad y no se puede alcanzar la convergencia.
- Vaya al módulo Clase de elemento para modificar la clase de elemento y cambie el tipo de elemento de todos los elementos cortos (por ejemplo, columnas cortas y vigas de acoplamiento) de infrmFBPH o infrmFB a infrmDB. Se observa que el tipo de elemento infrmDB generalmente proporciona una precisión aceptable solo para miembros cortos. Por lo tanto, si se aplica a miembros cortos (lo cual está bien en el caso de haces cortos) y esto no afecta los resultados analíticos, mientras que a nivel tuyo conduce a mejoras significativas en la convergencia y la estabilidad general del análisis.
- Aumentar el número máximo de iteraciones a 70, el número de actualizaciones de rigidez a 60 y las iteraciones de divergencia a 60 en la pestaña Estrategia iterativa de las Configuraciones Avanzadas; (Parámetros de análisis> Configuración Avanzada).
- Utilice el tipo de elemento de pórtico elástico para las vigas de acoplamiento que causan problemas de convergencia. En tales casos, las liberaciones de momento de los elementos deberían liberarse seleccionando las casillas de verificación correspondientes a los grados de libertad M2a, M3a, M2b y M3b, a través de los Parámetros de Modelaje de Miembros Avanzados del miembro en el Modelador de Edificios, para tomar en cuentala formación de rótulas plásticas en los extremos de las vigas de acoplamiento.

- Aumente los valores de las normas de convergencia desde la pestaña Criterios de convergencia de la Configuración avanzada del programa (Parámetros de análisis> Configuración avanzada).
- Aumente la rigidez de los diafragmas rígidos a 1.0E + 13 a través de la pestaña Restricciones de la configuración avanzada.
- Si los mensajes de divergencia del análisis son en su mayoría Max_Tol o elm_tol, aumente el valor de Tolerancia máxima a 1e40 en la pestaña Estrategia Iterativa de la Configuración Avanzada (Parámetros de Análisis> Configuración Avanzada).
- Aumente la cantidad de fibras para las paredes en los Parámetros Avanzados de modelado de miembros de los miembros dentro de Modelador de Edificios.
- Para edificios más altos, desmarque la casilla Incluir No LinealidadesGeométricas en la pestaña Análisis de Configuración Avanzada.

Además:

- Se recomienda a los usuarios que verifiquen los últimos o los 2-3 últimos pasos del análisis con problemas de convergencia para comprender y resolver las razones de la divergencia. En tales casos, se debe revisar la página Problemas de Convergencia del Postprocesador. Además, ejecutar un análisis de Eigenvalores con el mismo modelo podría ofrecer información valiosa sobre el problema (por ejemplo, identificar una viga que esté cerca pero no conectada a una columna adyacente, y se comporte como voladizo, sin poder soportar la carga de gravedad) ;
- se observa que los elementos que causan problemas de divergencia no son necesariamente los que soportan una carga significativa. Son los que en el paso actual enfrentan un aumento en el cambio tangencial del estado de deformación/redistribución de la fuerza interna. Por lo tanto, a veces los elementos fallidos pueden aumentar significativamente la carga soportada por elementos adyacentes, lo que los lleva a dificultades de convergencia, al contrario de los elementos fallidos, que convergen fácilmente;
- la eliminación del ancho efectivo de las vigas también debe considerarse desmarcando la casilla "Incluir ancho efectivo" en la pestaña ModelajeEstructural, en los Ajustes de Modelado dentro del Modelador de edificios. La introducción de vigas rectangulares, en lugar de en forma de T, a veces conduce a soluciones más estables, sin embargo, se debe tener en cuenta que eliminar el ancho efectivo de la losa debilita las vigas y podría hacer que las vigas ligeramente reforzadas no puedan sostener las cargas de gravedad, lo que conduce a nuevos problemas de convergencia.

Apéndice B –Tipos de Análisis

En este apéndice se describen en detalle los diversos tipos de análisis disponibles.

ANÁLISIS DE EIGENVALORES

El eficiente **algoritmo deLanczos** [Hughes, 1987] es utilizado por defecto por SeismoStruct para la evaluación de las frecuencias naturales y formas de los modos de vibrar. Sin embargo, el usuario puede especificar también el uso del **algoritmo de Jacobi con transformación de Ritz**, seleccionándolo en el menú *Ajustes de Proyecto*. Evidentemente, ninguna carga debe ser especificada.

El análisis de eigenvalores es un tipo de análisis estructural completamente elástico, dado que las propiedades de los materiales son consideradas constantes durante todo el proceso de cálculo, razón por la cual es natural emplear elementos elásticos de pórtico (elfrm) para la creación del modelo estructural. Tal como se describeen *Pre-Procesador*>*Clases de Elementos*> *elfrm*, este tipo de elementos no requiere la definición de tipos de materiales o secciones como lo hacen los elementos inelásticos, ya que es posible definirlos por completo a través de los valores de las siguientes propiedades mecánicas de la sección: área, momento de inercia, constante de torsión, módulo de elasticidad y módulo de rigidez[ej. Pilkey, 1994]. Por lo tanto, es posible obtener una estimación del período de vibración correspondiente a un estado fisurado de la estructura (en oposición al estado no fisurado) mediante la aplicación de factores de reducción al momento de inercia de las secciones de vigas y columnas, como es recomendado por Paulay and Priestley [1992], entre otros. Estos factores pueden variar entre 0.3 y 0.8, dependiendo del tipo de elemento en cuestión (viga o columna), las características de carga y la configuración estructural. Para un análisis minucioso del tema, se sugiere a los usuarios consultar el trabajo de Priestley [2003].

Si el usuario desea llevar a cabo también otros tipos de análisis (posiblemente dentro del rango de respuesta inelástica de los materiales) sobre el mismo modelo estructural, quizás sea preferible entonces construir un solo modelo utilizando elementos de pórtico inelásticos en lugar de elásticos, para ser empleado en todos los análisis, incluido el de eigenvalores. Por lo tanto, se emplean diferentes tipos de materiales y secciones en la caracterización de las propiedades mecánicas seccionales de los elementos, que no están definidas por el usuario, sino que las determina internamente el programa, utilizando fórmulas clásicas que se pueden encontrar en cualquier libro o publicación sobre conceptos básicos de mecánica estructural [p. ej. Gere y Timoshenko, 1997; Pilkey, 1994]. Como consecuencia de esto, los usuarios no pueden modificar directamente el momento de inercia de las secciones para tener en cuenta los efectos de la fisuración, por lo cual la reducción de rigidez de los miembros debe ser simulada modificando, en su lugar, el módulo de elasticidad del hormigón.

NOTA 1: El uso de elementos inelásticos para el análisis de eigenvalores ofrece además la ventaja de eximir al usuario de la tarea de calcular (manualmente) las propiedades mecánicas de las secciones de cada tipo de elemento, teniendo en cuenta plenamente la presencia de barras longitudinales de armadura en la sección.

NOTA 2: El confinamiento del hormigón aumenta la resistencia a compresión del material y, consecuentemente, la rigidez del miembro, lo cual conduce a períodos de vibración más breves.

NOTA 3: Al ejecutar un análisis de eigenvalores utilizando el algoritmo de Lanczos puede presentársele al usuario el mensaje "no se han podido re-ortogonalizar todos los vectores de Lanczos", lo cual significa que el algoritmo de Lanczos no ha podido calcular todos o alguno de los modos de vibración de la estructura. Este comportamiento puede ser observado en (i) modelos con errores de ensamble (ej. nodos/elementos desconectados) o (ii) modelos estructurales complejos que contengan links, rótulas, etc. Si el usuario ha chequeado el modelo cuidadosamente y no ha encontrado errores de modelado, quizás pueda entonces intentar "simplificarlo" (mediante la remoción de sus características más complejas) hasta que sea posible alcanzar las soluciones de los eigenvalores. Esto permitirá un mayor entendimiento acerca de la posible causa del problema y, por lo tanto, ayudar a los usuarios a decidir cómo proceder. Este mensaje aparece típicamente cuando se solicita la búsqueda de demasiados modos (ej. cuando se piden 30 modos en un modelo con 24 GDLs) o cuando, simplemente, el algoritmo de resolución eigen no puede encontrar tantos modos (incluso si el número de grados de libertad es mayor que el número de modos requeridos).

ANÁLISIS ESTÁTICO (CARGA NO VARIABLE)

Este tipo de análisis se utiliza habitualmente para modelar cargas estáticas que se encuentran aplicadas permanentemente sobre la estructura (por ejemplo, peso propio, asentamiento de fundaciones) y normalmente sólo generan respuesta elástica pre-fluencia. Si la carga aplicada es tal que la estructura incursiona ligeramente en el campo de respuesta inelástica, el programa lleva a cabo iteraciones de equilibrio hasta alcanzar la convergencia.

En los casos de no linealidad relativamente elevada (en los que la solución no puede ser encontrada en un solo paso), la carga es subdividida automáticamente en incrementos más pequeños y el programa utiliza una solución incremental iterativa sin necesidad de intervención por parte del usuario. Debe notarse, sin embargo, que para dichos casos es recomendable utilizar un análisis pushover estático, ya que ofrece al usuario una mayor flexibilidad tanto en la ejecución del análisis como en la interpretación de los resultados.

ANÁLISIS PUSHOVER ESTÁTICO CONVENCIONAL

El análisis de pushover convencional (no adaptativo) es utilizado para estimar la capacidad horizontal de estructuras implicando larespuesta dinámica de la estructura que no se ve afectada significativamente por los niveles de deformación experimentados (es decir, la distribución de fuerzas horizontales que simulan la respuesta dinámica puede asumirse constante).

La carga incremental aplicada *P* se mantiene proporcional al patrón de cargas nominales (P°) definido inicialmente por el usuario: $P = \lambda(P^{\circ})$. El factor de carga λ es incrementado automáticamente por el programa hasta alcanzar un límite definido por el usuario o una inestabilidad numérica. Para el incremento del factor de carga es posible emplear diversas estrategias, dado que se dispone actualmente de tres tipos de control: control de la carga, control de la respuesta y control automático de la respuesta.

Control de la Carga

Se refiere al caso en el que el factor de carga es incrementado directamente y los desplazamientos globales de la estructura son determinados para cada nivel del factor de carga.

Control de la Respuesta

Se refiere al incremento directo del desplazamiento global de un nodo y al cálculo del factor de carga que se corresponde con dicho desplazamiento.

Control Automático de la Respuesta

Se refiere al procedimiento mediante el cual el incremento de carga es ajustado automáticamente por SeismoStruct, dependiendo de las condiciones de convergencia del incremento anterior.

Es posible encontrar una descripción más detallada sobre los tres tipos de control en el análisis pushover en el apartadoFases de Carga.

NOTA: El análisis de pushover convencional (no adaptativo) se caracteriza por su incapacidad intrínseca para tener en cuenta los efectos que la degradación progresiva de la rigidez (típica de las estructuras sometidas a cargas sísmicas elevadas) ejerce sobre las características de respuesta dinámica de las estructuras y, por ende, sobre la distribución de las cargas estáticas equivalentes aplicadas durante el análisis de pushover. De hecho, la naturaleza fija de la distribución de cargas aplicadas sobre la estructura ignora la potencial redistribución de fuerzas durante una respuesta dinámica real, la cual el análisis de pushover intenta reproducir de algún modo. Consecuentemente, los cambios resultantes sobre las características modales de la estructura (típicamente, alargamiento del período) y la resultante variación de la amplificación de la respuesta dinámica no son tenidos en cuenta, lo cual puede introducir imprecisiones poco despreciables, especialmente en aquellos casos en los que la influencia de los modos altos de vibración es, o se convierte en, significativa. Estos efectos sólo pueden ser tenidos en cuenta mediante un Análisis de Pushover Adaptativo.

Análisis Pushover Estático Adaptativo

El análisis de pushover adaptativo es empleado para estimar la capacidad horizontal de una estructura, teniendo en cuenta el efecto que su propia deformación y el contenido de frecuencias de la excitación sísmica tienen sobre sus características de respuesta dinámica. Este tipo de análisis puede ser aplicado en la evaluación de estructuras existentes, ya sean edificios [ej. Antoniou *et al.* 2002; Antoniou and Pinho 2004a; Ferracuti *et al.* 2009] o puentes [ej. Pinho *et al.* 2007; Casarotti and Pinho 2007; Pinho *et al.* 2009].

En un pushover adaptativo, la distribución de carga lateral no se mantiene constante sino que es actualizada constantemente durante el análisis, de acuerdo con las formas de los modos de vibrar y factores de participación modal derivados mediante un análisis de eigenvalores llevado a cabo para cada incremento. Este método es completamente multi-modal y tiene en cuenta la disminución de la rigidez de la estructura, la elongación de su período y la modificación de las fuerzas de inercia debido a la amplificación espectral (mediante la introducción de un espectro específico para ese sitio).

Además de distribuciones de fuerza, el pushover adaptativo puede emplear eficientemente también perfiles de deformación [Antoniou and Pinho 2004b; Pinho and Antoniou 2005]. Gracias a su capacidad para actualizar los patrones de carga lateral de acuerdo con las constantemente cambiantes propiedades modales del sistema, este método supera la debilidad intrínseca del pushover basado en un patrón fijo de desplazamientos y provee una herramienta orientada a criterios de performance más precisa para la evaluación de estructuras. El pushover adaptativo provee mejores estimaciones de la respuesta que los métodos convencionales existentes, especialmente para estructuras que poseen irregularidades de resistencia o rigidez, y/o cuando los efectos de los modos más altos pueden jugar un rol importante en la respuesta dinámica [ej. Pietra *et al.* 2006; Bento *et al.* 2008; Pinho *et al.* 2008b].

El algoritmo adaptativo, como está implementado en SeismoStruct, es muy flexible y puede aceptar un cierto número de parámetros diferentes que lo adecúan a los requerimientos específicos de cada proyecto particular. Por ejemplo, para la combinación modal es posible utilizar tanto el método SRSS como el CQC [ej. Clough and Penzien, 1993; Chopra, 1995] y el número de modos considerados es definido explícitamente, a la vez que los usuarios pueden también optar por actualizar sólo los incrementos de las cargas aplicadas en cada incremento o el total de las cargas ya aplicadas durante el proceso hasta el instante actual (ver Parámetros Adaptativos).

Los tipos de control de carga disponibles para el caso del pushover adaptativo son similares, en input y funcionalidad, a aquellos disponibles para el pushover convencional, y son: control adaptativo de la carga, control adaptativo de la respuesta y control automático de la respuesta. Para mayor información, por favor consultar la página Parámetros Adaptativos y/o alguna de las numerosas publicaciones existentes sobre el tema, ya mencionadas anteriormente.

Análisis Estático Time-History

En un análisis estático time-history, las cargas aplicadas (desplazamientos, fuerzas o una combinación de ambos) pueden variar independientemente en el dominio de pseudo-tiempo, de acuerdo con una distribución de carga preestablecida. La carga *Pi* aplicada en el nodo *i* está dada por $P_i = \lambda_i(t)P_i°$, es decir, una función del factor de carga dependiente del tiempo $\lambda_i(t)$ y de la carga nominal $P_i°$. Este tipo de análisis se utiliza habitualmente para modelar pruebas estáticas sobre estructuras sometidas a varias distribuciones de carga o desplazamiento (por ejemplo, cargas cíclicas).

Análisis Dinámico Time-History

El análisis dinámico es utilizado comúnmente para predecir la respuesta inelástica no lineal de una estructura sometida a una excitación sísmica (evidentemente, la respuesta elástica lineal también puede ser modelada al considerar elementos elásticos y/o niveles bajos de excitación). La integración directa de las ecuaciones del movimiento es llevada a cabo utilizando el algoritmo numéricamente disipativo de integración α [Hilber et al., 1977] o, como caso especial del mismo, el ampliamente conocido esquema de Newmark [Newmark, 1959], con ajuste automático del incremento de tiempo para la obtención de la precisión y eficiencia óptimas (ver Ajuste automático del incremento de carga o de tiempo).

El modelado de la acción sísmica es realizado mediante la introducción de curvas de carga de aceleración (acelerogramas) en los apoyos. Note que es posible introducir curvas diferentes en cada apoyo, lo cual permite la representación de una excitación asincrónica del suelo.

Por otra parte, el análisis dinámico puede también ser empleado para modelar cargas impulsivas (ej. explosiones, impactos, etc.), en cuyo caso, en lugar de historiales de aceleración en los apoyos, es posible utilizar funciones impulsivas de cualquier forma (rectangular, triangular, parabólica, etc.) para describir la carga transitoria aplicada a los nodos apropiados.

Análisis Dinámico Incremental – IDA

En un Análisis Dinámico Incremental [Hamburger et al., 2000; Vamvatsikos and Cornell, 2002], la estructura es sometida a una serie de análisis time-history no lineales de intensidad creciente (por ejemplo, se amplifica progresivamente la aceleración pico del suelo desde un valor bajo de respuesta elástica hasta alcanzar algún estado límite post-fluencia predefinido). Los valores picos de corte basal son luego graficados con respecto a sus respectivos desplazamientos de la cima de la estructura para cada uno de los análisis dinámicos, dando origen a la llamada curva de pushover dinámico o curva envolvente de IDA.

Análisis de Espectro de Respuesta – RSA

El análisis de espectro de respuesta (RSA por sus siglas en inglés) [Rosenblueth, 1951; Chopra, 2001; EN 1998-1, 2004] en un método de análisis estadístico (pseudo) dinámico estático elástico lineal que provee los valores máximos de las cantidades de respuesta tales como fuerza y deformaciones de la estructura bajo acciones sísmicas. Se llama (pseudo) dinámico porque los valores de respuesta pueden estimarse directamente del espectro de respuesta de la excitación del terreno llevando a cabo análisis estáticos en vez de análisis dinámicos tipo Time History. En este contexto, la historia de tiempo-aceleración impuesta en los apoyos es reemplazada por fuerzas estáticas equivalente que se distribuyen las cuales se distribuyen a todos los grados de libertad de la estructura y representan la contribución de cada modo de vibración. Estas fuerzas equivalentes se derivan por modo como el producto de dos cantidades: (1) la distribución de la fuerza de inercia modal (por tanto, se requiere de un análisis de Eigenvalores) y (2) la respuesta de pseudo aceleración por modo estructural (obtenida del espectro de respuesta). Para cada modo relevante un análisis estático se lleva a cabo y cada respuesta máxima final se deriva por la superposición del resultado de cada análisis.

Debe notarse que no es posible determinar el valor exacto, porque en general las cantidades modales de la respuesta alcanzan sus valores máximos en diferentes momentos en el tiempo. Se introducen por tanto aproximaciones mediante una regla de combinación modal (estadística), tal como la suma absoluta

(ABSSUM), la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS) y la combinación cuadrática (CQC). La CQC es recomendable cuando los periodos de la estructura están espaciados de forma cercana, existiendo una relación entre las formas modales. SRSS puede usarse cuando los periodos difieren entre sí en más de 10%, mientras que ABSSUM ofrece un límite superior de la respuesta. Este proceso se repite por cada dirección sísmica deseada, usando espectros de respuesta iguales o diferentes. RSA típicamente se considera como útil para tomar decisiones en cuanto a diseño estructural porque relaciona la selección del tipo estructural con el desempeño dinámico. Las estructuras con periodos pequeños experimentan aceleraciones mayores, mientras que las de periodos largos experimentan desplazamientos grandes. Para propósitos de diseño usualmente se solicita análisis de tres direcciones de carga simultáneamente (EX, EY, EZ), junto con cargas gravitacionales estáticas de la estructura (G+Q).

Se les solicita a los usuarios proveer como entrada el espectro de respuesta y las combinaciones de carga para las cuales el RSA producirá los resultados. El espectro de respuesta puede ser definido directamente o calculado a partir de un acelerograma. Este espectro se utiliza para ambas direcciones sísmicas (EX, EY), así como la vertical (EZ). De forma alternativa diferentes factores de respuesta espectral entre las reglas de combinaciones modales (ABSSUM, SRSS, CQC) deben ser determinados, así como cuales modos deben ser combinados, como una función de la masa modal efectiva acumulada deseada.

Para cada caso de carga (G, Q, and ±E), se solicita a los usuarios definir los factores de gravedad estática o carga viva (f_{G+Q}) y los factores de carga sísmica (f_E). Las direcciones de carga sísmica pueden combinarse linealmente (E = ±EX±EY±EZ) con los diferentes factores por dirección (f_{EX}, f_{EY}, f_{EZ}) o por la regla SRSS ($E = \pm\sqrt{EX^2+EY^2+EZ^2}$). Debe notarse que las cargas de gravedad tienen un signo algebraico explícitamente definido, mientras que para las cargas sísmicas los signos en ambas direcciones se toman en cuenta. Consecuentemente, los resultados de las combinaciones de carga en un RSA en términos de cualquier cantidad de respuesta son representadas por evolventes.

Análisis de Pandeo

En general, para identificar el punto límite que reconoce la transición de una estructura estable a una inestable, se debe realizar un análisis incremental. El análisis incremental considera las no linealidades geométricas y las no linealidades de materiales. En algunos casos, es decir, estructuras de acero delgadas, la estabilidad se rige por las no linealidades geométricas. Por lo tanto, descuidando el comportamiento del material no lineal y suponiendo que la distribución relativa de la fuerza interna sea igual en todas las proporciones de la carga aplicada, se puede realizar un análisis de pandeo en lugar del incremental. Además de estos dos supuestos, las matrices de rigidez geométrica del elemento son funciones lineales de las fuerzas a su extremos. Por lo tanto, estas hipótesis permiten escribir la ecuación de rigidez global en forma de un problema de Eigenvalores generalizado en que la ecuación de equilibrio en el estado crítico es:

$$[K_E + \lambda_i K_G]d_i = 0$$

K_E es la matriz de rigidez lineal elastica. K_G es la matriz de rigidez geométrica que representa el cambio en la rigidez que resulta de los cambios en la geometría a medida que aumenta la carga aplicada. Se calcula para un patrón de carga de referencia P_{ref} que corresponde al estado básico de la estructura con precargas. λ_i es un vector de factores de carga (eigenvalores) con respecto a P_{ref} y di es la forma del modo de pandeo (eigenvectores), donde i se refiere al el i modo de pandeo. El valor más bajo de λ_i produce el vector de carga crítica elástica λ_{min} P_{ref}. Comúnmente, es más fácil resolver este tipo de problema que resolver un análisis incremental.

Análisis No Lineal de Tsunami

ASCE 7-16 ha establecido un marco para evaluar la capacidad de las estructuras contra Tsunami Loading que permite el uso de criterios basados en el desempeño y métodos no lineales. Una serie de documentos que incluyen el trabajo de Petrone et al. [2017] y Baiguera et al. [2019] han presentado una metodología que incluye análisis no lineal para la evaluaciónde edificios contra tsunamis siguiendo las disposiciones de ASCE 7-16 que se implementa en Seismostruct.

Para realizar el análisis, se utilizan historias de tiempo de la profundidad y la velocidad de la inundación predefinidas para calcular la fuerza total del tsunami aplicada en el edificio en cada paso de la historia de tiempo. Las historias de tiempo pueden ser los proporcionados por ASCE 7-16 o diferentes disponibles dentro de Seismostruct. La fuerza total del tsunami en cada paso se puede calcular utilizando las relaciones proporcionadas en ASCE 7-16 o en el trabajo de Petrone et al. [2017] y Foster et al. [2017]. El Análisis No Lineal de Tsunami se puede realizar en dos fases:

La primera fase incluye el Análisis Pushover de Profundidad Variable (VDPO), durante el cual la fuerza total del tsunami en cada paso se distribuye a lo largo de la altura y el ancho del área del edificio afectado por el tsunami. La respuesta del edificio se calcula en cada paso de manera similar a un análisis de series de tiempo no lineal. Cuando finaliza la fase VDPO (ya sea al final de los pasos del análisis o debido a la divergencia), el análisis puede pasar opcionalmente a la segunda fase, el análisis Pushover de Profundidad Constante (CDPO). Durante la fase CDPO, la profundidad del Tsunami se mantiene constante y las cargas laterales aumentan monótonamente hasta que el edificio alcanza un cierto desplazamiento definido como un porcentaje del desplazamiento al final del análisis VDPO. El análisis CDPO es similar a un análisis pushover estático controlado por respuesta. Para obtener una presentación detallada de los procedimientos durante el análisis no lineal de tsunamis, los usuarios pueden consultar el trabajo de Petrone et al [2017] y Baiguera et al. [2019].

Apéndice C - Materiales

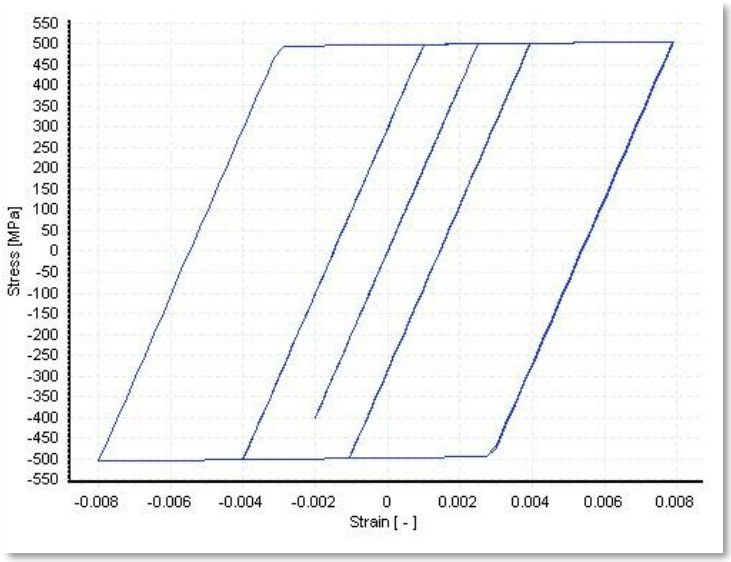
En este apéndice se describen en detalle todos los tipos de materiales disponibles.

ACERO

Modelo bi-lineal para acero - stl_bl

NOTA: Debido a su formulación tan sencilla y básica, no es aconsejable utilizar este modelo para el modelado de miembros de hormigón armado sometidos a historiales de carga complejos, en los cuales puedan ocurrir inversiones de carga significativas. Para estos casos, se recomienda utilizar en su lugar los modelos stl_mp y stl_mn.

Se trata de un modelo uniaxial de esfuerzo-deformación bi-lineal con endurecimiento cinemático, en el cual el rango elástico permanece constante a lo largo de las fases de carga, y la regla de endurecimiento cinemático para la superficie de fluencia se asume función lineal del incremento de deformación plástica. Este modelo simplese caracteriza por tener parámetros de calibración fácilmente identificables y por su eficiencia computacional. Puede ser utilizado para el modelado tanto de estructuras de acero como de hormigón armado, en las cuales se utiliza habitualmente acero dulce y acero torsionado, respectivamente.



Modelo bilineal de acero

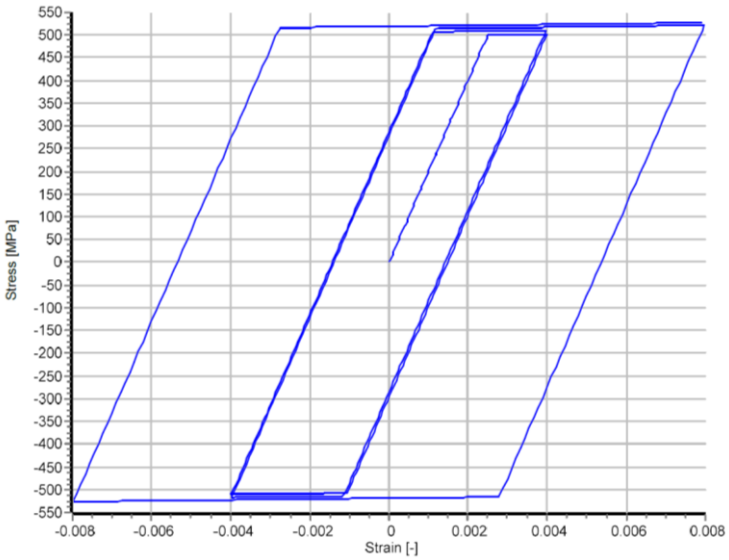
Para describir por completo las características mecánicas del material es necesario definir cinco parámetros:

Propiedades del Material	Valores típicos	Valores por defecto
Módulo de elasticidad – $\mathbf{E_s}$	2.00E+08 - 2.10E+08 (kPa)	2.00E+08 (kPa)
Límite de fluencia – $\mathbf{f_y}$	230000 - 650000 (kPa)	500000 (kPa)
Parámetro de endurecimiento por deformación – $\boldsymbol{\mu}$	0.005 - 0.015 (-)	0.005 (-)
Deformación de rotura/pandeo - e_{ult}		0.2(-)

Propiedades del Material	Valores típicos	Valores por defecto
Peso específico – **γ**	78 (kN/m³)	78 (kN/m³)

Modelo bi-lineal para acero con edurecimiento isotrópico - stl_bl2

Este es un modelo uniaxial de esfuerzo-deformación bilineal caracterizado por una regla de endurecimiento cinemático lineal y una característica opcional del endurecimiento isotrópico que se describe por una regla no lineal.



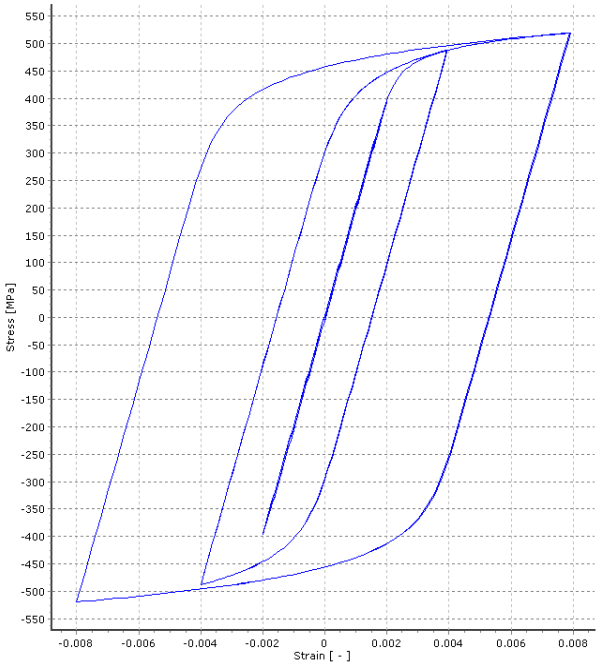
Modelo bilineal de acero con endurecimiento isotrópico.

Se deben definir nueve parámetros de calibración del modelo para describir completamente las características mecánicas del material:

Propiedades del Material	Valores típicos	Valores por defecto
Módulo de Elasticidad – E_s	2.00E+08 - 2.10E+08 (kPa)	2.00E+08 (kPa)
Esfuerzo de Fluencia – f_y	230000 - 650000 (kPa)	500000 (kPa)
Parámetro de endurecimiento por deformación – **μ**	0- 0.03 (-)	0.005 (-)
Parámetro de endurecimiento isotrópico por deformación en la compresión– **A1**	-0.5 - 0.5 (-) (poner en 0 para despreciar el endurecimiento)	0.1 (-)
Parámetro de endurecimiento isotrópico en compresión – **A2**	1 - 7(-)	7 (-)
Parámetro de endurecimiento isotrópico en la tensión– **A3**	-0.5 - 0.5 (-) (pone ren 0 para despreciar el endurecimiento)	0.1 (-)
Parámetro de endurecimiento isotrópico en la tensión – **A4**	1 - 7(-)	7 (-)
Deformación de Fractura o Pandeo		0.1 (-)
Peso específico	78.00 (KN/m³)	78.00 (KN/m³)

Modelo de Acero de Ramberg-Osgood – stl_ro

Este es el modelo de esfuerzo-deformación de Ramberg-Osgood [Ramberg y Osgood, 1943], como se describe en los trabajos de Kaldjian [1967] y Otani [1981].



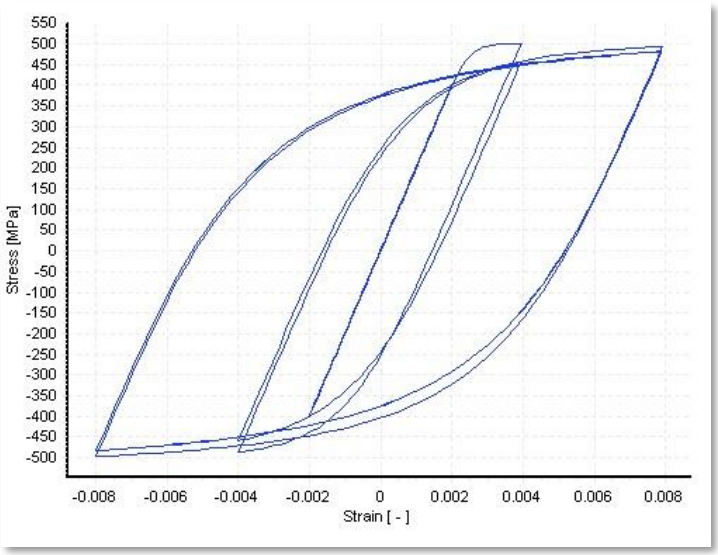
Modelo de acero Ramberg-Osgood.

Se deben definir seis parámetros de calibración del modelo para describir completamente las características mecánicas del mate

Propiedades del Material	Valores típicos	Valores por defecto
Esfuerzo de fluencia – f_y	230000 - 650000 (kPa)	500000.00 (kPa)
Deformación de fluencia		0.0025
Parámetro Ramberg Osgood - γ	10.00- 30.00 (-)	20.00 (-)
Límite de convergencia para el procedimiento de Newton-Raphson –β_1	1.00E-02- 1.00E-04 (-)	0.001 (-)
Deformación de fractura/pandeo		0.10 (-)
Peso específico	78.00 (KN/m^3)	78.00 (KN/m^3)

Modelo de Menegotto-Pinto para acero - stl_mp

Se trata de un modelo uniaxial para acero, programado inicialmente por Yassin [1994] sobre la base de una relación esfuerzo-deformación simple pero eficiente propuesta por Menegotto and Pinto [1973], enriquecida con las leyes de endurecimiento isotrópico propuestas por Filippou et al. [1983]. La actual implementación sigue aquella realizada por Monti et al. [1996]. Se ha introducido, además, una regla "de memoria" adicional propuesta por Fragiadakis et al. [2008], para una mayor estabilidad y precisión numérica bajo cargas sísmicas transitorias. Su utilización debe ser limitada al modelado de estructuras de hormigón armado, en particular de aquellas sometidas a historiales de carga complejos, en los cuales pueden ocurrir inversiones de carga significativas. Como se explica en Prota et al. [2009], este modelo, desarrollado inicialmente pensando en barras corrugadas, puede ser utilizado también, con la calibración correcta, para el modelado de barras lisas, encontradas con frecuencia en estructuras existentes.



Modelo de Menegotto-Pinto para acero

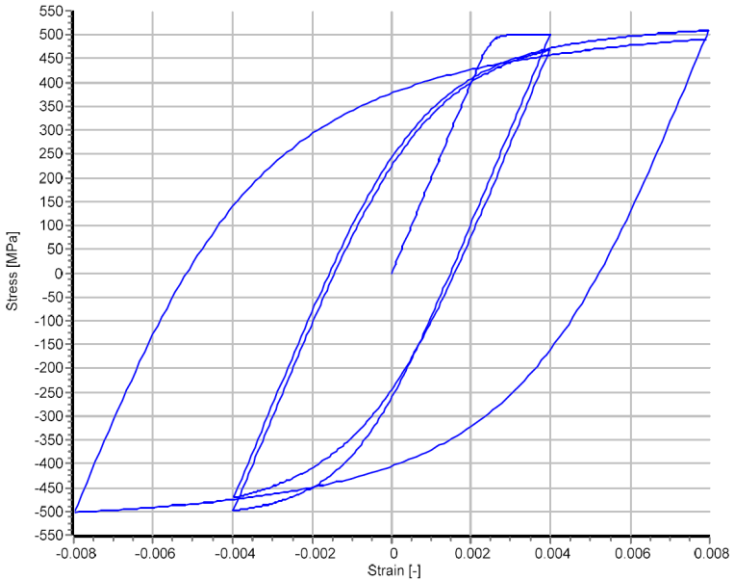
Para describir por completo las características mecánicas del material es necesario definir diez parámetros:

Propiedades del Material	Valores típicos	Valores por defecto
Módulo de elasticidad – E_s	2.00E+08 - 2.10E+08 (kPa)	2.00E+08 (kPa)
Límite de fluencia – f_y	230000 - 650000 (kPa)	500000 (kPa)
Parámetro de endurecimiento por deformación – μ	0.005 - 0.015 (-)	0.005 (-)
Parámetro de forma inicial de la curva de transición – R_0	20 (-)	20 (-)
Coeficiente de calibración de la forma de la curva de transición – **A1**	18.5 (-)	18.5 (-)
Coeficiente de calibración de la forma de la curva de transición – **A2**	0.05 - 0.15 (-)	0.15 (-)
Coeficiente de calibración de endurecimiento isotrópico – **A3**	0.01 – 0.025 (-)	0 (-)
Coeficiente de calibración de endurecimiento isotrópico – **A4**	2 - 7 (-)	1 (-)
Deformación de rotura/pandeo - e_{ult}		0.1 (-)
Peso específico – γ	78 (kN/m^3)	78 (kN/m^3)

NOTA: Es posible asignarle un valor negativo al parámetro A3 con el fin de introducir artificialmente "softening" en la respuesta de un elemento estructural que utilice este modelo de material. En estos casos, sin embargo, los usuarios deberán controlar los resultados cuidadosamente, dado que el presente modelo no fue concebido inicialmente para reflejar esta característica.

Modelo de Giuffre-Menegoto-Pinto con endurecimiento isotrópico- stl_gmp

Este es un material uniaxial de Giuffre-Menegoto-Pinto con endurecimiento isotrópico opcional descrito por una regla no lineal. La transición del comportamiento elástico al plástico se describe en el modelo Giuffre-Menegoto-Pinto. El modelo de material fue descrito en detalle por Filippou et al. [1983]. El material debe utilizarse principalmente para modelar el comportamiento del acero de refuerzo en estructuras de concreto armado, especialmente en el caso de que se produzcan inversiones de carga.



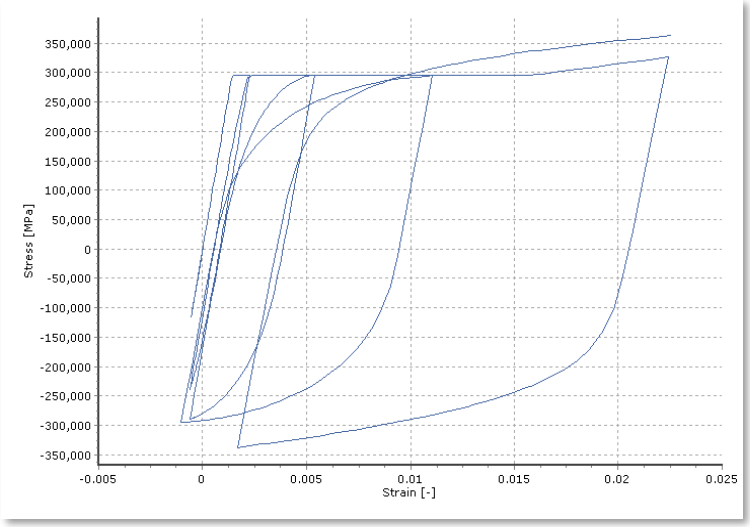
Modelo Giuffre-Menegoto-Pinto con endurecimiento isotrópico

Se deben definir trece parámetros de calibración del modelo para describir completamente las características mecánicas del material:

Propiedades del Material	Valores típicos	Valores por defecto
Módulo de Elasticidad – E_s	2.00E+08 - 2.10E+08 (kPa)	2.00E+08 (kPa)
Esfuerzo de fluencia – f_y	230000 - 650000 (kPa)	500000 (kPa)
Parámetro de endurecimiento por deformación – μ	0- 0.03 (-)	0.005 (-)
Valor inicial de la curvatura– R_0	10 - 20(-)	20(-)
Parámetro de degradación de la curvatura– R_1	0 - 0.98(-)(Valor recomendado 0.925)	0.925(-)
Parámetro de degradación de la curvatura– R_2	Valor recomendado es 0.15(-)	0.15(-)
Parámetro de endurecimiento isotrópico en la compresión– **A1**	-0.5 - 0.5 (-) (pone ren 0 para despreciar endurecimiento)	0.1 (-)
Parámetro de endurecimiento isotrópico en la compresión – **A2**	1 - 7(-)	7 (-)
Endurecimiento isotrópico en la tensión – **A3**	-0.5 - 0.5 (-) (pone ren 0 para despreciar endurecimiento)	0.1 (-)
Endurecimiento isotrópico en la tensión – **A4**	1 - 7(-)	7 (-)
Esfuerzo Inicial –σ_0		0 (kPa)
Deformación de fractura/pandeo		0.1 (-)
Peso específico	78.00 (KN/m^3)	78.00 (KN/m^3)

Modelo de Acero Dodd-Restrepo - stl_dr

Este modelo uniaxial de acero fue programado inicialmente por Dodd y Restrepo [1995]. Considera la reducción del módulo de descarga con la deformación plástica, mientras que la reducción de la deformación a tensión última se toma únicamente como una función de la deformación compresiva máxima, cuando el número de ciclos es los suficientemente pequeño para ignorar efectos de fatiga.

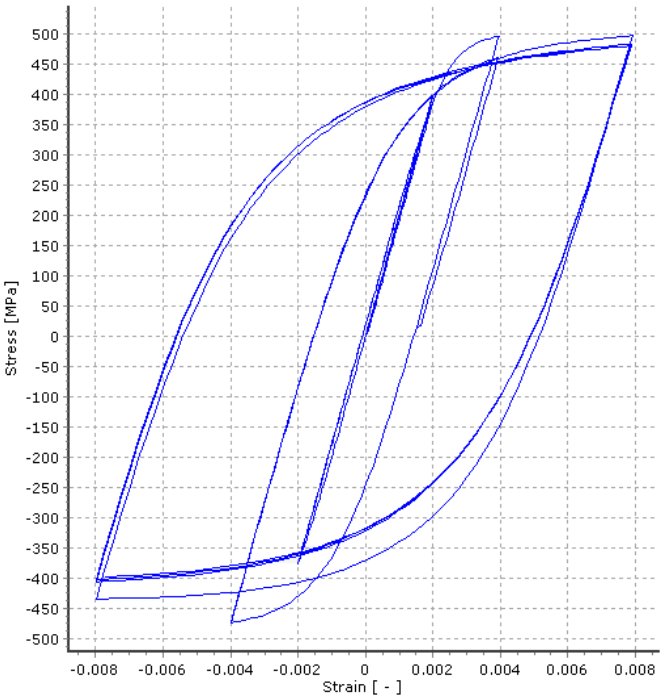


Modelo de Acero Dodd-Restrepo

Propiedades del Material	Valores típicos	Valores por defecto
Módulo de Elasticidad – $\mathbf{E_s}$	2.00E+08 - 2.10E+08 (kPa)	2.10E+08 (kPa)
Esfuerzo de cedencia – $\mathbf{f_y}$	230000 - 650000 (kPa)	295400 (kPa)
Esfuerzo en carga máxima		479500 (kPa)
Deformación al iniciar la curva de endurecimiento	(-)	0.016 (-)
Deformación en carga máxima	(-)	0.207 (-)
Deformación del punto medio de la curva de endurecimiento por deformación	(-)	0.053 (-)
Esfuerzo de punto del punto medio de la curva de endurecimiento por deformación	(-)	420000 (kPa)
Peso específico	78 (kN/m³)	78 (kN/m³)

Modelo de acero Monti-Nuti - stl_mn

Este en un modelo uniaxial inicialmente programado por Monti et al. [1996], el cual es capaz de describir el pandeo post-elástico de las varillas de refuerzo sujetas a compresión. Usa la relación Menegotto and Pinto [1973] junto con reglas de endurecimiento isotrópico propuestas por Filippou et al. [1983] y las reglas de pandeo propuestas por Monti and Nuti [1992]. También se introduce una regla adicional propuesta por Fragiadakis et al. [2008] para obtener una estabilidad y precisión numéricas bajo cargas sísmicas transientes. Debe utilizarse cuando se modelen elementos de concreto en los cuales puede darse el pandeo de las varillas de refuerzo (p. ej. columnas bajo cargas cíclicas severas). Como lo discute Prota et al. [2009], con la calibración correcta, este modelo desarrollado para varillas de refuerzo corrugadas, también puede utilizarse para modelar varillas lisas, a veces encontradas en estructuras existentes.



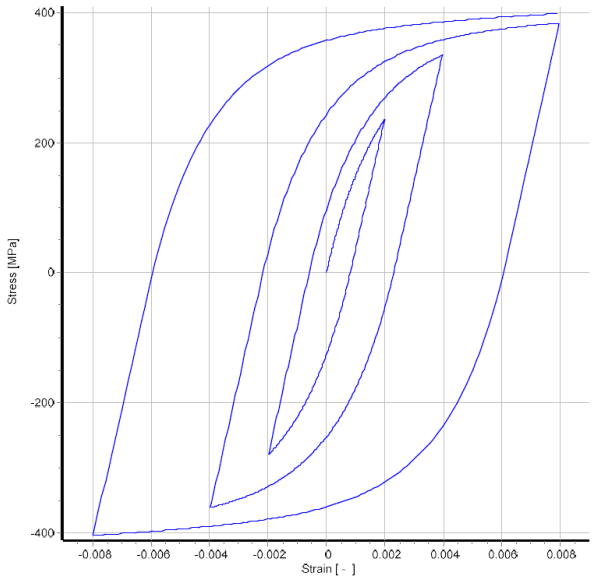
Modelo de acero Monti-Nuti

Doce parámetros de calibración para el modelo deben definirse para poder describir todas las características mecánicas del material:

Propiedades del Material	Valores típicos	Valores por defecto
Módulo de elasticidad – E_s	2.00E+08 - 2.10E+08 (kPa)	2.00E+08 (kPa)
Límite de fluencia – f_y	230000 - 650000 (kPa)	500000 (kPa)
Parámetro de endurecimiento por deformación – μ	0.005 - 0.015 (-)	0.005 (-)
Parámetro de forma inicial de la curva de transición – R_0	20 (-)	20 (-)
Coeficiente de calibración de la forma de la curva de transición – **A1**	18.5 (-)	18.5 (-)
Coeficiente de calibración de la forma de la curva de transición – **A2**	0.05 - 0.15 (-)	0.15 (-)
Coeficiente de ponderación cinemático/isotrópico – **P**	Alrededor de 0.9 (-)	0.9 (-)
Parámetro correctivo de carga espuria – **r**	2.5 - 5 (%)	2.5 (%)
Espaciamiento de la armadura transversal – **L**	-	0.1 (m)
Diámetro de la armadura longitudinal – **D**	2 - 7 (-)	0.02 (m)
Deformación de rotura - e_{ult}		0.1(-)
Peso específico – γ	78 (kN/m^3)	78 (kN/m^3)

Modelo por Riostras de Acero Restringidas al Pandeo - stl_brb

Stl_BRB es un modelo de material de acero uniaxial que describe el comportamiento del acero en las Riostras Restringidas al Pandeo. El modelo ha sido presentado por Zona et al. [2012]



Material para riostras de acero restringidas al pandeo

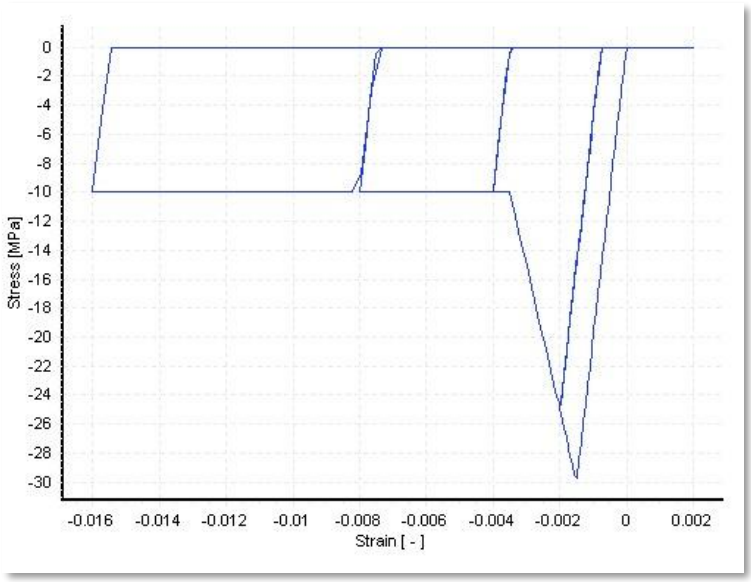
Eleven parameters are needed in order to describe the mechanical characteristics of the material.

Material Properties	Valores típicos	Valores por defecto
Módulo de elasticidad – $\mathbf{E_s}$	2.00E+08 - 2.10E+08 (kPa)	2.00E+08 (kPa)
Límite de fluencia – $\mathbf{f_y}$	260000- 420000 (kPa)	37000 (kPa)
Fuerza de Fluencia Máxima de endurecimiento isotrópico totalmente saturado para tensión – $\mathbf{f_{y,max\ T}}$	400000 - 600000 (kPa)	492000 (kPa)
Constante controlando la transición de la elasticidad a la plasticidad para tensión – $\boldsymbol{\alpha_{,T}}$	0.2-1.2	0.9
Razón de endurecimiento para tensión – $\mathbf{b_{,T}}$	0.01-0.04	0.01
Constante controlando el endurecimiento isotrópico para tensión – $\boldsymbol{\delta_{,T}}$	0.1-0.8	0.2
Fuerza de Fluencia Máxima de endurecimiento isotrópico totalmente saturado para compresión – $\mathbf{f_{y,max\ C}}$	400000 - 600000 (kPa)	581000
Constante controlando la transición de la elasticidad a la plasticidad para compresión – $\boldsymbol{\alpha_{,C}}$	0.2-1.2	0.9
Razón de endurecimiento para compresión – $\mathbf{b_{,C}}$	0.01-0.04	0.01
Constante controlando el endurecimiento isotrópico para compresión – $\boldsymbol{\delta_{,C}}$	0.1-0.8	0.2
Peso específico – $\boldsymbol{\gamma}$	78 (kN/m³)	78 (kN/m³)

MATERIALES DE CONCRETO/HORMIGÓN

Modelo tri-lineal para hormigón - con_tl

Se trata de un modelo uniaxial tri-lineal simplificado que asume resistencia nula a tracción y presenta un plafón de resistencia residual.



Modelo Tri-lineal para hormigón

Para describir por completo las características mecánicas del material es necesario definir cinco parámetros:

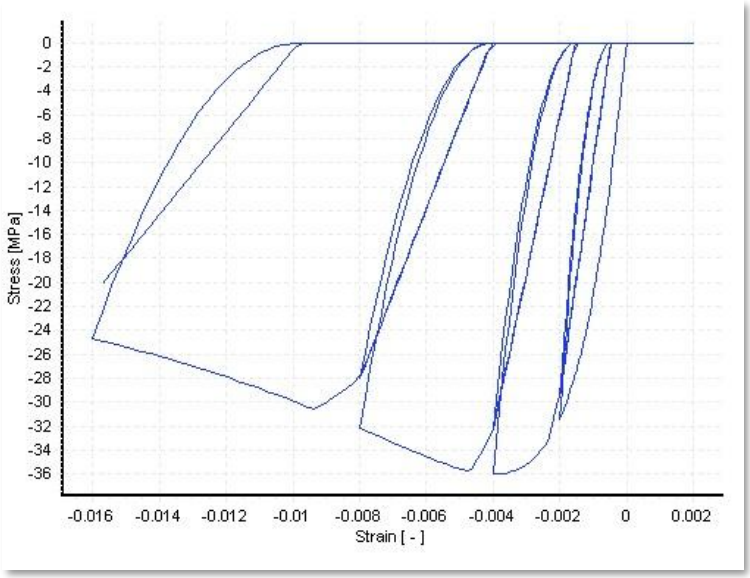
Propiedades del Material	Valores típicos	Valores por defecto
Resistencia a compresión – f_{c1}	15000 - 45000 (kPa)	30000 (kPa)
Rigidez inicial – E_1	1.50E+07 - 3.00E+07 (kPa)	2.00E+07 (kPa)
Rigidez post-pico máximo – E_2	-5.00E+06 - -3.00E+07 (kPa)	-1.00E+07 (kPa)
Resistencia residual – f_{c2}	5000 - 15000 (kPa)	10000 (kPa)
Peso específico – γ	24 (kN/m^3)	24 (kN/m^3)

NOTA 1: Los valores de la resistencia a la compresión obtenidos a partir de ensayos con probetas cúbicas son usualmente entre 25% y 10% mayores que aquellos correspondientes a probetas cilíndricas, para resistencias del hormigón entre 15 y 50 MPa, respectivamente.

NOTA 2: Algunos investigadores (por ej., Scott et al., 1982) han sugerido que la influencia de las elevadas tasas de deformación esperables bajo carga sísmica (0.0167/seg) sobre el comportamiento esfuerzo-deformación del hormigón del núcleo puede ser tenida en cuenta mediante el ajuste de los resultados de ensayos llevados a cabo a tasas de deformación habituales (0.0000033/seg); el ajuste podría consistir, simplemente, en el uso de un factor multiplicativo de 1.25 sobre el esfuerzo pico, la deformación correspondiente al esfuerzo pico, y la pendiente de la rama posterior a la fluencia. En Mander et al. [1989] también se presentan métodos a través de los cuales los efectos de la tasa de deformación pueden ser incorporados al modelo, aunque las fórmulas de base implementadas aquí no incluyen dicho efecto.

Modelo no lineal de Mander et al. Para hormigón - con_ma

Se trata de un modelo uniaxial no lineal de confinamiento constante, programado inicialmente por Madas [1993], que sigue la relación constitutiva propuesta por Mander et al. [1988] y las leyes cíclicas propuestas por Martinez-Rueda and Elnashai [1997]. Los efectos del confinamiento provisto por la armadura transversal son incorporados mediante las leyes propuestas por Mander et al. [1988], en las cuales se asume una presión de confinamiento constante a lo largo de todo el rango de esfuerzos-deformaciones.



Modelo No Lineal de Mander et al. Para hormigón

Para describir por completo las características mecánicas del material es necesario definir cinco parámetros:

Propiedades del Material	Valores típicos	Valores por defecto
Resistencia a compresión – f_c	15000 - 45000 (kPa)	30000 (kPa)
Resistencia a tracción – f_t	-	0 (kPa)
Deformación al valor pico del esfuerzo – ε_c	0.002 - 0.0022 (m/m)	0.002 (m/m)
Factor de confinamiento – k_c	1.0 - 1.3 (-) para elem. de HºAº 1.5 - 4.0 (-) para elementos compuestos en acero y HºAº	1.2 (-)
Peso específico – γ	24 (kN/m^3)	24 (kN/m^3)

NOTA 1: Los valores de la resistencia a la compresión obtenidos a partir de ensayos con probetas cúbicas son usualmente entre 25% y 10% mayores que aquellos correspondientes a probetas cilíndricas, para resistencias del hormigón entre 15 y 50 MPa, respectivamente.

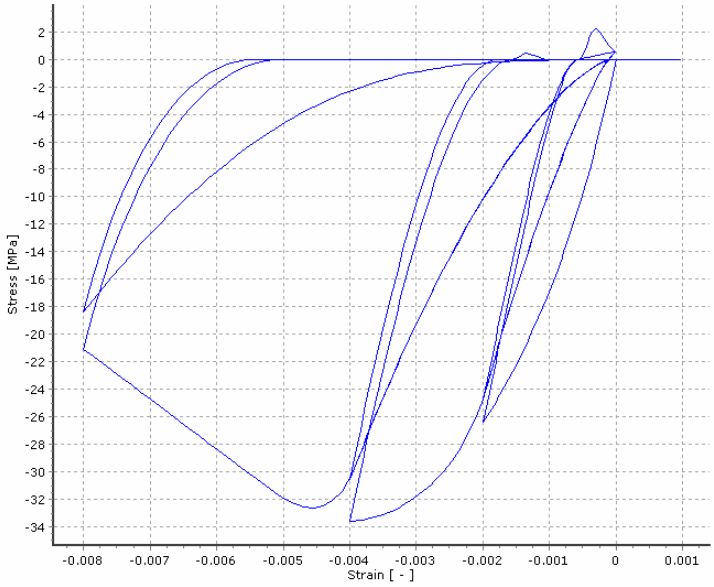
NOTA 2: Algunos investigadores (por ej., Scott et al., 1982) han sugerido que la influencia de las elevadas tasas de deformación esperables bajo carga sísmica (0.0167/seg) sobre el comportamiento esfuerzo-deformación del hormigón del núcleo puede ser tenida en cuenta mediante el ajuste de los resultados de ensayos llevados a cabo a tasas de deformación habituales (0.0000033/seg); el ajuste podría consistir, simplemente, en el uso de un factor multiplicativo de 1.25 sobre el esfuerzo pico, la deformación correspondiente al esfuerzo pico, y la pendiente de la rama posterior a la fluencia. En Mander et al. [1989] también se presentan métodos a través de los cuales los efectos de la tasa de deformación pueden ser incorporados al modelo, aunque las fórmulas de base implementadas aquí no incluyen dicho efecto.

NOTA 3: En ocasiones, dependiendo del modelo estructural y de la carga aplicada, la abertura de fisuras puede introducir inestabilidades numéricas en el análisis. Si, en alguna de estas instancias, el usuario se encuentra interesado en estimar, por ejemplo, el desplazamiento de la cima del edificio (es decir, la respuesta global) en vez de reproducir con precisión la respuesta local de los elementos y secciones (por ej., curvaturas), entonces es posible ignorar por completo la resistencia a tracción (es decir, f_t=0 MPa), y de esta forma la estabilidad del análisis será alcanzada más fácilmente.

NOTA 4: El factor de confinamiento que debe ser especificado para este tipo de material es un factor de confinamiento constante. Es definido como la razón entre la resistencia a compresión confinada y no confinada del hormigón, y es utilizado para amplificar la relación esfuerzo-deformación a lo largo del rango completo de deformaciones.Aunque puede ser computado por medio de cualquier modelo de confinamiento disponible en la bibliografía [por ej., Ahmad and Sahad, 1982; Sheikh and Uzumeri, 1982; Eurocode 8, 1996; Penelis and Kappos, 1997], se recomienda el uso de la expresión de Mander et al. [1989] (que es la utilizada por el programa en el módulo del Cálculo del Factor de Confinamiento). Su valor fluctúa habitualmente entre 1.0 y 2.0 para elementos de hormigón armado, y entre 1.5 y 4.0 para elementos compuestos de hormigón-acero. El valor por defecto es 1.2.

Modelo no lineal de concreto/hormigón Chang-Mander - con_cm

Esta es la implementación del modelo de concreto de Chang & Mander's [Chang & Mander, 1994], el cual pone énfasis particular en la transición de esfuerzo deformación cuando ocurre la apertura y cierre de grietas, contrario a otros modelos similares que asumen un cierre de grietas con un cambio rápido en el módulo de elasticidad de la sección. El concreto en tensión se modela con un comportamiento cíclico similar al de la compresión, y las envolventes de compresión y tensión tiene control en la pendiente del comportamiento esfuerzo deformación en el origen, y en la forma las ramas ascendentes y descendentes del comportamiento de esfuerzo deformación.



Modelo no lineal de concreto de Chang-Mander

Para describir por completo las características mecánicas del material es necesario definir ocho parámetros:

Propiedades del Material	Valores típicos	Valores por defecto
Resistencia a compresión – $\mathbf{f_c}$	15000 - 45000 (kPa)	28000 (kPa)
Resistencia a tracción – $\mathbf{f_t}$	-	2200 (kPa)
Módulo de elasticidad – $\mathbf{E_c}$	10000 - 30000 (MPa)	22960 (MPa)
Deformación al valor pico del esfuerzo – $\boldsymbol{\varepsilon_c}$	0.002 - 0.0022 (m/m)	0.002 (m/m)
Deformación pico de tracción – $\boldsymbol{\varepsilon_t}$	0.0002 - 0.00022 (m/m)	0.0002 (m/m)
Deformación adimensional crítica compresiva- r	1.1 - 1.5 [-]	1.3 [-]
Deformación adimensional crítica a tracción - x_{cr}	1-5 [-]	3 [-]
Peso Específico – $\boldsymbol{\gamma}$	24 (kN/m^3)	24 (kN/m^3)

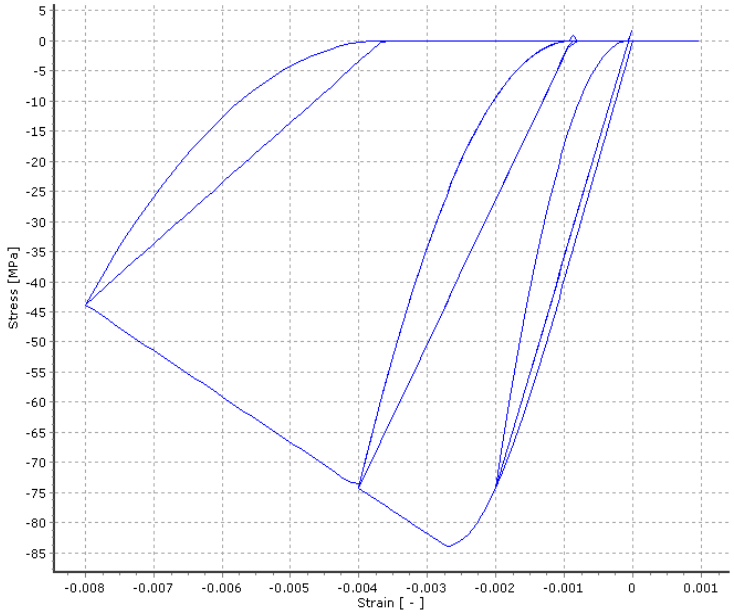
NOTA 1: Los valores de la resistencia a la compresión obtenidos a partir de ensayos con probetas cúbicas son usualmente entre 25% y 10% mayores que aquellos correspondientes a probetas cilíndricas, para resistencias del hormigón entre 15 y 50 MPa, respectivamente.

NOTA 2: Los valores adimensionales de deformación, r para compresión y xcr para la tracción, determinan la forma de las ramas descendentes de la curva. Se le aconseja a los usuarios ver el gráfico en la ventana de dialogo de Material Nuevo, para poder entender cómo la curva cambia con diferentes valores de los parámetros.

Modelo no lineal de Kappos y Konstantinidis para hormigón de alta resistencia - con_hs

NOTA: La necesidad de un modelo específico para hormigones de alta resistencia surge del hecho de que éstos presentan una respuesta esfuerzo-deformación significativamente distinta de aquella de los hormigones normales, en particular en lo referido al comportamiento luego del pico, que tiende a ser considerablemente menos dúctil.

Se trata de un modelo uniaxial no lineal de confinamiento constante para hormigón de alta resistencia, desarrollado y programado inicialmente por Kappos and Konstantinidis [1999]. Sigue la relación constitutiva propuesta por Nagashima et al. [1992] y ha sido calibrado estadísticamente con un amplio rango de datos experimentales. Los efectos del confinamiento provisto por la armadura transversal son incorporados mediante el factor de Sheikh and Uzumeri [1982] modificado (es decir, el coeficiente de eficacia del confinamiento), asumiendo que una presión de confinamiento constante es aplicada a lo largo de todo el rango de esfuerzos-deformaciones.



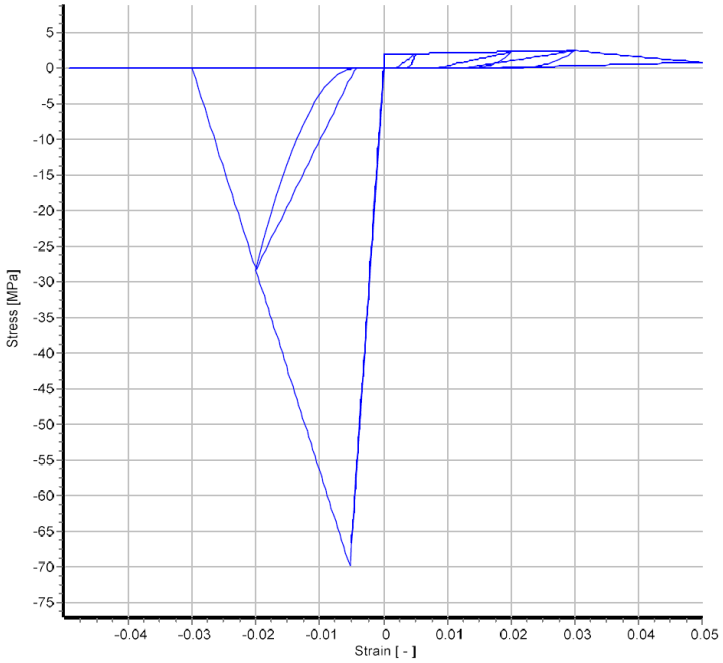
Modelo No Lineal de Kappos and Konstantinidis para hormigón de alta resistencia

Para describir por completo las características mecánicas del material es necesario definir seis parámetros de calibración:

Propiedades del Material	Valores típicos	Valores por defecto
Resistencia a compresión – f_c	50000 - 120000 (kPa)	70000 (kPa)
Resistencia a tracción – f_t	-	0 (kPa)
Cuantía volumétrica de la armadura transversal – ρ_h	0.008 - 0.05 (m^3/m^3)	0.02 (m^3/m^3)
Límite de fluencia de la armadura transversal – f_{yh}	340000 - 700000 (kPa)	400000 (kPa)
Coef. de eficacia del confinamiento – α	0.3 - 0.6 (-)	0.5 (-)
Peso específico – γ	24 (kN/m^3)	24 (kN/m^3)

Material de Hormigón Flexible (ECC) – con_ecc

Con_ecc es un material genérico uniaxial que modela el comportamiento de los compuestos de cemento reforzado con fibras dúctiles según lo descrito por Han et al. [2003]. El modelo necesita 13 variables para su definición.

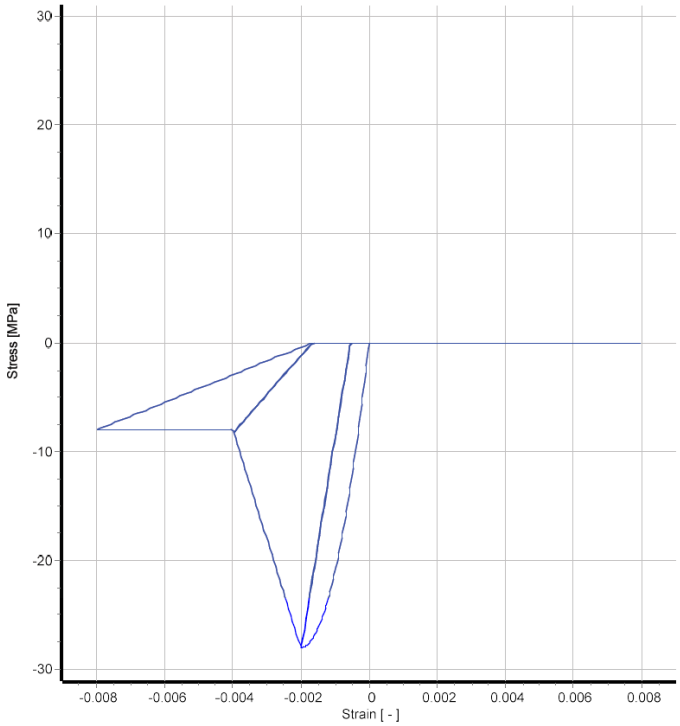


Modelo de compuestos de cemento reforzado con fibras dúctiles

Propiedades del Material	Valores típicos	Valores por defecto
Esfuerzo de fisuración – $\sigma_{t,0}$	2.00E+03 – 4.00E+03 (kPa)	2.00E+03 (kPa)
Deformación de fisuración – $\varepsilon_{t,0}$	0.000015 – 0.00025	0.00015
Máximo Pico del Esfuerzo de Tracción – $\sigma_{t,p}$	2.50E+03 – 6.00E+03 (kPa)	2.50E+03 (kPa)
Deformación a el Máximo Pico del Esfuerzo de Tracción – $\varepsilon_{t,p}$	0.03-0.037	0.03
Deformación última de Tracción – $\varepsilon_{t,u}$	0.06	0.06
Resistencia a la Compresión – $\sigma_{c,p}$	70.00E+03 – 80.00E+03 (kPa)	70.00E+03 (kPa)
Deformación en la Resistencia a la Compresión – $\varepsilon_{c,p}$	0.005-0.006	0.00525
Deformación última de Compresión – $\varepsilon_{c,u}$	0.01-0.03	0.03
Fuerza de la curva de descarga a la Tracción – a_t	≥1	5
Fuerza de la curva de descarga a la Compresión – a_c	≥1	2
Factor de la curva de descarga a la Tracción – **bt**	>0	0.4
Factor de la curva de descarga a la Compresión – **bc**	>0	0.3
Peso específico - γ	24 (kN/m^3)	24 (kN/m^3)

Modelo de Kent Scott y Park para Hormigón – *con_ksp*

El con_ksp es un modelo de hormigón uniaxial simplificado con una relación entre esfuerzo y deformación descrita por Kent y Park [1971] y un comportamiento cíclico propuesto por Karsan y Jirsa [1969]. El modelo se caracteriza por una resistencia a la tracción igual a cero. Se necesitan cinco variables para la definición del modelo.



modelo de hormigón de Kent, Scott y Park

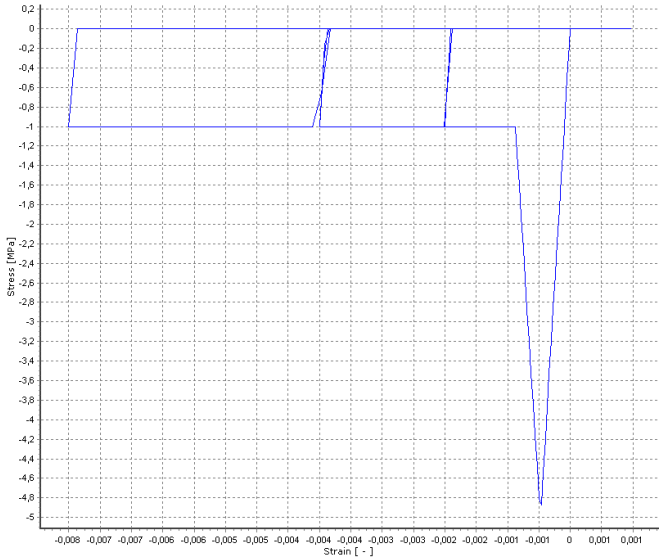
Propiedades del Material	Valores típicos	Valores por defecto
Resistencia última a la Compresión – σ_c	15000 - 45000 (kPa)	28000 (kPa)
Deformación en la Resistencia a la Compresión – ε_c	0.002 - 0.0022 [-]	0.002
Resistencia residual – σ_c	5000 - 15000(kPa)	8000 (kPa)
Deformación a la Resistencia Residual – ε_c	-	0.004
Peso específico - γ	24 (kN/m^3)	24 (kN/m^3)

NOTA: En ocasiones, dependiendo del modelo estructural y de la carga aplicada, la abertura de fisuras puede introducir inestabilidades numéricas en el análisis. Si, en alguna de estas instancias, el usuario se encuentra interesado en estimar, por ejemplo, el desplazamiento de la cima del edificio (es decir, la respuesta global) en vez de reproducir con precisión la respuesta local de los elementos y secciones (por ej., curvaturas), entonces es posible ignorar por completo la resistencia a tracción (es decir, f_t=0 MPa), y de esta forma la estabilidad del análisis será alcanzada más fácilmente.

OTROS MATERIALES

Modelo trilineal para mampostería - mas_tl

Este es un modelo de material trilineal uniaxial simplificado que no asume resistencia a la tensión y presenta una meseta de resistencia residual.



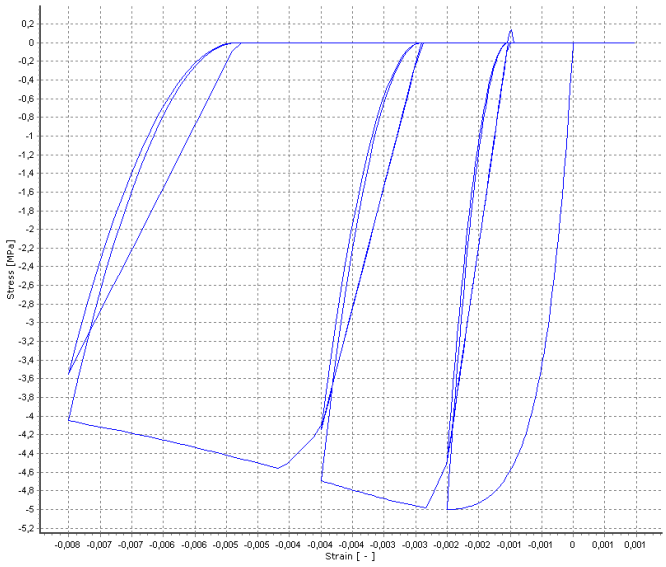
Modelo Trilineal para Mampostería

Se deben definir cinco parámetros de calibración del modelo para describir completamente las características mecánicas del material:

Propiedades del Material	Valores típicos	Valores por defecto
Resistencia a la compresión media – f_{c1}	1000 - 10000 (kPa)	5000 (kPa)
Rigidez inicial – E_1	5.0E+06- 2.00E+07 (kPa)	1.05E+07 (kPa)
Rigidez post-pico máxima – E_2	-2.50E+06- -3.00E+07 (kPa)	-1.00E+07 (kPa)
Resistencia residual – f_{c2}	500 - 5000 (kPa)	1000 (kPa)
Peso específico– γ	24 (kN/m^3)	24 (kN/m^3)

Modelo parabólico para mampostería - mas_par

Este es un modelo de material no lineal uniaxial para mampostería que se basa en las reglas histéricas del modelo con_ma para hormigón de confinamiento constante..



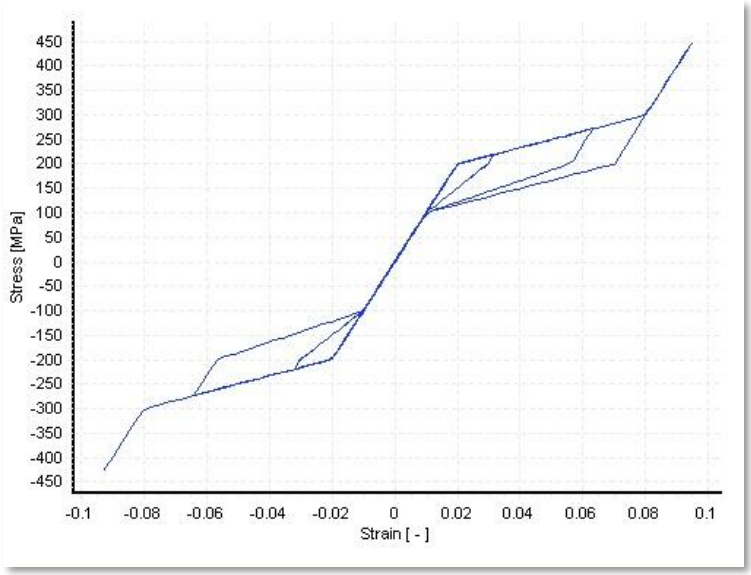
Parabolic Masonry model

Se deben definir sieteparámetros de calibración del modelo para describir completamente las características mecánicas del material:

Propiedades del Material	Valores típicos	Valores por defecto
Resistencia a la Compresión media – $\mathbf{f_c}$	1000 - 10000 (kPa)	3500(kPa)
Resistencia a la Tracción Media – $\mathbf{f_t}$	0 - 2000 (kPa)	150 (kPa)
Módulo de elasticidad – $\mathbf{E_c}$	5000 - 20000 (MPa)	1.05E+07 (kPa)
Coeficiente de Poisson	0.10-0.30 (-)	0.20 (-)
Deformación al valor del máximo pico de esfuerzo – $\boldsymbol{\varepsilon_c}$	0.002 - 0.0022 (m/m)	0.002 (m/m)
Parámetro de rama descendente	0.50 - 10 (-)	1.00 (-)
Peso específico – $\boldsymbol{\gamma}$	24 (kN/m^3)	24 (kN/m^3)

Modelo para aleaciones superelásticas con memoria de forma - se_sma

Se trata de un modelo uniaxial para aleaciones superelásticas con memoria de forma (AMF en Español, SMAs en Inglés), programado por Fugazza [2003], y que sigue la relación constitutiva propuesta por Auricchio and Sacco [1997]. El modelo asume rigidez constante tanto en el dominio completamente austenítico como en el dominio plenamente martensítico, e independiente de la velocidad de carga.



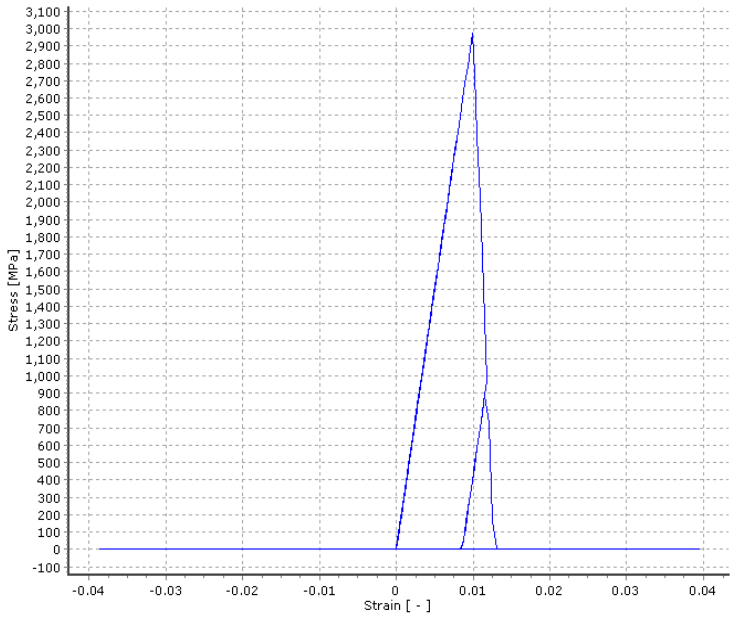
Modelo para Aleaciones Superelásticas con Memoria de Forma

Para describir por completo las características mecánicas del material es necesario definir siete parámetros, cuyos valores pueden ser obtenidos a partir de ensayos uniaxiales simples de elementos de AMF (típicamente alambres o barras):

Propiedades del Material	Valores típicos	Valores por defecto
Módulo de elasticidad - **E**	1.00E+07 - 8.00E+07 (kPa)	1.00E+07 (kPa)
Esfuerzo de inicio de la transformación de austenita a martensita - $\sigma_{s\text{-}AS}$	200000 - 600000 (kPa)	200000 (kPa)
Esfuerzo de fin de la transformación de austenita a martensita - $\sigma_{f\text{-}AS}$	300000 - 700000 (kPa)	300000 (kPa)
Esfuerzo de inicio de la transformación de martensita a austenita - $\sigma_{s\text{-}SA}$	600000 - 200000 (kPa)	200000 (kPa)
Esfuerzo de fin de la transformación de martensita a austenita - $\sigma_{f\text{-}SA}$	500000 - 100000 (kPa)	100000 (kPa)
Largo de deformación del plafón superelástico - ε_L	4 - 8 (%)	5 (%)
Peso específico – γ	65 (kN/m^3)	65 (kN/m^3)

Modelo tri-lineal para FRP - frp_tl

Se trata de un modelo uniaxial tri-lineal simplificado para FRP que asume resistencia nula a la compresión.



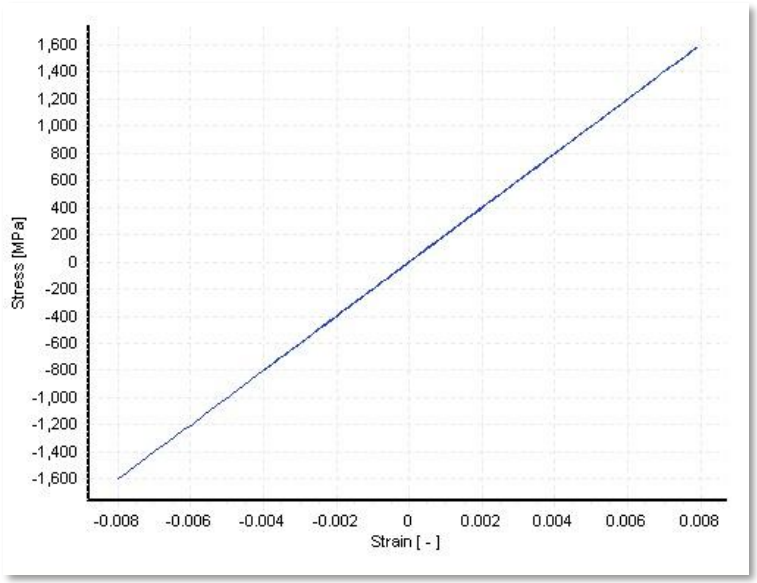
Modelo Tri-Lineal para FRP

Para describir por completo las características mecánicas del material es necesario definir cuatro parámetros:

Propiedades del Material	Valores típicos	Valores por defecto
Resistencia a tracción - $\mathbf{f_t}$	2.10E+06 - 4.80E+06 (kPa) (fibras de carbono) 1.90E+06 - 4.80E+06 (kPa) (fibras de vidrio) 3.50E+06 - 4.10E+06 (kPa) (fibras de aramida)	3.00E+06 (kPa)
Rigidez inicial - $\mathbf{E_1}$	2.15E+08 - 7.00E+08 (kPa) (fibras de carbono) 7.00E+07 - 9.00E+07 (kPa) (fibras de vidrio) 7.00E+07 - 1.30E+08 (kPa) (fibras de aramida)	3.00E+08 (kPa)
Rigidez post-pico máximo - $\mathbf{E_2}$	-	-5.00E+08 (kPa)
Peso específico – $\boldsymbol{\gamma}$	18 (kN/m^3)	18 (kN/m^3)

Modelo de material elástico genérico - el_mat

Se trata de un modelo uniaxial elástico simplificado (para un material genérico), con comportamiento simétrico en tracción y compresión.



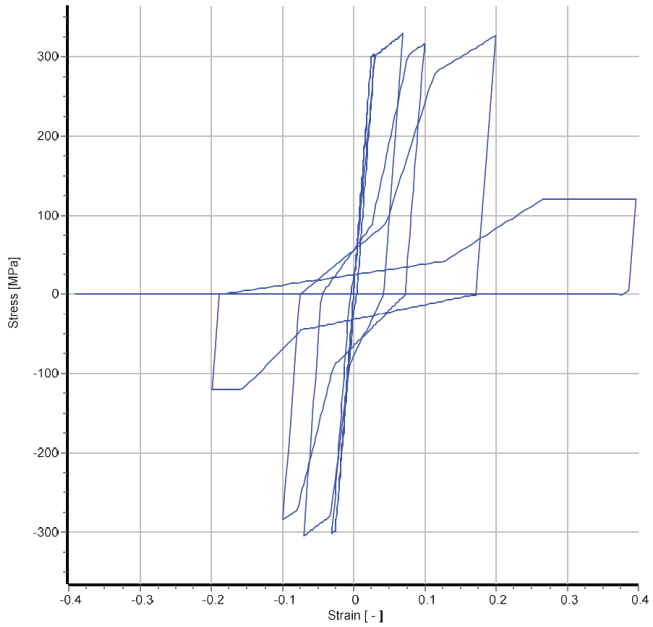
Modelo de Material Elástico Genérico

Para describir por completo las propiedades mecánicas del material es necesario definir dos parámetros:

Propiedades del Material	Valores típicos	Valores por defecto
Módulo de elasticidad - E_s	-	2.00E+08 (kPa)
Peso específico – γ	20 (kN/m³)	20 (kN/m³)

Material Histerético Genérico - hyst_mat

Hyst_mat es un modelo genérico de material uniaxial caracterizado por pellizco (efecto Pinching) (controlado por un factor de pellizco con valores de 0 para no pellizco a 1 para pellizco alto) y por cuatro modos de deterioro que incluyen deterioro de resistencia, deterioro de tensión máxima, deterioro de rigidez de recarga y deterioro de rigidez de descarga. Todos los modos de deterioro están controlados por el factor de deterioro (con valores de 0 para no deterioro a 1 para alto deterioro). Una curva inicial que consiste en el punto de fluencia, el punto de tensión máxima y la resistencia residual se define inicialmente y se deteriora después de cada incidente de descarga.



Modelo de Material Histerético Genérico

Se necesitan doce parámetros para describir las características mecánicas del material. Los pares de tensión y esfuerzo que definen la curva inicial deben darse en orden ascendente

Propiedades del Material	Valores típicos	Valores por defecto
Módulo de Elasticidad - E_s	-	2.00E+08 (kPa)
Esfuerzo de Fluencia en dirección positiva – $\sigma_{y,pos}$	-	300E+03 (kPa)
Esfuerzo de Fluencia en dirección negativa – $\sigma_{y,neg}$	-	300E+03 (kPa)
Deformación Máxima en dirección positiva – $\varepsilon_{peak,pos}$	-	300
Esfuerzo Máximo en dirección positiva – $\sigma_{peak,pos}$	-	500 (kPa)
Deformación Máxima en dirección negativa – $\varepsilon_{peak,neg}$	-	300
Esfuerzo Máximo en dirección negativa – $\sigma_{peak,neg}$	-	500 (kPa)
Resistencia residual en dirección positiva – $\sigma_{Res,pos}$	-	120 (kPa)
Resistencia residual en dirección negativa – $\sigma_{Res,neg}$	-	120 (kPa)
Factor del Pellizco – **FPinch**	0-1	0.5
Factor de deterioro – **FDet**	0-1	0.5
Peso específico - γ	-	24 (kN/m^3)

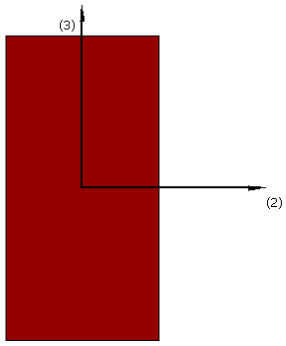
Apéndice D - Secciones

En este apéndice se describen en detalle los tipos de secciones disponibles.

SECCIONES DE UN MATERIAL

Sección rectangular maciza - rss

Esta sección es adoptada frecuentemente para el modelado de miembros rectangulares en estructuras de acero.



Materiales y Dimensiones

Es necesario definir sólo un material (habitualmente, acero).

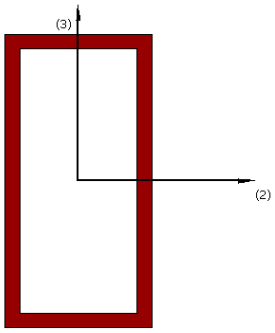
Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho sección. El valor por defecto es 0.1 m
- Altura/profundidad sección. El valor por defecto es 0.2 m

NOTA: Desde SeismoStruct 2016 en adelantees posible aplicar modelos de material de concreto a una sección rss.

Sección rectangular hueca - rhs

Esta sección es frecuentemente adoptada para el modelado de miembros rectangulares huecos en estructuras de acero.



Materiales y Dimensiones

Es necesario definir sólo un material (habitualmente, acero).

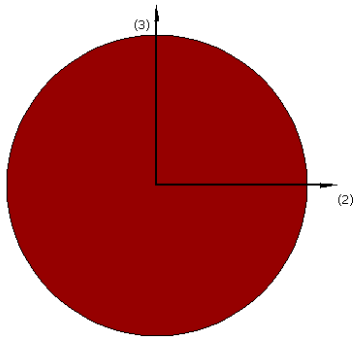
Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho sección.El valor por defecto es 0.1 m
- Altura/profundidad sección. El valor por defecto es 0.2 m
- Espesor sección. El valor por defecto es 0.01 m

NOTA: Es posible utilizar esta sección para modelar el refuerzo de un miembro rectangular de hormigón armado con acero o láminas de FRP orientadas longitudinalmente y aplicadas en todos los lados del miembro original. Para ello, es necesario (i) crear un modelo de material que posea las propiedades del material de refuerzo, (ii) definir una sección rectangular hueca (rhs) cuyas dimensiones (altura/ancho) internas sean iguales a aquellas del elemento original, con el espesor correspondiente al refuerzo, y (iii) crear el nuevo elemento de refuerzo (caracterizado por la sección definida anteriormente), conectándolo a los mismos nodos a los cuales se encuentra conectado el elemento existente.

Sección circular maciza - css

Esta sección es utilizada frecuentemente para el modelado de miembros circulares en estructuras de acero.



Materiales y Dimensiones

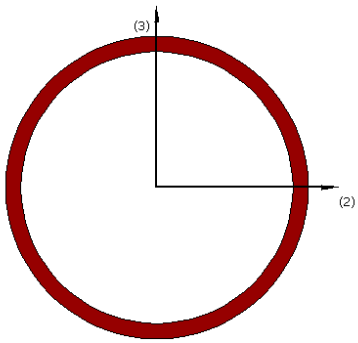
Sólo es necesario definir un material (habitualmente, acero).

La dimensión requerida es la siguiente:

- Diámetro sección. El valor por defecto es 0.2 m

Sección circular hueca - chs

Esta sección es adoptada frecuentemente para el modelado de miembros circulares huecos en estructuras de acero.



Materiales y Dimensiones

Es necesario definir sólo un material (habitualmente, acero).

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

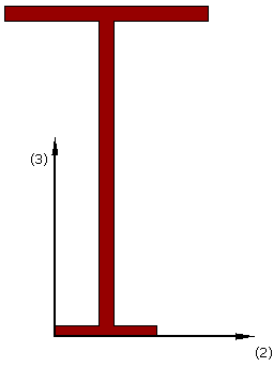
- Diámetro sección. El valor por defecto es 0.2 m
- Espesor sección.El valor por defecto es 0.01 m

NOTA: Es posible utilizar esta sección para modelar el refuerzo de un miembro circular de hormigón armado con acero o láminas de FRP orientadas longitudinalmente. Para ello, es necesario (i) crear un modelo de material que posea las propiedades del material de refuerzo, (ii) definir una sección circular hueca (chs) cuyo diámetro interno sea igual a aquel del elemento original, con el espesor correspondiente al refuerzo, y (iii) crear el nuevo elemento de refuerzo (caracterizado por la sección definida anteriormente), conectándolo a los mismos nodos a los cuales se encuentra conectado el elemento existente.

Sección T o doble-T simétrica - sits

Esta sección es adoptada frecuentemente para el modelado de perfiles de acero T o doble-T.

NOTA: Es posible obtener una sección T asignando valores idénticos al ancho del ala inferior y al espesor del alma.



Materiales y Dimensiones

Es necesario definir sólo un material (habitualmente, acero).

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

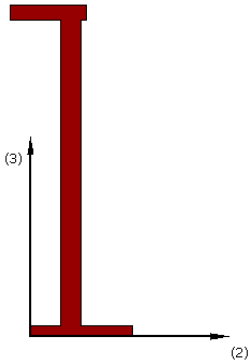
- Ancho ala inferior.El valor por defecto es 0.1 m
- Espesor ala inferior.El valor por defecto es 0.01 m
- Ancho ala superior.El valor por defecto es 0.2 m
- Espesor ala superior.El valor por defecto es 0.015 m
- Altura alma. El valor por defecto es 0.3 m
- Espesor alma.El valor por defecto es 0.015 m

NOTA: Es posible utilizar una sección doble-T para modelar el refuerzo de un miembro rectangular de hormigón armado realizado con acero o láminas de FRP orientadas longitudinalmente y aplicadas en dos lados opuestos de la sección. Para ello, es necesario (i) crear un modelo de material que posea las propiedades del material de refuerzo, (ii) definir una sección doble-T (sits) cuya altura del alma sea igual a aquella de la sección del elemento original, un espesor del alma aproximadamente igual a cero, ancho/espesor de alas correspondientes al refuerzo, y (iii) crear el nuevo elemento de refuerzo (caracterizado por la sección definida anteriormente), conectándolo a los mismos nodos a los cuales se encuentra conectado el elemento existente. Evidentemente, en aquellos casos en los que las fibras sean colocadas sólo a un lado de la sección existente (por ej., refuerzo de vigas), es posible utilizar una sección T.

Sección genérica asimétrica - agss

Esta sección es utilizada frecuentemente para el modelado de perfiles de acero con formas no estándar.

NOTA: Una sección tipo C puede ser obtenida definiendo excentricidades nulas para ambas alas. Por otra parte, una sección tipo L puede ser definida asignando valores idénticos al ancho del ala superior y espesor del alma (junto con excentricidades nulas para ambas alas).



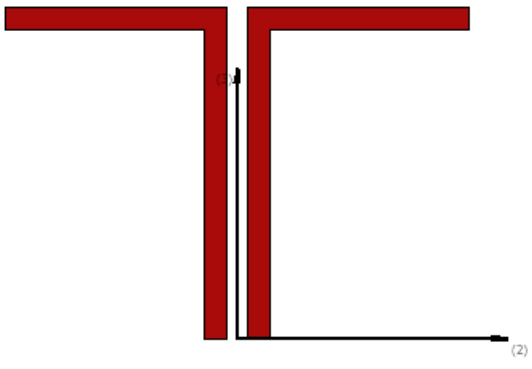
Materiales y Dimensiones

Es necesario definir sólo un material (habitualmente, acero).

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho ala inferior. El valor por defecto es 0.1 m
- Espesor ala inferior. El valor por defecto es 0.01 m
- Ancho ala superior. El valor por defecto es 0.075 m
- Espesor ala superior. El valor por defecto es 0.015 m
- Altura alma. El valor por defecto es 0.3 m
- Espesor alma. El valor por defecto es 0.02 m
- Excentricidad ala inferior. El valor por defecto es 0.03 m
- Excentricidad ala superior. El valor por defecto es 0.05 m

Secciones de Doble Angular - dacss



Materiales y Dimensiones

Es necesario definir sólo un material (acero).

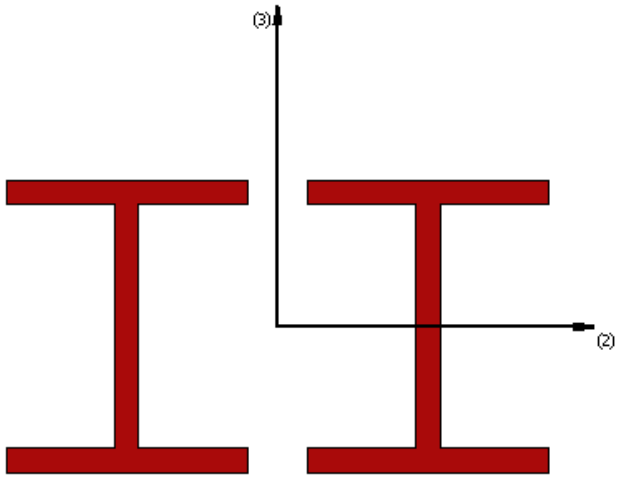
Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho ala inferior. El valor por defecto es 0.1 m
- Espesor ala inferior. El valor por defecto es 0.01 m

- Ancho ala superior. El valor por defecto es 0.1 m
- Espesor ala superior. El valor por defecto es 0.01 m
- Altura alma. El valor por defecto es 0.13 m
- Espesor alma. El valor por defecto es 0.01 m
- Distancia entre ambas almas: Valor por defecto es 0.01 m

Sección doble I tipo 1 - di1

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de perfiles de acero de doble I con distancia entre las alas.



Materiales y Dimensiones

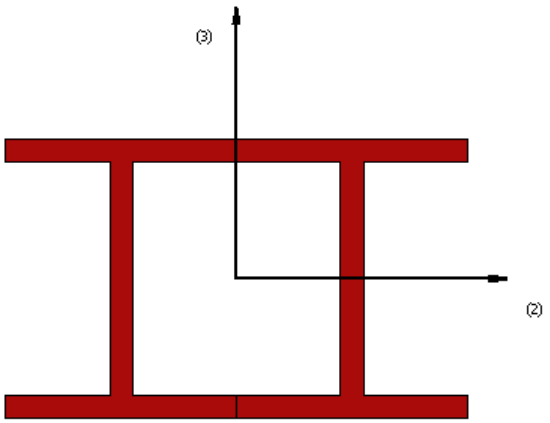
Es necesario definir sólo un material (acero).

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho de ala. El valor predeterminado es 0.2m
- Espesor de ala. El valor predeterminado es 0.02 m
- Altura del alma. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor del alma. El valor predeterminado es 0.02 m
- Distancia de ala a ala. El valor predeterminado es 0.05 m

Sección doble I tipo 2 - di2

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de perfiles de acero de doble I sin distancia entre las alas.



Materiales y Dimensiones

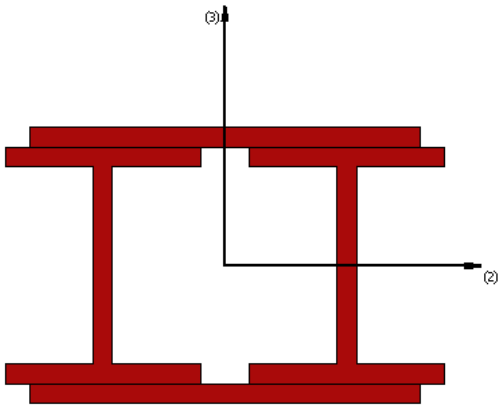
Es necesario definir sólo un material (acero).

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho de ala. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor del ala. El valor predeterminado es 0.02 m
- Altura del alma. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor del alma. El valor predeterminado es 0.02 m

Sección doble I tipo 1 con placas inferior y superior - di1tbp

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de perfiles de acero de doble I con distancia entre las alas con placas adicionales superior e inferior.



Materiales y Dimensiones

Se pueden definir dos materiales diferentes (acero):

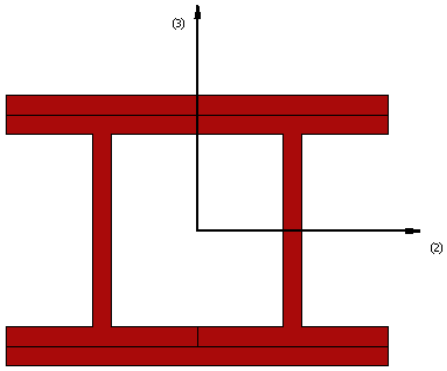
- Perfil de acero (Secciones I),
- Perfil de acero (Placas de acero).

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho de ala. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor de ala. El valor predeterminado es 0.02 m
- Altura del alma. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor del alma. El valor predeterminado es 0.02 m
- Distancia de ala a ala. El valor predeterminado es 0.05 m
- Ancho de la placa de refuerzo. El valor predeterminado es 0.40 m
- Espesor de la placa de refuerzo. El valor predeterminado es 0.02 m

Sección doble I tipo 2 con placas inferior y superior - di2tbp

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de perfiles de acero de doble I sindistancia entre las alas con placas adicionales superior e inferior.



Materiales y Dimensiones

Se pueden definir dos materiales diferentes (acero):

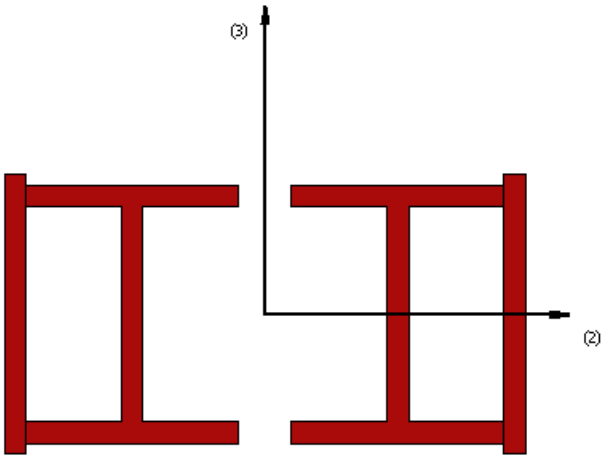
- Perfil de acero (Secciones I),
- Perfil de acero (Placas de acero).

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho de ala. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor de ala. El valor predeterminado es 0.02 m
- Altura del alma. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor del alma. El valor predeterminado es 0.02 m
- Ancho de la placa de refuerzo. El valor predeterminado es 0.40 m
- Espesor de la placa de refuerzo. El valor predeterminado es 0.02 m

Sección doble I tipo 1 con placas en el alma - di1wp

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de perfiles de acero de doble I con distancia entre las alas con placas en el alma.



Materiales y Dimensiones

Se pueden definir dos materiales diferentes (acero):

- Perfil de acero (Secciones I),
- Perfil de acero (Placas de acero).

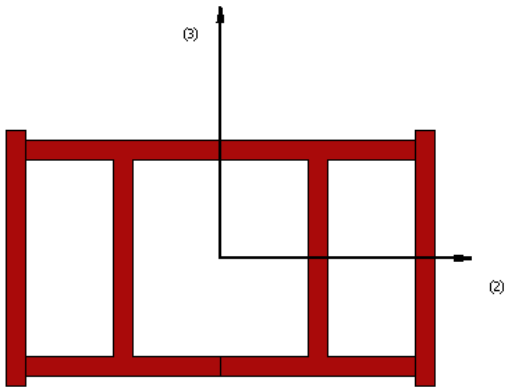
Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho de ala. El valor predeterminado es 0.2 m

- Espesor de ala. El valor predeterminado es 0.02 m
- Altura del alma. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor del alma. El valor predeterminado es 0.02 m
- Ancho de la placa de refuerzo. El valor predeterminado es 0.26 m
- Espesor de la placa de refuerzo. El valor predeterminado es 0.02 m

Sección doble I tipo 2 con placas en el alma - di2wp

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de perfiles de acero de doble I sin distancia entre las alas con placas en el alma.



Materiales y Dimensiones

Se pueden definir dos materiales diferentes (acero):

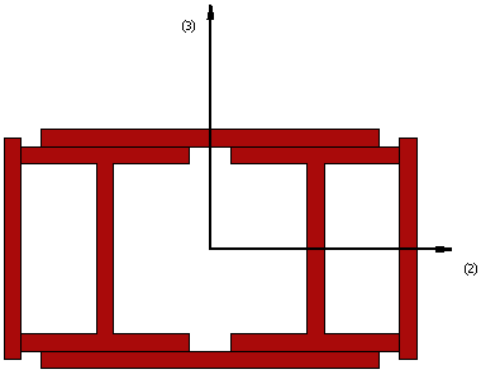
- Perfil de acero (Secciones I),
- Perfil de acero (Placas de acero).

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho de ala. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor de ala. El valor predeterminado es 0.02 m
- Altura del alma. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor del alma. El valor predeterminado es 0.02 m
- Distancia de ala a ala. El valor predeterminado es 0.05 m
- Ancho de la placa de refuerzo. El valor predeterminado es 0.26 m
- Espesor de la placa de refuerzo. El valor predeterminado es 0.02 m

Sección doble I tipo 1 con placas superior, inferior y en el alma - di1tbwp

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de perfiles de acero de doble I con distancia entre las alas con placas superior, inferior y en el alma.



Materiales y Dimensiones

Se pueden definir dos materiales diferentes (acero):

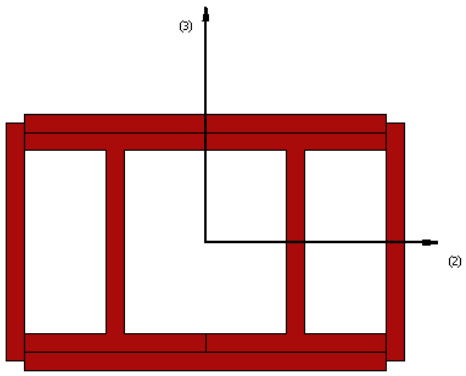
- Perfil de acero (Secciones I),
- Perfil de acero (Placas de acero).

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho de ala. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor de ala. El valor predeterminado es 0.02 m
- Altura del alma. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor del alma. El valor predeterminado es 0.02 m
- Distancia de ala a ala. El valor predeterminado es 0.05 m
- Ancho de placas superior e inferior. El valor predeterminado es 0.4 m
- Espesor de placas superior e inferior. El valor predeterminado es 0.02 m
- Ancho de la placa de refuerzo en el alma. El valor predeterminado es 0.26 m
- Espesor de la placa de refuerzo en el alma. El valor predeterminado es 0.02 m

Sección doble I tipo 2 con placas superior, inferior y en el alma - di2tbwp

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de perfiles de acero de doble I sin distancia entre las alas con placas superior, inferior y en el alma.



Materiales y Dimensiones

Se pueden definir dos materiales diferentes (acero):

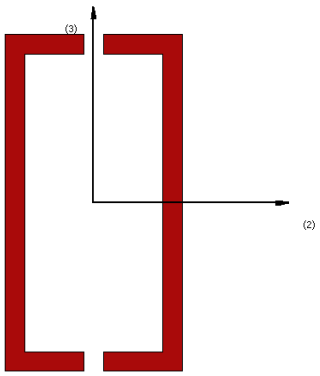
- Perfil de acero (Secciones I),
- Perfil de acero (Placas de acero).

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho de ala. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor de ala. El valor predeterminado es 0.02 m
- Altura del alma. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor del alma. El valor predeterminado es 0.02 m
- Ancho de placas superior e inferior. El valor predeterminado es 0.4 m
- Espesor de placas superior e inferior. El valor predeterminado es 0.02 m
- Ancho de la placa de refuerzo en el alma. El valor predeterminado es 0.26 m
- Espesor de la placa de refuerzo en el alma. El valor predeterminado es 0.02 m

Sección hecha de doble perfil en canal - bbdc

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de acero con perfiles doble canal C.



Materiales y Dimensiones

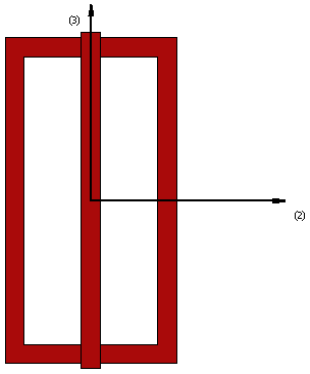
Solo se necesita definir un material (acero).

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho del ala. El valor predeterminado es 0.08 m
- Espesor del ala. El valor predeterminado es 0.02 m
- Altura del alma. El valor predeterminado es 0.3 m
- Espesor del alma. El valor predeterminado es 0.02 m
- Distancia de ala a ala. El valor predeterminado es 0.02 m

Sección hecha de doble perfil en canal con placa de conexión - bbdccp

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de acero con perfiles doble canal C con una placa de conexión.



Materiales y Dimensiones

Se pueden definir dos materiales diferentes (acero):

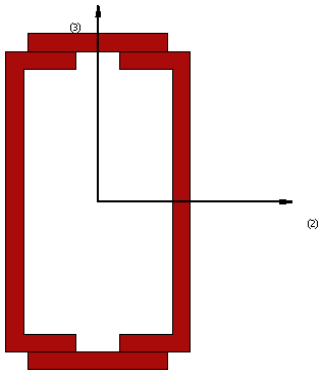
- Perfil de acero (secciones de canal),
- Perfil de acero (placa).

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho del ala. El valor predeterminado es 0.08 m
- Espesor del ala. El valor predeterminado es 0.02 m
- Altura del alma. El valor predeterminado es 0.3 m
- Espesor del alma. El valor predeterminado es 0.02 m
- Ancho de placa de refuerzo. El valor predeterminado es 0.35 m

Sección hecha de doble perfil en canal con placa superior e inferior - bbdctbp

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de acero con perfiles doble canal C con placas de conexión superior e inferior.



Materiales y Dimensiones

Se pueden definir dos materiales diferentes (acero):

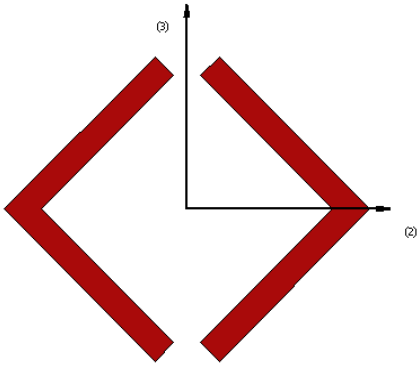
- Perfil de acero (secciones de canal),
- Perfil de acero (placa).

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho del ala. El valor predeterminado es 0.08 m
- Espesor del ala. El valor predeterminado es 0.02 m
- Altura del alma. El valor predeterminado es 0.3 m
- Espesor del alma. El valor predeterminado es 0.02 m
- Distancia de ala a ala. El valor predeterminado es 0.05 m
- Ancho de plaza de refuerzo. El valor predeterminado es 0.16 m
- Espesor de placa de refuerzo. El valor predeterminado es 0.02 m

Sección hecha de doble perfil en angular - bbda

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de acero con perfiles de doble angular.



Materiales y Dimensiones

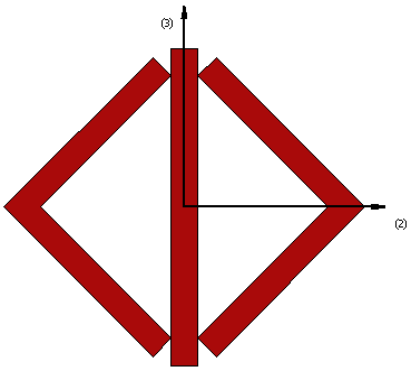
Solo se necesita definir un material (acero).

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho del ala. El valor predeterminado es 0.08 m
- Espesor del ala. El valor predeterminado es 0.01 m
- Distancia de ala a ala. El valor predeterminado es 0.01 m

Sección hecha de doble perfil en angular - bbdacp

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de acero con perfiles de doble angular con una placa de conexión.



Materiales y Dimensiones

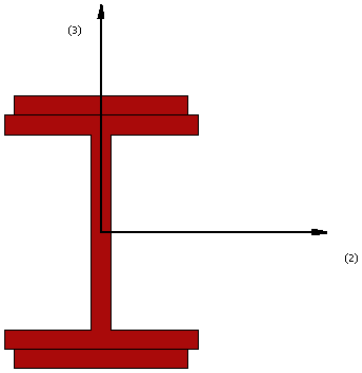
Solo se necesita definir un material (acero).

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho del ala. El valor predeterminado es 0.08 m
- Espesor del ala. El valor predeterminado es 0.01 m
- Ancho de placa de refuerzo. El valor predeterminado es 0.12 m
- Espesor de placa de refuerzo. El valor predeterminado es 0.01 m

Sección I con placas superior e inferior - itbp

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de acero con perfiles I con placas de refuerzo en las alas.



Materiales y Dimensiones

Se pueden definir dos materiales diferentes (acero):

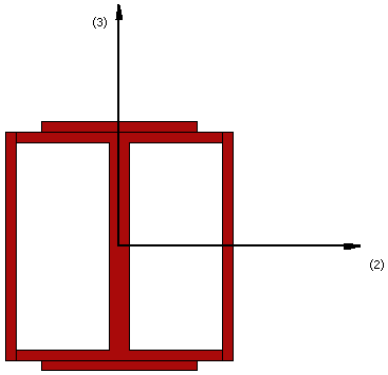
- Perfil de acero (sección I),
- Perfil de acero (Platos).

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho de ala. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor de ala. El valor predeterminado es 0.02 m
- Ancho del alma. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor del alma. El valor predeterminado es 0.02 m
- Ancho de la placa de refuerzo. El valor predeterminado es 0.18 m
- Espesor de la placa de refuerzo. El valor predeterminado es 0.02 m

Sección I con placas superior e inferior y en el alma - itbwp

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de acero con perfiles I con placas de refuerzo en las alas y en el alma.



Materiales y Dimensiones

Se pueden definir dos materiales diferentes (acero):

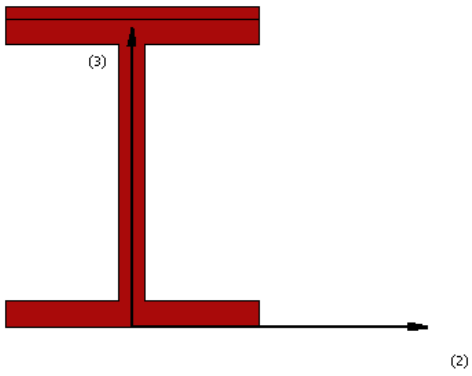
- Perfil de acero (sección I),
- Perfil de acero (Platos).

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho del ala. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor del ala. El valor predeterminado es 0.01 m
- Ancho del alma. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor del alma. El valor predeterminado es 0.02 m
- Ancho de la placa superior e inferior. El valor predeterminado es 0.15 m
- Espesor de la placa superior e inferior. El valor predeterminado es 0.01 m
- Ancho de las placas en el alma. El valor predeterminado es 0.22 m
- Espesor de la placas en el alma. El valor predeterminado es 0.01 m

Sección I con placa superior - itp

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de acero con perfiles I con placa de refuerzo en el ala superior.



Materiales y Dimensiones

Se pueden definir dos materiales diferentes (acero):

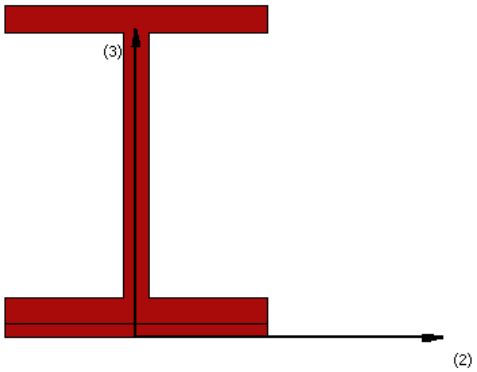
- Perfil de acero (sección I),
- Perfil de acero (Placas).

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho del ala. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor del ala. El valor predeterminado es 0.02 m
- Ancho del alma. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor del alma. El valor predeterminado es 0.02 m
- Ancho de la placa superior. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor de la placa superior. El valor predeterminado es 0.01 m

Sección I con placa inferior- ibp

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de acero con perfiles I con placa de refuerzo en el ala inferior.



Materiales y Dimensiones

Se pueden definir dos materiales diferentes (acero):

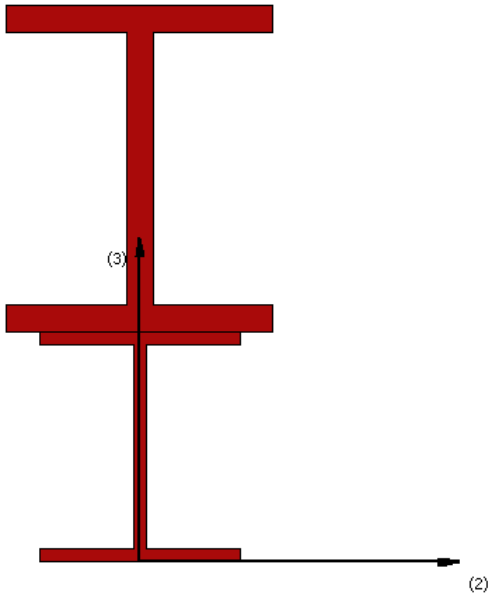
- Perfil de acero (sección I),
- Perfil de acero (Placas).

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho del ala. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor del ala. El valor predeterminado es 0.02 m
- Ancho del alma. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor del alma. El valor predeterminado es 0.02 m
- Ancho de la placa inferior. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor de la placa inferior. El valor predeterminado es 0.01 m

Sección I refozada con sección I en la parte inferior - ibri

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de acero con perfiles I que han sido reforzados con otro perfil I en la parte inferior.



Materiales y Dimensiones

Se pueden definir dos materiales diferentes (acero):

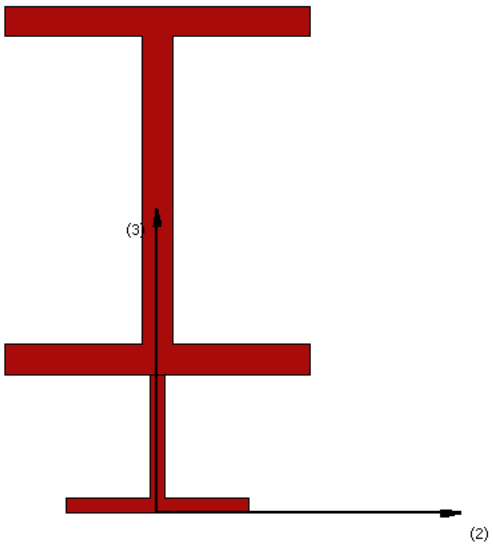
- Perfil de acero (sección I superior)
- Perfil de acero (sección I inferior)

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho del ala de sección superior. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor del ala de la sección superior. El valor predeterminado es 0.02 m
- Ancho del alma sección superior. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor del alma de la sección superior. El valor predeterminado es 0.02 m
- Ancho del ala de sección inferior. El valor predeterminado es 0.15 m
- Espesor del ala de la sección inferior. El valor predeterminado es 0.01 m
- Ancho del alma de la sección inferior. El valor predeterminado es 0.15 m
- Espesor del alma de la sección inferior. El valor predeterminado es 0.01 m

Sección I refozada con sección T en la parte inferior - ibrt

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de acero con perfiles I que han sido reforzados con otro perfil T en la parte inferior.



Materiales y Dimensiones

Se pueden definir dos materiales diferentes (acero):

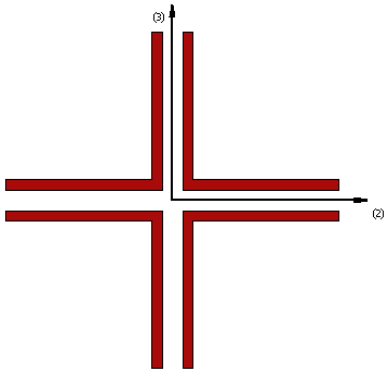
- Perfil de acero (sección I)
- Perfil de acero (sección T)

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho del ala de la sección I. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor del ala de la sección I. El valor predeterminado es 0.02 m
- Ancho del alma se la sección I. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor del alma de la sección. El valor predeterminado es 0.02 m
- Ancho del ala de la sección T. El valor predeterminado es 0.12 m
- Espesor del ala de la sección T. El valor predeterminado es 0.01 m
- Ancho del alma de la sección T. El valor predeterminado es 0.08 m
- Espesor del alma de la sección T. El valor predeterminado es 0.01 m

Sección de estrella compuesta de angulares - sfa

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de acero con perfiles angulares conectados en las esquinas.



Materiales y Dimensiones

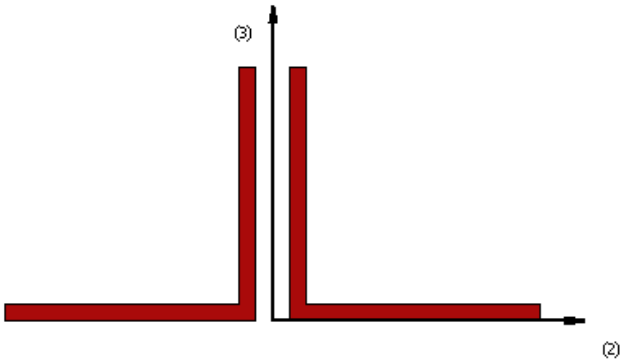
- Solo se necesita definir un material (acero).

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho del ala.El valor predeterminado es 0.15 m
- Espesor del ala. El valor predeterminado es 0.01 m
- Distancia de ala a ala. El valor predeterminado es 0.02 m

Sección de doble angular de espalda a espalda - dabtb

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de perfiles de acero de doble angular con distancia entre las espaldas.



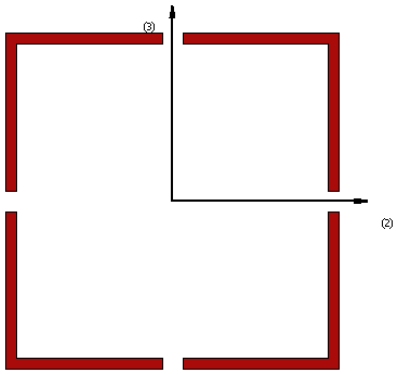
Materiales y Dimensiones

Solo se necesita definir un material (acero).

- Las dimensiones requeridas son las siguientes:
- Ancho del ala.El valor predeterminado es 0.15 m
- Espesor del ala. El valor predeterminado es 0.01 m
- Distancia de ala a ala. El valor predeterminado es 0.02 m

Sección hecha de cuatro angulares - bbfa

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de perfiles de acero hechos de cuatro angulares.



Materiales y Dimensiones

Solo se necesita definir un material (acero).

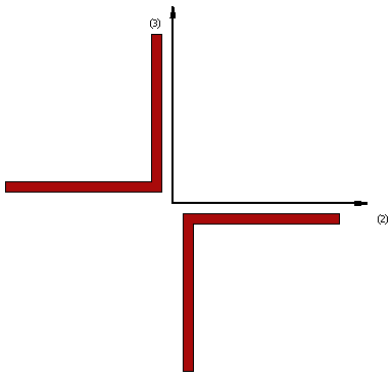
Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho del ala. El valor predeterminado es 0.15 m
- Espesor del ala. El valor predeterminado es 0.01 m
- Distancia de ala a ala. El valor predeterminado es 0.02 m

Nota: Los usuarios pueden usar una caja construida formada por cuatro secciones angulares para modelar la adaptación de un miembro rectangular RC con capas de FRP o acero orientadas longitudinalmente aplicadas en los dos lados opuestos de la sección. Para ello, primero cree un modelo de material con las propiedades del material de refuerzo y luego use una caja construida formada por cuatro secciones angulares que igualen a la sección del elemento original, las dimensiones del grosor del ala correspondan al grosor de la capa de refuerzo. y conecte este nuevo elemento de adaptación a los mismos nodos a los que está conectado el elemento existente.

Sección de doble angular conectados a lo largo de la diagonal - dadg

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de perfiles de acero hechos de dos angualres conectados a lo largo de la diagonal.



Materiales y Dimensiones

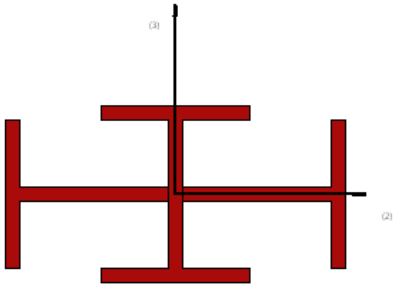
Solo se necesita definir un material (acero).

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho del ala. El valor predeterminado es 0.15 m
- Espesor del ala. El valor predeterminado es 0.01 m
- Distancia de ala a ala. El valor predeterminado es 0.02 m

Sección cruciforme– cfs

Esta es una sección frecuentemente adoptada para modelar una sección I con dos secciones T conectadas simétricamente en su alma formando una sección transversal con alas.



Materiales y Dimensiones

Se pueden definir dos materiales diferentes (acero):

- Perfil de acero (sección I)
- Perfil de acero (secciones T a los lados)

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho del alma se la sección I. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor del alma de la sección I. El valor predeterminado es 0.02 m
- Ancho del ala de la sección I. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor del ala de la sección I. El valor predeterminado es 0.02 m
- Ancho del alma de la sección T. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor del alma de la sección T. El valor predeterminado es 0.02 m
- Ancho del ala de la sección T. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor del ala de la sección T. El valor predeterminado es 0.02 m

SECCIONES DE CONCRETOREFORZADO

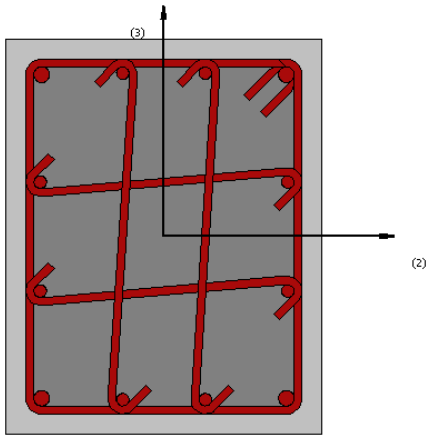
NOTA 1: La región correspondiente al hormigón confinado es calculada automáticamente por el programa utilizando el espesor del recubrimiento de HºAº definido en *Ajustes de Proyecto > Elementos* (el valor por defecto es 2.5 cm).

NOTA 2: Todas las barras de armadura deben estar ubicadas dentro de la región confinada de hormigón.

Sección rectangular de concretoreforzado - rcrs

Esta sección es adoptada frecuentemente para el modelado de columnas rectangulares de concretoreforzado. El uso de esta sección para modelar columnas anchas o muros estructurales es también posible, siempre que se utilicen brazos/vínculos rígidos con dimensiones iguales a la mitad del ancho de la columna/muro para conectar la columna/muro a los miembros estructurales adyacentes, con el fin de que el movimiento de cuerpo rígido de la columna ancha/muro y su influencia sobre los elementos estructurales a los que se encuentra conectada/o sean modelados adecuadamente.

IMPORTANTE: Se recomienda a los usuarios referirse al trabajo de Beyer et al. [2008] por mayores indicaciones sobre este tema, en especial si desean utilizar esta sección transversal para modelar muros en forma de L o U.



Materiales y Dimensiones

Es posible definir tres tipos diferentes de materiales:

- refuerzolongitudinal
- refuerzotransversal
- concreto

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Altura sección. El valor por defecto es 0.4 m
- Ancho sección. El valor por defecto es 0.3 m
- Recubrimiento. El valor por defecto es 0.025 m

Refuerzo

Las barras de armadura pueden ser definidas de dos formas diferentes:

1. utilizando el editor de la refuerzo, al cual se accede mediante el botón *Editar Esquema Disposición Armadura*, y en el cual es posible especificar un determinado número de barras a colocar en el perímetro de la sección;
2. insertando manualmente el área y las coordenadas seccionales respectivas de cada barra (siendo estas últimas definidas en el sistema de coordenadas local de la sección).

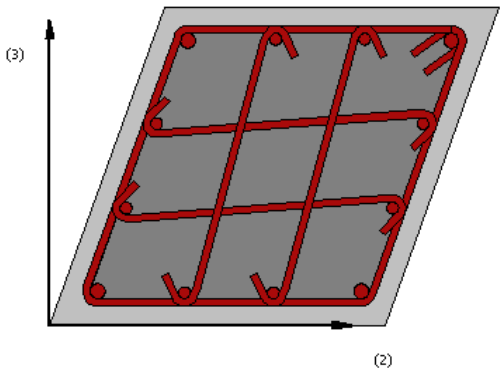
Además, el refuerzo transversal puede especificarse, en términos de los diámetros y patas de los estribos, así como la distancia entre ellos.También se pueden agregar estribos romboidales.

Reforzamiento con FRP

La envoltura de FRP puede introducirse seleccionando la envoltura de FRP de una lista de los productos más comunes que se encuentran en el mercado, o introduciendo valores definidos por el usuario.

Sección de concreto cuadrilateral - rcqs

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de columnas cuadrilaterales de concreto reforzado.



Materiales y Dimensiones

Es posible definir tres tipos diferentes de materiales:

- refuerzolongitudinal
- refuerzotransversal
- concreto

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Lado 1. El valor predeterminado es 0.45 m
- Lado 2. El valor predeterminado es 0.45 m

- Lado 3. El valor predeterminado es 0.45 m
- Lado 4. El valor predeterminado es 0.45 m
- Ángulo. El valor predeterminado es 70°
- Espesor del recubrimiento. El valor predeterminado es 0.025 m

Refuerzo

Las barras de refuerzo longitudinales se pueden definir de dos maneras diferentes:

1. Editando el patrón de refuerzo;
2. Ingresando el área respectiva y las coordenadas de la sección (esta última siendo definida en el sistema de coordenadas local de la sección).

Además, el refuerzo transversal se puede especificar, en términos de estribos diámetros y piernas, así como la distancia entre ellos.También se pueden agregar estribos romboidales.

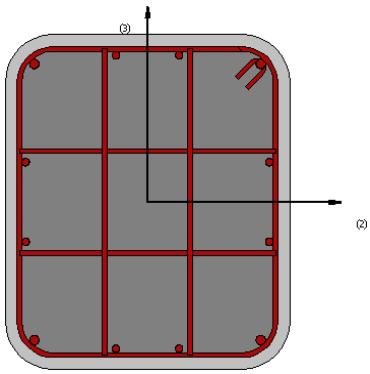
Reforzamiento con FRP

El ajuste de FRP puede asignarse seleccionando Envoltura FRP de una lista de los productos más comunes encontrados en Internet o introduciendo valores definidos por el usuario.

NOTA:La región de concreto confinado se calcula automáticamente por el programa utilizando el grosor de recubrimiento R/C.

Sección de concreto reforzado con esquinas redondeadas - rcrrcs

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de concreto reforzado rectangular para columnas de esquinas redondeadas.



Materiales y Dimensiones

Es posible definir tres tipos diferentes de materiales:

- refuerzolongitudinal
- refuerzotransversal
- concreto

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Altura de la sección. El valor predeterminado es 0.7 m
- Ancho de la sección. El valor predeterminado es 0.6 m
- Radio de r edondeo de las esquinas. El valor predeterminado es 0.1 m
- Espesor de recubrimiento. El valor predeterminado es 0.025 m

Refuerzo

Las barras de refuerzo longitudinales se pueden definir de dos maneras diferentes:

1. Editando el patrón de refuerzo;
2. Ingresando el área respectiva y las coordenadas de la sección (esta última siendo definida en el sistema de coordenadas local de la sección).

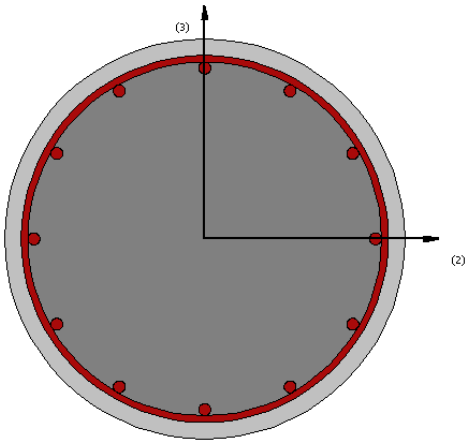
Además, el refuerzo transversal se puede especificar, en términos de estribos diámetros y piernas, así como la distancia entre ellos.También se pueden agregar estribos de romboidales.

Reforzamiento con FRP

El ajuste de FRP puede asignarse seleccionando Envoltura FRP de una lista de los productos más comunes encontrados en Internet o introduciendo valores definidos por el usuario.

Sección circular de concretoreforzado - rccs

Esta sección es habitualmente adoptada para el modelado de columnas circulares de concretoreforzado.



Materiales y Dimensiones

Es posible definir tres tipos diferentes de materiales:

- refuerzolongitudinal
- refuerzotransversal
- concreto

La única dimensión requerida es la siguiente:

- Diámetro de sección. El valor por defecto es 0.6m.
- Espesor de recubrimiento. El valor predeterminado es 0.025 m

Refuerzo

Las barras de armadura pueden ser definidas de dos formas diferentes:

1. utilizando el editor de la armadura, al cual se accede mediante el botón *Editar Esquema Disposición Armadura*, y en el cual es posible especificar un determinado número de barras a colocar en el perímetro de la sección;
2. insertando manualmente el área y las coordenadas seccionales respectivas de cada barra (siendo estas últimas definidas en el sistema de coordenadas local de la sección).

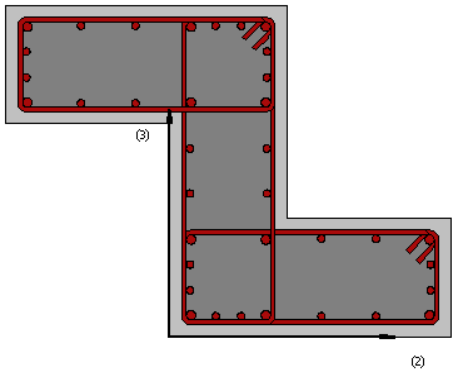
El refuerzo transversal puede ser especificado en términos de diámetros de los estribos y piernas, así como la distancia entre ellos.

Reforzamiento con FRP

Envolturas conFRP puede introducirse seleccionando la envoltura FRP de una lista de los productos más comunes en el mercado, o introduciendo valores definidos por el usuario.

Sección de columna de concreto reforzado en forma de Z - rczcs

Esta sección puede adoptarse para el modelado de columnas de concreto con forma de Z.



Materiales y Dimensiones

Se pueden definir tresmateriales diferentes;

- refuerzolongitudinal
- refuerzotransversal
- concreto.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho de la ala inferior. El valor predeterminado es 0.6 m
- Espesor de la ala inferior. El valor predeterminado es 0.25 m
- Ancho de ala superior. El valor predeterminado es 0.6 m
- Espesor de ala superior. El valor predeterminado es 0.25 m
- Altura del alma. El valor predeterminado es 0.7 m
- Espesor de la ala. El valor predeterminado es 0.25 m
- Espesor del recubrimiento. El valor predeterminado es 0.025 m

Refuerzo

Las barras de refuerzo longitudinales se pueden definir de dos maneras diferentes:

1. Editando el patrón de refuerzo;
2. Ingresando el área respectiva y las coordenadas de la sección (esta última siendo definida en el sistema de coordenadas local de la sección).

Además, el refuerzo transversal se puede especificar, en términos de estribos diámetros y piernas, así como la distancia entre ellos.

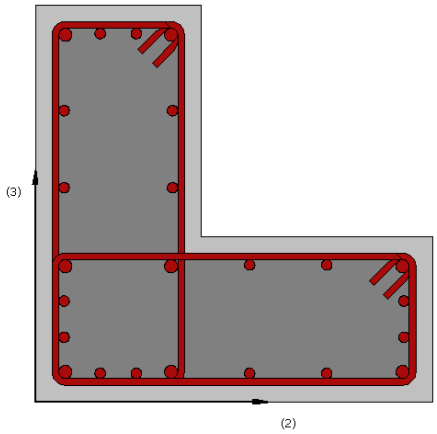
Reforzamiento con FRP

El ajuste de FRP puede asignarse seleccionando Envoltura FRP de una lista de los productos más comunes encontrados en Internet o introduciendo valores definidos por el usuario.

NOTA: La distancia de la varilla d3 se mide desde la parte inferior de la sección.

Sección de concreto reforzado en forma de L – rclcs

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelaje de columnas de concreto reforzado en forma de L.



Materiales y Dimensiones

Se pueden definirtresmateriales:

- refuerzolongitudinal
- refuerzotransversal
- concreto.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho del Lado 1. El valor por defecto es 0.6 m.
- Ancho del Lado 2. El valor por defecto es 0.6 m.
- Espesor del Lado 1. El valor por defecto es 0.25 m.
- Espesor del Lado 1. El valor por defecto es 0.25 m.
- Espesor de Recubrimiento. El valor por defecto es 0.025 m.

Refuerzo

Varillas longitudinales de refuerzo puede definirse de dos maneras distintas:

1. Editando el patrón de reforzamiento;
2. Ingresando el área respectiva y coordenadas de sección (estando las últimas definidas en el sistema local de coordenadas de la sección).

El refuerzo transversal puede ser especificado en términos de diámetros de los estribos y piernas, así como la distancia entre ellos.

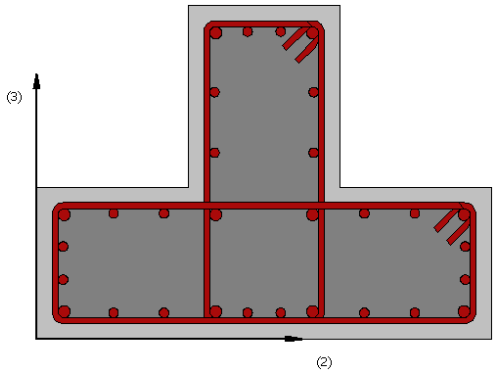
NOTA: La distancia de la varilla d3 se mide desde la parte inferior de la sección.

Reforzamiento con FRP

Envolturas con FRP puede introducirse seleccionando la envoltura FRP de una lista de los productos más comunes en el mercado, o introduciendo valores definidos por el usuario.

Sección de concreto reforzado en forma de T – rctcs

Esta sección se usa frecuentemente para modelar columnas de concreto reforzando en forma de T.



Materiales y Dimensiones

Se pueden definirtres materiales:

- refuerzolongitudinal
- refuerzotransversal
- concreto.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho del Ala. El valor por defecto es 0.75 m.
- Altura del Ala. El valor por defecto es 0.25 m.
- Ancho del alma. El valor por defecto es 0.25 m.
- Altura del alma. El valor por defecto es 0.30 m.
- Espesor de Recubrimiento. El valor por defecto es 0.025 m.

Refuerzo

Varillas longitudinales de refuerzo puede definirse de dos maneras distintas:

1. Editando el patrón de reforzamiento;
2. Ingresando el área respectiva y coordenadas de sección (estando las últimas definidas en el sistema local de coordenadas de la sección).

El refuerzo transversal puede ser especificado en términos de diámetros de los estribos y piernas, así como la distancia entre ellos.

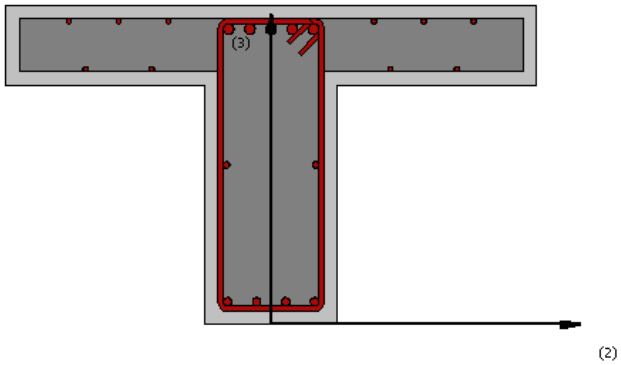
NOTA: La distancia de la varilla d3 se mide desde la parte inferior de la sección.

Reforzamiento con FRP

Envolturas con FRP puede introducirse seleccionando la envoltura FRP de una lista de los productos más comunes en el mercado, o introduciendo valores definidos por el usuario.

Sección T de concreto reforzado - rcts

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelaje de vigas de concreto reforzado, con formas rectangulares, de T o de L (para modelar la sección en forma de L es necesario definir una viga de excentricidad nula, mientras que para las demás los usuarios deben definir valores idénticos para los anchos de losa y viga).



Materiales y Dimensiones

Se pueden definirtresmateriales:

- refuerzolongitudinal
- refuerzotransversal
- concreto.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Alto de Viga. El valor por defecto es 0.6 m.
- Ancho de Viga. El valor por defecto es 0.25 m.
- Ancho efectivo de la Losa. El valor por defecto es 1 m.
- Espesor de Losa 1. El valor por defecto es 0.15 m.
- Espesor de Losa 2. El valor por defecto es 0.15 m.
- Excentricidad de Viga. El valor por defecto es 0.375 m.
- Espesor de recubrimiento. El valor por defecto es 0.025 m.

Refuerzo

Varillas longitudinales de refuerzo puede definirse de dos maneras distintas:

1. Editando el patrón de reforzamiento;
2. Ingresando el área respectiva y coordenadas de sección (estando las últimas definidas en el sistema local de coordenadas de la sección).

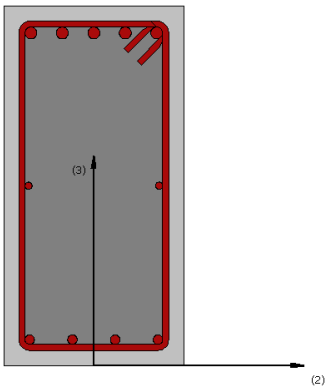
El refuerzo transversal puede ser especificado en términos de diámetros de los estribos y piernas, así como la distancia entre ellos.

NOTA: La distancia de la varilla d3 se mide desde la parte inferior de la sección.

NOTA 2: A partir de la versión 6 es posible definir espesores asimétricos en las alas (ver arriba).

Sección de concreto reforzado rectangular asimétrica – rcars

Esta sección es habitualmente adoptada para el modelado de vigas rectangulares de concreto reforzado.



Materiales y Dimensiones

Es posible definir tres tipos diferentes de materiales:

- refuerzolongitudinal
- refuerzotransversal
- concreto.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Altura sección. El valor por defecto es 0.6 m
- Ancho sección. El valor por defecto es 0.3 m
- Espesor de recubrimiento. El valor por defecto es 0.025 m.

Refuerzo

Varillas longitudinales de refuerzo puede definirse de dos maneras distintas:

1. Editando el patrón de reforzamiento;
2. Ingresando el área respectiva y coordenadas de sección (estando las últimas definidas en el sistema local de coordenadas de la sección).

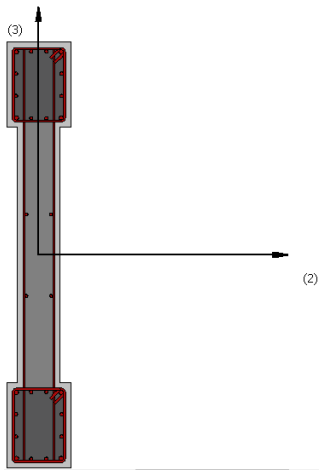
El refuerzo transversal puede ser especificado en términos de diámetros de los estribos y piernas, así como la distancia entre ellos.

NOTA: La distancia de la varilla d3 se mide desde la parte inferior de la sección.

Sección rectangular de muro de concretoreforzado - rcrws

Esta sección puede ser adoptada para el modelado de muros de concretoreforzado de cualquier forma. Es necesario utilizar brazos/vínculos rígidos con dimensiones iguales a la mitad del ancho del muro para conectar el mismo a los miembros estructurales adyacentes, con el fin de que el movimiento de cuerpo rígido del muro y su influencia sobre los elementos estructurales a los que se encuentra conectado sean modelados adecuadamente.

IMPORTANTE: Se recomienda a los usuarios referirse al trabajo de Beyer et al. [2008] por mayores indicaciones sobre este tema, en especial si desean utilizar esta sección transversal para modelar muros en forma de L o U.



Materiales y Dimensiones

Es posible definir tres tipos diferentes de materiales:

- refuerzolongitudinal
- refuerzotransversal
- concreto.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho muro. El valor por defecto es 2 m
- Espesor extremos confinados. El valor por defecto es 0.3 m
- Ancho extremos confinados. El valor por defecto es 0.4 m
- Espesor núcleo de sección. El valor por defecto es 0.2 m
- Espesor de recubrimiento. El valor por defecto es 0.025 m.

Refuerzo

Varillas longitudinales de refuerzo puede definirse de dos maneras distintas:

1. Editando el patrón de reforzamiento;
2. Ingresando el área respectiva y coordenadas de sección (estando las últimas definidas en el sistema local de coordenadas de la sección).

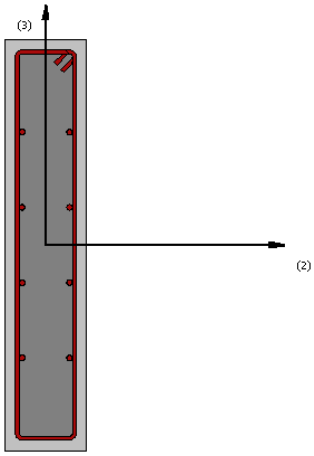
El refuerzo transversal puede ser especificado en términos de diámetros de los estribos y piernas, así como la distancia entre ellos.También se pueden agregar estribos romboidales en los anchos de la sección.

Reforzamiento con FRP

Envolturas con FRP puede introducirse seleccionando la envoltura FRP de una lista de los productos más comunes en el mercado, o introduciendo valores definidos por el usuario.

Sección de muro rectangular de concreto reforzado sin elementos de borde - rcbws

Esta sección puede adoptarse para el modelado de muros rectangulares de concreto reforzado sin elementos de borde.



Materiales y Dimensiones

Se pueden definir tresmateriales diferentes;

- refuerzolongitudinal
- refuerzotransversal
- concreto.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho del muro. El valor predeterminado es 1 m
- Espesor de la sección interna. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor del recubrimiento. El valor predeterminado es 0.025 m

Refuerzo

Las barras de refuerzo longitudinales se pueden definir de dos maneras diferentes:

1. Editando el patrón de refuerzo;
2. Ingresando el área respectiva y las coordenadas de la sección (esta última siendo definida en el sistema de coordenadas local de la sección).

Además, el refuerzo transversal se puede especificar, en términos de estribos diámetros y piernas, así como la distancia entre ellos.

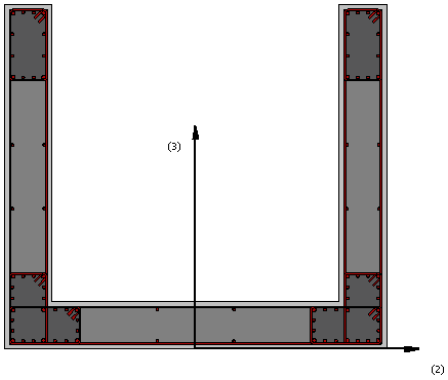
Reforzamiento con FRP

El ajuste de FRP puede asignarse seleccionando Envoltura FRP de una lista de los productos más comunes encontrados en Internet o introduciendo valores definidos por el usuario.

Sección de muro de concretoreforzado en forma de U - rcuws

Esta sección puede ser adoptada en el modelado de muros aislados de concretoreforzado en forma de U, sometidos a cargas sísmicas ortogonales a sus ejes. Si el muro forma parte de un edificio, es necesario introducir brazos/vínculos rígidos apropiados con el fin de modelar adecuadamente el movimiento de cuerpo rígido del muro y su influencia sobre los elementos estructurales a los que se encuentra conectado. Para cargas no ortogonales (es decir, diagonales) se recomienda evitar el uso de esta sección y utilizar, en su lugar, secciones rectangulares de concreto (rcrws, rcrs) apropiadamente ensambladas.

IMPORTANTE: Se recomienda a los usuarios referirse al trabajo de Beyer et al. [2008] por ulteriores indicaciones respecto a este tema.



Materiales y Dimensiones

Es posible definir tres tipos diferentes de materiales:

- refuerzolongitudinal
- refuerzotransversal
- concreto.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho lado posterior. El valor por defecto es 2 m
- Ancho lado 1. El valor por defecto es 1.8 m
- Ancho lado 2. El valor por defecto es 1.8 m
- Espesor lado posterior. El valor por defecto es 0.25 m
- Espesor lado 1. El valor por defecto es 0.25 m
- Espesor lado 2. El valor por defecto es 0.25 m
- Ancho "confinado" extremos lado posterior. El valor por defecto es 0.4 m
- Ancho "confinado" extremos lado 1. El valor por defecto es 0.4 m
- Ancho "confinado" extremos lado 2. El valor por defecto es 0.4 m
- Espesor de Recubrimiento. El valor por defecto es 0.025 m

Refuerzo

Varillas longitudinales de refuerzo puede definirse de dos maneras distintas:

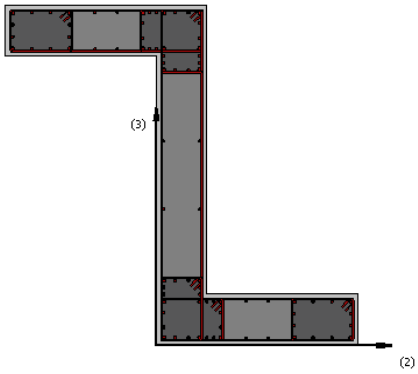
1. Editando el patrón de reforzamiento;
2. Ingresando el área respectiva y coordenadas de sección (estando las últimas definidas en el sistema local de coordenadas de la sección).

El refuerzo transversal puede ser especificado en términos de diámetros de los estribos y piernas, así como la distancia entre ellos.También se pueden agregar estribos romboidales en los anchos confinados rectangulares de la sección.

NOTA: La distancia de la varilla d3 se mide desde la parte inferior de la sección.

Sección de muro de concreto reforzado en forma de Z - rczws

Esta sección puede adoptarse para el modelado de muros de concreto con forma de Z.



Materiales y Dimensiones

Se pueden definir tresmateriales diferentes;

- refuerzolongitudinal
- refuerzotransversal
- concreto.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Altura del alma. El valor predeterminado es 2 m
- Ancho del lado 1 . El valor predeterminado es 1.2 m
- Ancho del lado 2 El valor predeterminado es 1.2 m
- Espesor del alma. El valor predeterminado es 0.3 m
- Espesor del lado 1. El valor predeterminado es 0.3 m
- Espesor del lado 2. El valor predeterminado es 0.3 m
- Ancho de bordes confinados del alma. El valor predeterminado es 0.4 m
- Ancho de los bordes confinados del lado 1. El valor predeterminado es 0.4 m
- Ancho de los bordes confinados del lado 2. El valor predeterminado es 0.4 m
- Espesor de la cubierta. El valor predeterminado es 0.025 m

Refuerzo

Las barras de refuerzo longitudinales se pueden definir de dos maneras diferentes:

1. Editando el patrón de refuerzo;
2. Ingresando el área respectiva y las coordenadas de la sección (esta última siendo definida en el sistema de coordenadas local de la sección).

Además, el refuerzo transversal se puede especificar, en términos de estribos diámetros y piernas, así como la distancia entre ellos.También se pueden agregar estribos romboidales en los anchos confinados rectangulares de la sección.

Importante: La distancia d3 de la barra de refuerzo debe medirse desde la cara inferior de la sección.

Reforzamiento con FRP

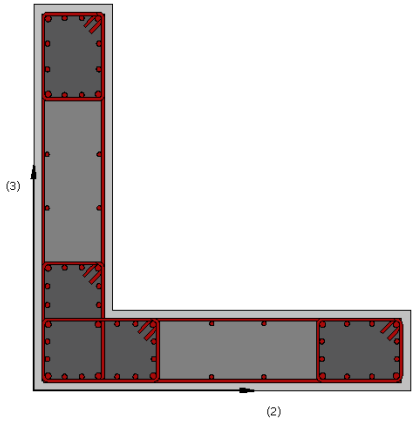
El ajuste de FRP puede asignarse seleccionando Envoltura FRP de una lista de los productos más comunes encontrados en Internet o introduciendo valores definidos por el usuario.

NOTA: La distancia de la varilla d3 se mide desde la parte inferior de la sección.

Sección de muro de concretoreforzado en forma de L - rclws

Esta sección puede ser adoptada en el modelado de muros aislados de concretoreforzado en forma de L, sometidos a cargas sísmicas ortogonales a sus ejes. Si el muro forma parte de un edificio, es necesario introducir brazos/vínculos rígidos apropiados con el fin de modelar adecuadamente el movimiento de cuerpo rígido del muro y su influencia sobre los elementos estructurales a los que se encuentra conectado. Para cargas no ortogonales (es decir, diagonales) se recomienda evitar el uso de esta sección y utilizar, en su lugar, secciones rectangulares de concreto (rcrws, rcrs) apropiadamente ensambladas.

IMPORTANTE: Se recomienda a los usuarios referirse al trabajo de Beyer et al. [2008] por ulteriores indicaciones respecto a este tema.



Materiales y Dimensiones

Es posible definir tres tipos diferentes de materiales:

- refuerzolongitudinal
- refuerzotransversal
- concreto.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho lado 1. El valor por defecto es 1.2 m
- Ancho lado 2. El valor por defecto es 1.2 m
- Espesor lado 1. El valor por defecto es 0.25 m
- Espesor lado 2. El valor por defecto es 0.25 m
- Ancho "confinado" extremo 1. El valor por defecto es 0.4 m
- Ancho "confinado" extremo 2. El valor por defecto es 0.4 m
- Ancho "confinado" 1 de la zona central. El valor por defecto es 0.3 m
- Espesor de Recubrimiento. El valor por defecto es 0.025 m

Refuerzo

Varillas longitudinales de refuerzo puede definirse de dos maneras distintas:

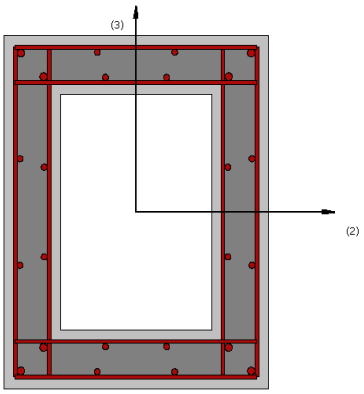
1. Editando el patrón de reforzamiento;
2. Ingresando el área respectiva y coordenadas de sección (estando las últimas definidas en el sistema local de coordenadas de la sección).

El refuerzo transversal puede ser especificado en términos de diámetros de los estribos y piernas, así como la distancia entre ellos.También se pueden agregar estribos romboidales en los anchos confinados rectangulares de la sección.

NOTA: La distancia de la varilla d2 y d3 se miden desde la parte inferior de la sección.

Sección rectangular hueca de concretoreforzado - rcrhs

Esta sección es adoptada frecuentemente para el modelado de pilas rectangulares huecas, en puentes de concretoreforzado.



Materiales y Dimensiones

Es posible definir tres tipos diferentes de materiales:

- refuerzolongitudinal
- refuerzotransversal
- concreto.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Altura externa sección. El valor por defecto es 0.9 m
- Altura interna sección. El valor por defecto es 0.6 m
- Ancho externo sección. El valor por defecto es 0.7 m
- Ancho interno sección. El valor por defecto es 0.4 m
- Espesor de Recubrimiento. El valor por defecto es 0.025 m

Refuerzo

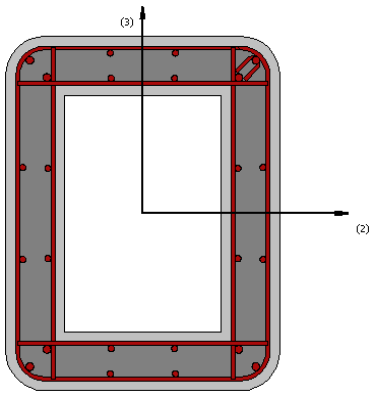
Varillas longitudinales de refuerzo puede definirse de dos maneras distintas:

1. Editando el patrón de reforzamiento;
2. Ingresando el área respectiva y coordenadas de sección (estando las últimas definidas en el sistema local de coordenadas de la sección).

El refuerzo transversal puede ser especificado en términos de diámetros de los estribos y piernas, así como la distancia entre ellos.

Sección de concreto reforzado rectagular hueca con esquinas redondeadas - rcrrchs

Esta sección puede adoptarse para el modelado de secciones de concreto huecas con esquinas redondeadas.



Materiales y Dimensiones

Se pueden definir tresmateriales diferentes;

1. refuerzolongitudinal
2. refuerzotransversal
3. Concreto.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Altura de la sección exterior. El valor predeterminado es 0.9 m
- Altura de la sección interna. El valor predeterminado es 0.6 m
- Ancho de la sección exterior. El valor predeterminado es 0.7 m
- Ancho de la sección interna. El valor predeterminado es 0.4 m
- Radio de las esquinas redondeadas. El valor predeterminado es 0.1 m
- Espesor del recubrimiento. El valor predeterminado es 0.025 m

Refuerzo

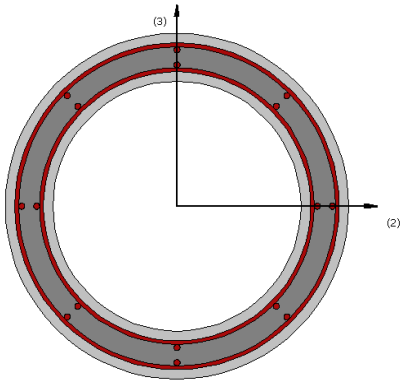
Las barras de refuerzo longitudinales se pueden definir de dos maneras diferentes:

1. Editando el patrón de refuerzo;
2. Ingresando el área respectiva y las coordenadas de la sección (esta última siendo definida en el sistema de coordenadas local de la sección).

Además, el refuerzo transversal se puede especificar, en términos de estribos diámetros y piernas, así como la distancia entre ellos.

Sección circular hueca de concretoreforzado - rcchs

Esta sección es adoptada frecuentemente para el modelado de pilas circulares huecas, en puentes de concretoreforzado.



Materiales y Dimensiones

Es posible definir tres tipos diferentes de materiales:

- Refuerzolongitudinal
- Refuerzotransversal
- Concreto

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Diámetro externo sección. El valor por defecto es 0.9 m
- Diámetro interno sección. El valor por defecto es 0.65 m
- Espesor de Recubrimiento. El valor por defecto es 0.025 m

Refuerzo

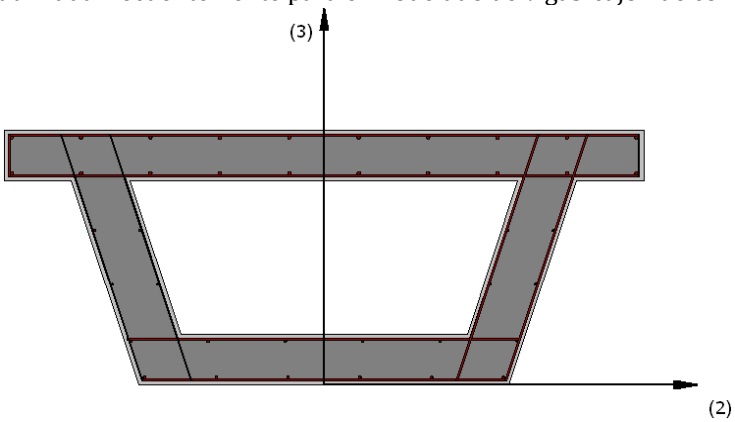
Varillas longitudinales de refuerzo puede definirse de dos maneras distintas:

1. Editando el patrón de reforzamiento;
2. Ingresando el área respectiva y coordenadas de sección (estando las últimas definidas en el sistema local de coordenadas de la sección).

El refuerzo transversal puede ser especificado en términos de diámetros de los estribos y piernas, así como la distancia entre ellos.

Sección de viga cajón de concretoreforzado - rcbgs

Esta sección es utilizada frecuentemente para el modelado de vigas-cajón de concretoreforzado.



Materiales y Dimensiones

Es posible definir tres tipos diferentes de materiales:

- Refuerzolongitudinal
- Refuerzotransversal
- Concreto

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Altura bajo alas. El valor por defecto es 1.2 m
- Ancho superior. El valor por defecto es 3 m
- Ancho inferior. El valor por defecto es 2.2 m
- Espesor alma. El valor por defecto es 0.35 mm
- Espesor parte superior. El valor por defecto es 0.3 m
- Espesor parte inferior. El valor por defecto es 0.3 m
- Ancho alas. El valor por defecto es 0.4 m
- Altura alas. El valor por defecto es 0.3 m

- Espesor de Recubrimiento. El valor por defecto es 0.025 m

Refuerzo

Varillas longitudinales de refuerzo puede definirse de dos maneras distintas:

1. Editando el patrón de reforzamiento;
2. Ingresando el área respectiva y coordenadas de sección (estando las últimas definidas en el sistema local de coordenadas de la sección).

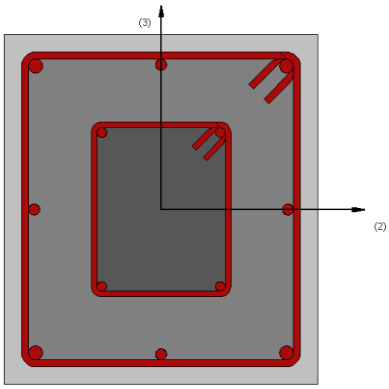
El refuerzo transversal puede ser especificado en términos de diámetros de los estribos y piernas, así como la distancia entre ellos.

NOTA: La distancia de la varilla d3 se mide desde la parte inferior de la sección.

SECCIONES DE CONCRETO REFORZADO ENCAMISADO

Sección rectangular encamisada de concreto reforzado - rcjrs

Esta sección es adoptada frecuentemente para el modelado de columnas rectangulares que han sido reforzadas mediante un encamisado de concreto (también es posible definir encamisados de acero o FRP, haciendo uso de estos materiales). En ella, es posible definir distintos niveles de confinamiento para el concreto interno (pre-existente) y externo (nuevo).



Materiales y Dimensiones

Es posible definir seistipos de materiales diferentes:

- Armadura longitudinal de recubrimiento
- Armadura transversal de recubrimiento
- Armadura longitudinal del encamisado
- Armadura transversal del encamisado
- concreto de recubrimiento,
- concreto del núcleo.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Altura externa. El valor por defecto es 0.5 m
- Altura interna. El valor por defecto es 0.25 m
- Ancho externo. El valor por defecto es 0.45 m
- Ancho interno. El valor por defecto es 0.2 m
- Espesor de Recubrimiento. El valor por defecto es 0.025 m

Refuerzo

Varillas longitudinales de refuerzo puede definirse de dos maneras distintas:

1. Editando el patrón de reforzamiento;
2. Ingresando el área respectiva y coordenadas de sección (estando las últimas definidas en el sistema local de coordenadas de la sección).

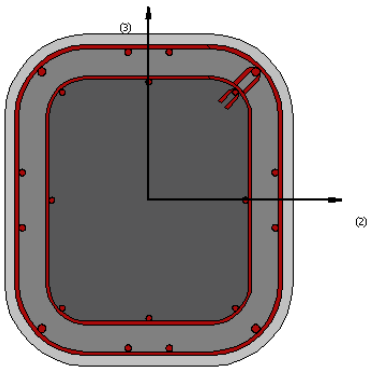
El refuerzo transversal puede ser especificado en términos de diámetros de los estribos y piernas, así como la distancia entre ellos.También se pueden agregar estribos romboidales.

Reforzamiento con FRP

Envolturas con FRP puede introducirse seleccionando la envoltura FRP de una lista de los productos más comunes en el mercado, o introduciendo valores definidos por el usuario.

Sección de concreto encamisado reforzado rectangular con esquinas redondeadas - rcjrrcs

Esta es una sección adoptada con frecuencia para el modelado de columnas rectangulares con esquinas que han sido retroadaptadas mediante revestimiento de concreto reforzado (la envoltura de acero o FRP se puede modelar utilizando las secciones RC existentes). La posibilidad de definir diferentes niveles de confinamiento para la sección interna (preexistente) y la externa (nueva) está disponible.



Materiales y Dimensiones

Es posible definir seis tipos de materiales diferentes:

- Armadura longitudinal de recubrimiento
- Armadura transversal de recubrimiento
- Armadura longitudinal del encamisado
- Armadura transversal del encamisado
- concreto de recubrimiento,
- concreto del núcleo.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Altura externa. El valor predeterminado es 0.8 m
- Ancho externo. El valor predeterminado es 0.7 m
- Radio de esquina de redondeo interno. El valor predeterminado es 0.12 m
- Espesor del encamisado. El valor predeterminado es 0.1 m
- Espesor de recubrimiento. El valor predeterminado es 0.025 m

Refuerzo

Las barras de refuerzo longitudinales se pueden definir de dos maneras diferentes:

1. Editando el patrón de refuerzo;
2. Ingresando el área respectiva y las coordenadas de la sección (esta última siendo definida en el sistema de coordenadas local de la sección).

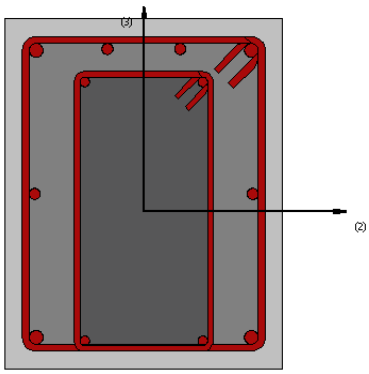
Además, el refuerzo transversal se puede especificar, en términos de estribos diámetros y piernas, así como la distancia entre ellos.También se pueden agregar estribos romboidales.

Reforzamiento con FRP

El ajuste de FRP puede asignarse seleccionando Envoltura FRP de una lista de los productos más comunes encontrados en Internet o introduciendo valores definidos por el usuario.

Sección de concreto encamisado en 3 lados - rcjrs3

Esta es una sección adoptada con frecuencia para el modelado de columnas rectangulares que se han readaptado en tres lados mediante revestimiento de concreto reforzado (la envoltura de acero o FRP se puede modelar utilizando las secciones RC existentes). Se encuentra disponible la posibilidad de definir diferentes niveles de confinamiento para los materiales de concreto internos (preexistentes) y externos (nuevos).



Materiales y Dimensiones

- Se pueden definir seismateriales diferentes:Armadura longitudinal de recubrimiento
- Armadura transversal de recubrimiento
- Armadura longitudinal del encamisado
- Armadura transversal del encamisado
- concreto de recubrimiento,
- concreto del núcleo.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Altura externa. El valor predeterminado es 0.5 m
- Altura interna. El valor predeterminado es 0.4 m
- Ancho externo. El valor predeterminado es 0.4 m
- Ancho interno. El valor predeterminado es 0.2 m
- Espesor de la cubierta. El valor predeterminado es 0.025 m

Refuerzo

Las barras de refuerzo longitudinales se pueden definir de dos maneras diferentes:

1. Editando el patrón de refuerzo;
2. Ingresando el área respectiva y las coordenadas de la sección (esta última siendo definida en el sistema de coordenadas local de la sección).

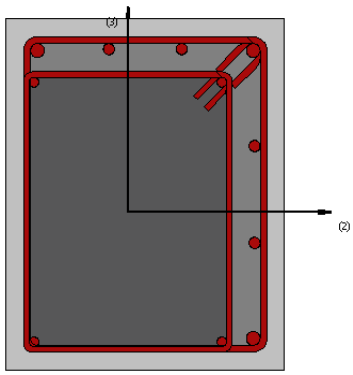
Además, el refuerzo transversal se puede especificar, en términos de estribos diámetros y piernas, así como la distancia entre ellos.También se pueden agregar estribos romboidales.

Reforzamiento con FRP

El ajuste de FRP puede asignarse seleccionando Envoltura FRP de una lista de los productos más comunes encontrados en Internet o introduciendo valores definidos por el usuario.

Sección de concreto encamisado en 2 lados - rcjrs2

Esta es una sección adoptada con frecuencia para el modelado de columnas rectangulares que se han readaptado en dos lados mediante revestimiento de concreto reforzado (la envoltura de acero o FRP se puede modelar utilizando las secciones RC existentes). Se encuentra disponible la posibilidad de definir diferentes niveles de confinamiento para los materiales de concreto internos (preexistentes) y externos (nuevos).



Materiales y Dimensiones

- Se pueden definir seismateriales diferentes:Armadura longitudinal de recubrimiento
- Armadura transversal de recubrimiento
- Armadura longitudinal del encamisado
- Armadura transversal del encamisado
- concreto de recubrimiento,
- concreto del núcleo.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Altura externa. El valor predeterminado es 0.5 m
- Altura interna. El valor predeterminado es 0.4 m
- Ancho externo. El valor predeterminado es 0.4 m
- Ancho interno. El valor predeterminado es 0.3 m
- Espesor de la cubierta. El valor predeterminado es 0.025 m

Refuerzo

Las barras de refuerzo longitudinales se pueden definir de dos maneras diferentes:

1. Editando el patrón de refuerzo;
2. Ingresando el área respectiva y las coordenadas de la sección (esta última siendo definida en el sistema de coordenadas local de la sección).

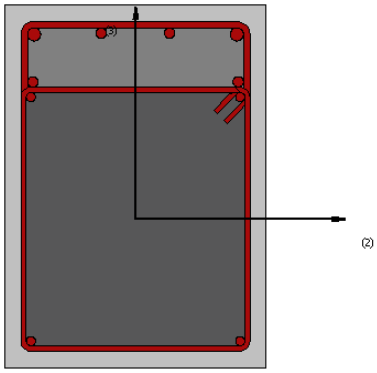
Además, el refuerzo transversal se puede especificar, en términos de estribos diámetros y piernas, así como la distancia entre ellos.También se pueden agregar estribos romboidales.

Reforzamiento con FRP

El ajuste de FRP puede asignarse seleccionando Envoltura FRP de una lista de los productos más comunes encontrados en Internet o introduciendo valores definidos por el usuario.

Sección de concreto encamisado en 1 lado - rcjrs1

Esta es una sección adoptada con frecuencia para el modelado de columnas rectangulares que se han readaptado en un lado mediante revestimiento de concreto reforzado (la envoltura de acero o FRP se puede modelar utilizando las secciones RC existentes). Se encuentra disponible la posibilidad de definir diferentes niveles de confinamiento para los materiales de concreto internos (preexistentes) y externos (nuevos).



Materiales y Dimensiones

Se pueden definir seismateriales diferentes:

- Armadura longitudinal de recubrimiento
- Armadura transversal de recubrimiento
- Armadura longitudinal del encamisado
- Armadura transversal del encamisado
- concreto de recubrimiento,
- concreto del encamisado,
- concreto del núcleo.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Altura externa. El valor predeterminado es 0.55 m
- Altura interna. El valor predeterminado es 0.4 m
- Ancho de sección. El valor predeterminado es 0.4 m
- Espesor de recubrimiento. El valor predeterminado es 0.025 m

Refuerzo

Las barras de refuerzo longitudinales se pueden definir de dos maneras diferentes:

1. Editando el patrón de refuerzo;
2. Ingresando el área respectiva y las coordenadas de la sección (esta última siendo definida en el sistema de coordenadas local de la sección).

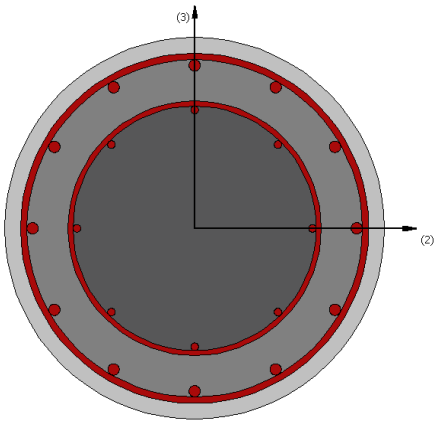
Además, el refuerzo transversal se puede especificar, en términos de estribos diámetros y piernas, así como la distancia entre ellos.También se pueden agregar estribos romboidales.

Reforzamiento con FRP

El ajuste de FRP puede asignarse seleccionando Envoltura FRP de una lista de los productos más comunes encontrados en Internet o introduciendo valores definidos por el usuario.

Sección Circular de Concreto Reforzado Encamisado - rcjcs

Esta sección se usa habitualmente para modelar columnas que han sido reforzadas mediante el encamisado del concreto (acero- o envolturas con FRP usando secciones existentes de concreto reforzado). La posibilidad de definir diferentes niveles de confinamiento por medio de materiales de concreto interno (ya existente) y externo (nuevo) está disponible.



Materiales y Dimensiones

Es posible definir seistipos de materiales diferentes:

- Armadura longitudinal de recubrimiento
- Armadura transversal de recubrimiento
- Armadura longitudinal del encamisado
- Armadura transversal del encamisado
- concreto de recubrimiento,
- concreto del núcleo.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Diámetro externo. El valor por defecto es 0.6 m
- Diámetro interno. El valor por defecto es 0.4 m
- Espesor de Recubrimiento. El valor por defecto es 0.025 m

Refuerzo

Varillas longitudinales de refuerzo puede definirse de dos maneras distintas:

1. Editando el patrón de reforzamiento;
2. Ingresando el área respectiva y coordenadas de sección (estando las últimas definidas en el sistema local de coordenadas de la sección).

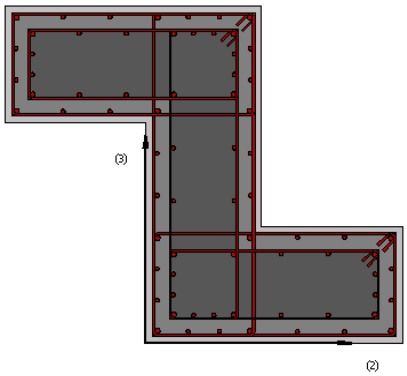
El refuerzo transversal puede ser especificado en términos de diámetros de los estribos y piernas, así como la distancia entre ellos.

Reforzamiento con FRP

Envolturas con FRP puede introducirse seleccionando la envoltura FRP de una lista de los productos más comunes en el mercado, o introduciendo valores definidos por el usuario.

Sección de concreto encamisado en forma de Z - rcjzcs

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de columnas en forma de Z que se han readaptado con encamisado de concreto reforzado (la envoltura de acero o FRP se puede modelar utilizando las secciones RC existentes). Se encuentra disponible la posibilidad de definir diferentes niveles de confinamiento para los materiales de concreto internos (preexistentes) y externos (nuevos).



Materiales y Dimensiones

Se pueden definir seismateriales diferentes;

- Armadura longitudinal de recubrimiento
- Armadura transversal de recubrimiento
- Armadura longitudinal del encamisado
- Armadura transversal del encamisado
- camisa de concreto,
- núcleo de concreto.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho del ala inferior. El valor predeterminado es de 1 m
- Espesor del ala inferior. El valor predeterminado es 0.45 m
- Ancho de ala superior. El valor predeterminado es 1 m
- Espesor de brida superior. El valor predeterminado es 0.45 m
- Altura del alma. El valor predeterminado es 1.3 m
- Espesor del alma. El valor predeterminado es 0.45 m
- Espesor del encamisado. El valor predeterminado es 0.1 m
- Espesor del recubrimiento. El valor predeterminado es 0.025 m

Refuerzo

Las barras de refuerzo longitudinales se pueden definir de dos maneras diferentes:

1. Editando el patrón de refuerzo;
2. Ingresando el área respectiva y las coordenadas de la sección (esta última siendo definida en el sistema de coordenadas local de la sección).

Además, el refuerzo transversal se puede especificar, en términos de estribos diámetros y piernas, así como la distancia entre ellos.

Reforzamiento con FRP

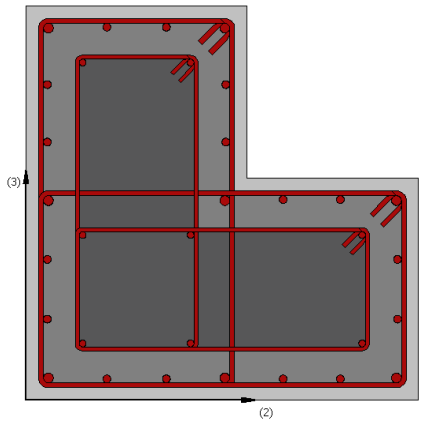
El ajuste de FRP puede asignarse seleccionando Envoltura FRP de una lista de los productos más comunes encontrados en Internet o introduciendo valores definidos por el usuario.

NOTA: La distancia de la varilla d3 se mide desde la parte inferior de la sección.

Sección de columna encamisada de concreto reforzado en forma de L - rcjlcs

Esta sección se adopta habitualmente para modelar columnas en forma de L de concreto reforzado que han sido reforzadas por medio del encamisado del concreto (acero- o envolturas con FRP usando secciones existentes de concreto reforzado). La posibilidad de definir diferentes niveles de

confinamiento por medio de materiales de concreto interno (ya existente) y externo (nuevo) está disponible.



Materiales y Dimensiones

Es posible definir seistipos de materiales diferentes:

- Armadura longitudinal de recubrimiento
- Armadura transversal de recubrimiento
- Armadura longitudinal del encamisado
- Armadura transversal del encamisado
- concreto de recubrimiento,
- concreto del núcleo.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho del Lado 1. El valor por defecto es 0.8 m.
- Ancho del Lado 2. El valor por defecto es 0.8 m.
- Espesor del Lado 1. El valor por defecto es 0.45 m.
- Espesor del Lado 1. El valor por defecto es 0.45 m.
- Espesor del Encamisado. El valor por defecto es 0.1 m.
- Espesor de Recubrimiento. El valor por defecto es 0.025 m.

Refuerzo

Varillas longitudinales de refuerzo puede definirse de dos maneras distintas:

1. Editando el patrón de reforzamiento;
2. Ingresando el área respectiva y coordenadas de sección (estando las últimas definidas en el sistema local de coordenadas de la sección).

El refuerzo transversal puede ser especificado en términos de diámetros de los estribos y piernas, así como la distancia entre ellos.

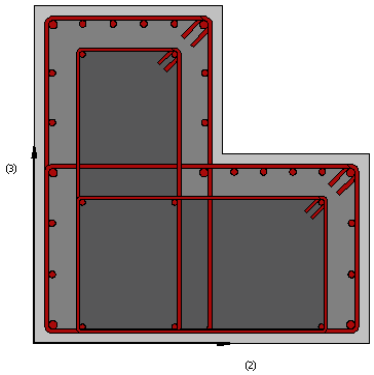
NOTA: La distancia de la varilla d2 y d3 se miden desde la parte inferior de la sección.

Reforzamiento con FRP

Envolturas con FRP puede introducirse seleccionando la envoltura FRP de una lista de los productos más comunes en el mercado, o introduciendo valores definidos por el usuario.

Sección de concreto encamisado en 3 lados en forma de L - rcjlcs3

Esta es una sección adoptada con frecuencia para el modelado de columnas en forma de L que se han readaptado en tres lados mediante revestimiento de concreto reforzado (la envoltura de acero o FRP se puede modelar utilizando las secciones RC existentes). Se encuentra disponible la posibilidad de definir diferentes niveles de confinamiento para los materiales de concreto internos (preexistentes) y externos (nuevos).



Materiales y Dimensiones

Se pueden definir seismateriales diferentes;

- Armadura longitudinal de recubrimiento
- Armadura transversal de recubrimiento
- Armadura longitudinal del encamisado
- Armadura transversal del encamisado
- camisa de concreto,
- núcleo de concreto.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Lado 1 ancho. El valor predeterminado es 0.8 m
- Ancho del lado 2 El valor predeterminado es 0.8 m
- Lado 1 espesor. El valor predeterminado es 0.45 m
- Lado 2 espesor. El valor predeterminado es 0.45 m
- Espesor de la chaqueta El valor predeterminado es 0.1 m
- Espesor de la cubierta El valor predeterminado es 0.025 m

Refuerzo

Las barras de refuerzo longitudinales se pueden definir de dos maneras diferentes:

1. Editando el patrón de refuerzo;
2. Ingresando el área respectiva y las coordenadas de la sección (esta última siendo definida en el sistema de coordenadas local de la sección).

Además, el refuerzo transversal se puede especificar, en términos de estribos diámetros y piernas, así como la distancia entre ellos.

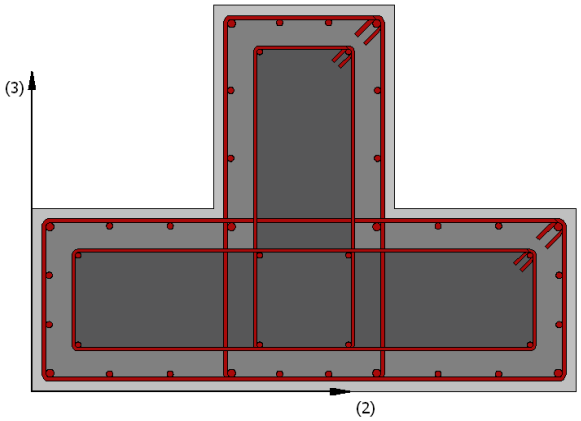
NOTA: La distancia de la varilla d2 y d3 se miden desde la parte inferior de la sección.

Reforzamiento con FRP

El ajuste de FRP puede asignarse seleccionando Envoltura FRP de una lista de los productos más comunes encontrados en Internet o introduciendo valores definidos por el usuario.

Sección de columna encamisada de concreto reforzado en forma de T - rcjtcs

Esta sección se adopta habitualmente para modelar columnas en forma de T de concreto reforzado que han sido reforzadas por medio del encamisado del concreto (acero- o envolturas con FRP usando secciones existentes de concreto reforzado). La posibilidad de definir diferentes niveles de confinamiento por medio de materiales de concreto interno (ya existente) y externo (nuevo) está disponible.



Materiales y Dimensiones

Pueden definirse seismateriales diferentes:

- Armadura longitudinal de recubrimiento
- Armadura transversal de recubrimiento
- Armadura longitudinal del encamisado
- Armadura transversal del encamisado
- Concreto de Camisa
- Concreto de Núcleo

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho del Ala. El valor por defecto es 1.35 m.
- Altura del Ala. El valor por defecto es 0.45m.
- Ancho del alma. El valor por defecto es 0.45 m.
- Altura del alma. El valor por defecto es 0.5 m.
- Excentricidad del Alma. El valor por defecto es 0.45 m.
- Espesor del encamisado. El valor por defecto es 0.1 m.
- Espesor de Recubrimiento. El valor por defecto es 0.025 m.

Refuerzo

Varillas longitudinales de refuerzo puede definirse de dos maneras distintas:

1. Editando el patrón de reforzamiento;
2. Ingresando el área respectiva y coordenadas de sección (estando las últimas definidas en el sistema local de coordenadas de la sección).

El refuerzo transversal puede ser especificado en términos de diámetros de los estribos y piernas, así como la distancia entre ellos.

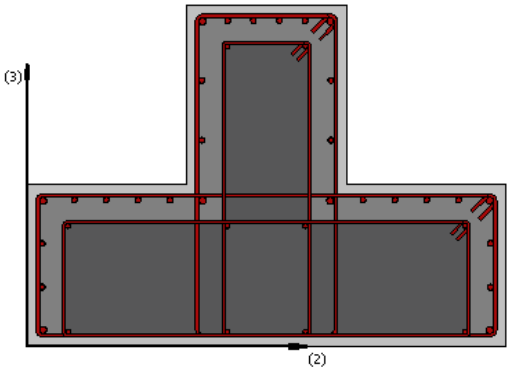
NOTA: La distancia de la varilla d2 y d3 se miden desde la parte inferior de la sección.

Reforzamiento con FRP

Envolturas con FRP puede introducirse seleccionando la envoltura FRP de una lista de los productos más comunes en el mercado, o introduciendo valores definidos por el usuario.

Sección de concreto encamisado en 3 lados en forma de T - rcjtcs3

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de columnas en forma de T que se han readaptado en tres lados mediante revestimiento de concreto reforzado (la envoltura de acero o FRP se puede modelar utilizando las secciones RC existentes). Se encuentra disponible la posibilidad de definir diferentes niveles de confinamiento para los materiales de concreto internos (preexistentes) y externos (nuevos).



Materiales y Dimensiones

Se pueden definir seismateriales diferentes;

- Armadura longitudinal de recubrimiento
- Armadura transversal de recubrimiento
- Armadura longitudinal del encamisado
- Armadura transversal del encamisado
- concreto de camisa,
- concreto de núcleo.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Espesor de recubrimiento. El valor predeterminado es 0.025 m
- Ancho de ala. El valor predeterminado es 1.35 m
- Altura de ala. El valor predeterminado es 0.45 m
- Ancho del alma. El valor predeterminado es 0.45 m
- Altura del alma. El valor predeterminado es 0.5 m
- Excentricidad del alma. El valor predeterminado es 0.45 m
- Espesor del encamisado. El valor predeterminado es 0.1 m
- Espesor del encamisdo. El valor predeterminado es 0.025 m

Refuerzo

Las barras de refuerzo longitudinales se pueden definir de dos maneras diferentes:

1. Editando el patrón de refuerzo;
2. Ingresando el área respectiva y las coordenadas de la sección (esta última siendo definida en el sistema de coordenadas local de la sección).

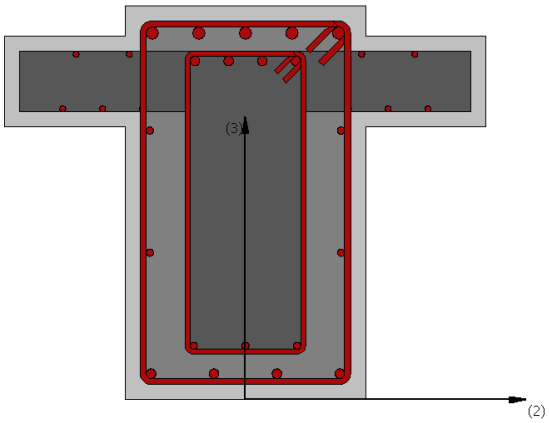
Además, el refuerzo transversal se puede especificar, en términos de estribos diámetros y piernas, así como la distancia entre ellos.

Reforzamiento con FRP

El ajuste de FRP puede asignarse seleccionando Envoltura FRP de una lista de los productos más comunes encontrados en Internet o introduciendo valores definidos por el usuario.

Sección encamisada de concreto reforzado en forma de T - rcjts

Esta sección se adopta habitualmente para modelar columnas en forma de L, T o de forma rectangular de concreto reforzado (para modelar la sección en forma de L es necesario definir una viga de excentricidad nula, mientras que para las demás los usuarios deben definir valores idénticos para los anchos de losa y viga) que han sido reforzadas por medio del encamisado del concreto (acero- o envolturas con FRP usando secciones existentes de concreto reforzado). La posibilidad de definir diferentes niveles de confinamiento por medio de materiales de concreto interno (ya existente) y externo (nuevo) está disponible.



Materiales y Dimensiones

Pueden definirse seismateriales diferentes:

- Armadura longitudinal de recubrimiento
- Armadura transversal de recubrimiento
- Armadura longitudinal del encamisado
- Armadura transversal del encamisado
- Concreto de Camisa,
- Concreto de Núcleo.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Altura de Viga Externa. El valor por defecto es 0.65m.
- Ancho de Viga Externa. El valor por defecto es 0.4 m.
- Altura de Losa Externa. El valor por defecto es 0.05 m.
- Altura de Viga Interna. El valor por defecto es 0.5m.
- Ancho de Viga Interna. El valor por defecto es 0.2 m.
- Ancho de Efectivo de Losa. El valor por defecto es 0.8 m.
- Espesor de Losa 1. El valor por defecto es 0.15 m.
- Espesor de Losa2. El valor por defecto es 0.15 m
- Excentricidad de la Viga. El valor por defecto es 0.3 m
- Espesor de Recubrimiento. El valor por defecto es 0.025 m

Refuerzo

Varillas longitudinales de refuerzo puede definirse de dos maneras distintas:

1. Editando el patrón de reforzamiento;
2. Ingresando el área respectiva y coordenadas de sección (estando las últimas definidas en el sistema local de coordenadas de la sección).

El refuerzo transversal puede ser especificado en términos de diámetros de los estribos y piernas, así como la distancia entre ellos.

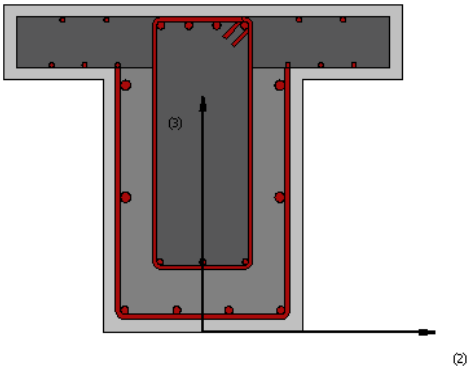
Reforzamiento con FRP

Envolturas con FRP puede introducirse seleccionando la envoltura FRP de una lista de los productos más comunes en el mercado, o introduciendo valores definidos por el usuario.

NOTA: La distancia de la varilla d3 se mide desde la parte inferior de la sección.

Sección de concreto encamisado en 3 lados en forma de T - rcjts3

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de vigas de concreto reforzado, con formas T, L o rectangulares (para modelar la sección en L es necesario definir una excentricidad nula en la viga, mientras que para modelar estos últimos, los usuarios deben definir valores idénticos para anchuras de losas y vigas) que se han readaptado en un lado mediante revestimiento de concreto reforzado (envoltura de acero o FRP se puede modelar utilizando el secciones RC existentes). Se encuentra disponible la posibilidad de definir diferentes niveles de confinamiento para los materiales de concreto internos (preexistentes) y externos (nuevos).



Materiales y Dimensiones

Se pueden definir seismateriales diferentes;

- Armadura longitudinal de recubrimiento
- Armadura transversal de recubrimiento
- Armadura longitudinal del encamisado
- Armadura transversal del encamisado
- Concreto de camisa,
- Concreto de núcleo.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Altura de la viga externa. El valor predeterminado es 0.65 m
- Ancho de la viga externa. El valor predeterminado es 0.4 m
- Altura de la viga interna. El valor predeterminado es 0.5 m
- Ancho de la viga interna. El valor predeterminado es 0.2 m
- Ancho efectivo de losa. El valor predeterminado es 0,8 m
- Espesor de losa 1. El valor predeterminado es 0.15 m
- Espesor de losa 2. El valor predeterminado es 0.15 m
- Excentricidad de la viga El valor predeterminado es 0.3 m
- Espesor del recubrimiento. El valor predeterminado es 0.025 m

Refuerzo

Las barras de refuerzo longitudinales se pueden definir de dos maneras diferentes:

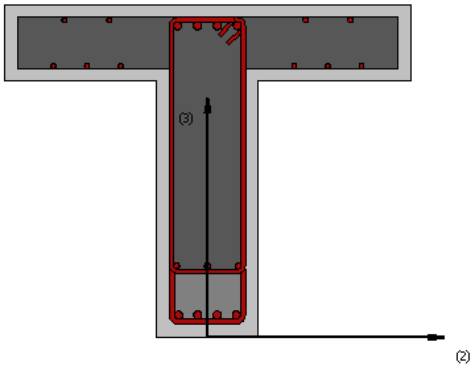
1. Editando el patrón de refuerzo;
2. Ingresando el área respectiva y las coordenadas de la sección (esta última siendo definida en el sistema de coordenadas local de la sección).

Además, el refuerzo transversal se puede especificar, en términos de estribos diámetros y piernas, así como la distancia entre ellos.

NOTA: La distancia de la varilla d3 se mide desde la parte inferior de la sección.

Sección de concreto encamisado en 1 lado en forma de T - rcjts1

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de vigas de concreto reforzado, con formas T, L o rectangulares (para modelar la sección en L es necesario definir una excentricidad nula en la viga, mientras que para modelar estos últimos, los usuarios deben definir valores idénticos para anchuras de losas y vigas) que se han readaptado en un lado mediante revestimiento de concreto reforzado (envoltura de acero o FRP se puede modelar utilizando el secciones RC existentes). Se encuentra disponible la posibilidad de definir diferentes niveles de confinamiento para los materiales de concreto internos (preexistentes) y externos (nuevos).



Materiales y Dimensiones

Se pueden definir seismateriales diferentes:

- Armadura longitudinal de recubrimiento
- Armadura transversal de recubrimiento
- Armadura longitudinal del encamisado
- Armadura transversal del encamisado
- Concreto de camisa
- Concreto de núcleo

; refuerzo externo, refuerzo interno, camisa de concreto, núcleo de concreto.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Espesor del recubrimiento. El valor predeterminado es 0.025 m
- Altura externa de la viga. El valor predeterminado es 0.65 m
- Altura interna de la viga. El valor predeterminado es 0.5 m
- Ancho de la viga El valor predeterminado es 0.2 m
- Ancho efectivo de losa. El valor predeterminado es 0,8 m
- Espesor de losa 1. El valor predeterminado es 0.15 m

- Espesor de losa 2. El valor predeterminado es 0.15 m
- Excentricidad de la viga. El valor predeterminado es 0.3 m
- Espesor del recubrimiento. El valor predeterminado es 0.025 m

Refuerzo

Las barras de refuerzo longitudinales se pueden definir de dos maneras diferentes:

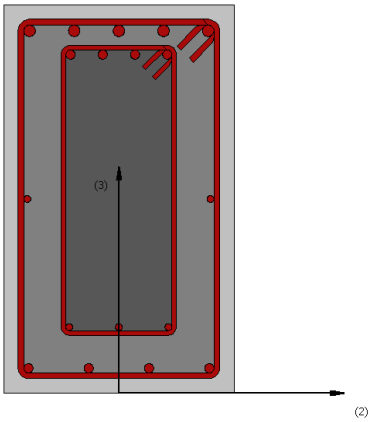
1. Editando el patrón de refuerzo;
2. Ingresando el área respectiva y las coordenadas de la sección (esta última siendo definida en el sistema de coordenadas local de la sección).

Además, el refuerzo transversal se puede especificar, en términos de estribos diámetros y piernas, así como la distancia entre ellos.

NOTA: La distancia de la varilla d3 se mide desde la parte inferior de la sección.

Sección encamisada de concreto reforzado asimétrica - rcjars

Esta sección se adopta habitualmente para modelar vigas de concreto reforzado rectangulares que han sido reforzadas por medio del encamisado del concreto (acero- o envolturas con FRP usando secciones existentes de concreto reforzado). La posibilidad de definir diferentes niveles de confinamiento por medio de materiales de concreto interno (ya existente) y externo (nuevo) está disponible.



Materiales y Dimensiones

Pueden definirse seis materiales diferentes:

- Armadura longitudinal de recubrimiento
- Armadura transversal de recubrimiento
- Armadura longitudinal del encamisado
- Armadura transversal del encamisado
- Concreto de camisa
- Concreto de núcleo

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Altura externa. El valor por defecto es 0.67 m
- Ancho externo. El valor por defecto es 0.4 m
- Espesor del ala externa superior. El valor por defecto es 0.07 m
- Altura interna. El valor por defecto es 0.5 m
- Ancho interna. El valor por defecto es 0.2 m
- Espesor de Recubrimiento. El valor por defecto es 0.025 m

Refuerzo

Varillas longitudinales de refuerzo puede definirse de dos maneras distintas:

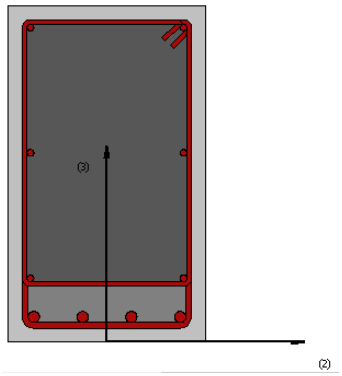
1. Editando el patrón de reforzamiento;
2. Ingresando el área respectiva y coordenadas de sección (estando las últimas definidas en el sistema local de coordenadas de la sección).

El refuerzo transversal puede ser especificado en términos de diámetros de los estribos y piernas, así como la distancia entre ellos.

NOTA: La distancia de la varilla d3 se mide desde la parte inferior de la sección.

Sección asimétrica de concreto encamisado en 1 lado - rcjars1

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de vigas rectangulares de concreto reforzado que han sido retroadaptadas en un lado por medio de una envoltura de concreto reforzado (la envoltura de acero o FRP se puede modelar usando las secciones RC existentes). Se encuentra disponible la posibilidad de definir diferentes niveles de confinamiento para los materiales de concreto internos (preexistentes) y externos (nuevos).



Materiales y Dimensiones

Se pueden definir seismateriales diferentes;

- Armadura longitudinal de recubrimiento
- Armadura transversal de recubrimiento
- Armadura longitudinal del encamisado
- Armadura transversal del encamisado
- Concreto de camisa,
- Concreto de núcleo.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Altura externa. El valor predeterminado es 0.6 m
- Altura interna. El valor predeterminado es 0.5 m
- Ancho de la sección. El valor predeterminado es 0.35 m
- Espesor de recubrimiento. El valor predeterminado es 0.025 m

Refuerzo

Las barras de refuerzo longitudinales se pueden definir de dos maneras diferentes:

1. Editando el patrón de refuerzo;

2. Ingresando el área respectiva y las coordenadas de la sección (esta última siendo definida en el sistema de coordenadas local de la sección).

Además, el refuerzo transversal se puede especificar, en términos de estribos diámetros y piernas, así como la distancia entre ellos.

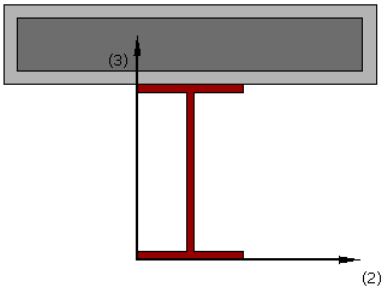
NOTA: La distancia de la varilla d3 se mide desde la parte inferior de la sección.

SECCIONES COMPUESTAS

Sección doble-T compuesta - cpis

Esta sección es utilizada frecuentemente para el modelado de vigas compuestas simplemente apoyadas.

NOTA: La armadura de la losa de hormigón no es modelada, por lo que la sección presentará una capacidad a momento negativo reducida.



Materiales y Dimensiones

Es posible definir dos materiales diferentes:

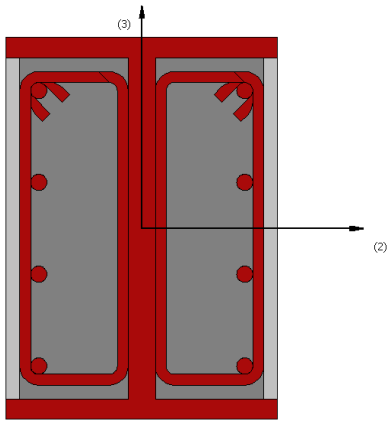
- acero para el perfil,
- concreto

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho ala inferior. El valor por defecto es 0.1 m
- Espesor ala inferior. El valor por defecto es 0.01 m
- Ancho ala superior. El valor por defecto es 0.2 m
- Espesor ala superior. El valor por defecto es 0.015 m
- Altura alma. El valor por defecto es 0.3 m
- Espesor alma. El valor por defecto es 0.015 m
- Ancho efectivo losa. El valor por defecto es 1 m
- Ancho confinado en la losa. El valor por defecto es 0.95 m
- Espesor de losa. El valor por defecto es 0.15 m
- Espesor confinado en la losa. El valor por defecto es 0.1 m
- Espesor de Recubrimiento. El valor por defecto es 0.025 m

Sección doble-T compuesta parcialmente revestida - pecs

Esta sección es adoptada frecuentemente para el modelado de columnas compuestas.



Materiales y Dimensiones

Es posible definir cuatromateriales diferentes:

- Refuerzo longitudinal
- Refuerzo transversal
- Perfil de acero,
- Concreto.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho ala. El valor por defecto es 0.2 m
- Espesor ala. El valor por defecto es 0.015 m
- Altura alma. El valor por defecto es 0.25 m
- Espesor alma. El valor por defecto es 0.02 m
- Espesor de concreto no confinado. El valor por defecto es 0.01 m

Refuerzo

Varillas longitudinales de refuerzo puede definirse de dos maneras distintas:

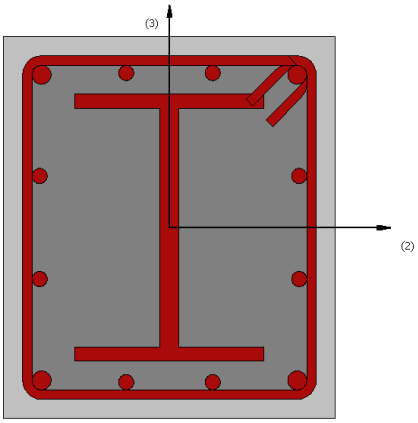
1. Editando el patrón de reforzamiento;
2. Ingresando el área respectiva y coordenadas de sección (estando las últimas definidas en el sistema local de coordenadas de la sección).

El refuerzo transversal puede ser especificado en términos de diámetros de los estribos y piernas, así como la distancia entre ellos.

NOTA: Una curva parabólica ha sido asumida como representativa del límite entre las áreas completamente y parcialmente confinadas. Su profundidad puede estimarse de forma conservadora como el 20% del ancho del ala del perfil. Sin embargo, procesos de estimación más rigurosos pueden encontrarse en el trabajo de Mirza [1989] o Elnashai and Elghazouli [1993], entre otros.

Sección doble-T compuesta completamente revestida - fecs

Esta sección es adoptada frecuentemente para el modelado de columnas compuestas.



Materiales y Dimensiones

Es posible definir cuatromateriales diferentes:

- Refuerzo longitudinal
- Refuerzo transversal
- Perfil de acero,
- Concreto.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho ala. El valor por defecto es 0.2 m
- Espesor ala. El valor por defecto es 0.015 m
- Altura alma. El valor por defecto es 0.25 m
- Espesor alma. El valor por defecto es 0.020 m
- Ancho estribo. El valor por defecto es 0.31 m
- Ancho sección. El valor por defecto es 0.35 m
- Altura estribo. El valor por defecto es 0.36 m
- Altura sección. El valor por defecto es 0.40 m
- Espesor de Recubrimiento. El valor por defecto es 0.025 m

Refuerzo

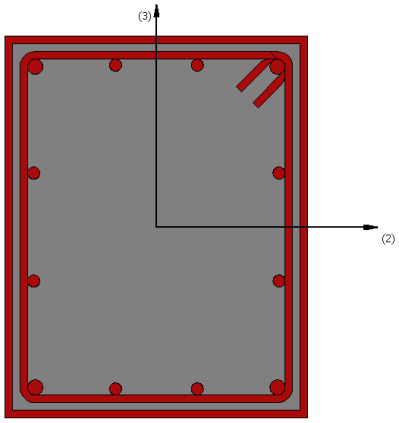
Varillas longitudinales de refuerzo puede definirse de dos maneras distintas:

1. Editando el patrón de reforzamiento;
2. Ingresando el área respectiva y coordenadas de sección (estando las últimas definidas en el sistema local de coordenadas de la sección).

El refuerzo transversal puede ser especificado en términos de diámetros de los estribos y piernas, así como la distancia entre ellos.

Sección rectangular compuesta - crs

Esta sección es adoptada frecuentemente para el modelado de columnas compuestas.



Materiales y Dimensiones

Es posible definir cuatromateriales diferentes:

- Refuerzo longitudinal
- Refuerzo transversal
- Tubo de acero,
- Concreto.

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Altura de Sección. El valor por defecto es 0.5 m
- Ancho de Sección. El valor por defecto es 0.4 m
- Espesor del Acero. El valor por defecto es 0.01 m

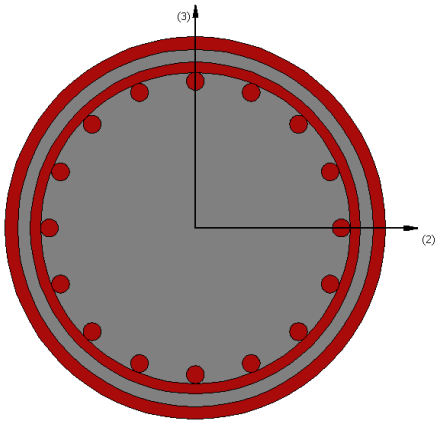
Refuerzo

Varillas longitudinales de refuerzo puede definirse de dos maneras distintas:

1. Editando el patrón de reforzamiento;
2. Ingresando el área respectiva y coordenadas de sección (estando las últimas definidas en el sistema local de coordenadas de la sección).

Sección circular compuesta – ccs

Esta sección es utilizada frecuentemente para el modelado de columnas compuestas.



Materiales y Dimensiones

Es posible definir cuatromateriales diferentes:

- Refuerzo longitudinal
- Refuerzo transversal
- Tubo de acero,
- Concreto

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Diámetro de Sección. El valor por defecto es 0.3 m
- Espesor del Acero. El valor por defecto es 0.3 m

Refuerzo

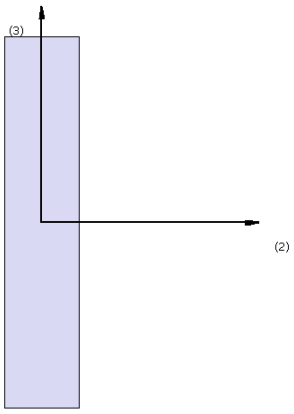
Varillas longitudinales de refuerzo puede definirse de dos maneras distintas:

1. Editando el patrón de reforzamiento;
2. Ingresando el área respectiva y coordenadas de sección (estando las últimas definidas en el sistema local de coordenadas de la sección).

SECCIONES DE MAMPOSTERÍA

Sección de muro de mampostería - mws

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de miembros de mampostería.



Materiales y Dimensiones

Es posible definir tres tipos diferentes de materiales:

- Refuerzo longitudinal
- Refuerzo transversal
- mampostería

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho de muro (dimensión en el plano). El valor por defecto es 2.0 m
- Espesor de muro (dimensión fuera del plano). El valor por defecto es 0.4 m
- Espesor de recubrimiento. El valor por defecto es 0.025 m.

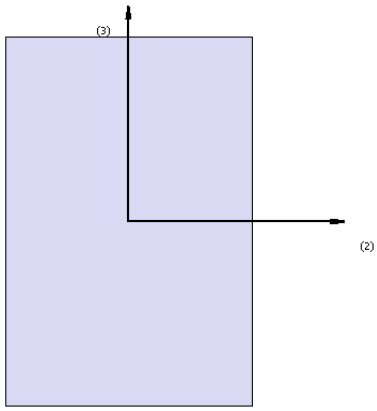
Refuerzo

Las barrasde refuerzo longitudinales se pueden definir en dos maneras differentes:

1. Editando el patrón de reforzamiento;
2. Ingresando el área respectiva y coordenadas de sección (estando las últimas definidas en el sistema local de coordenadas de la sección).

Sección de Antepecho de Mampostería - mss

Esta es una sección frecuentemente adoptada para el modelado de vigas de acoplamiento entre dos elementos de pared.



Materiales y Dimensiones

Es posible definir trestipos diferentes de materiales:

- Refuerzo longitudinal
- Refuerzo transversal
- mampostería

Las dimensiones requeridas son las siguientes:

- Ancho de el antepecho (dimensión en el plano). El valor por defecto es 2.0 m
- Espesor de el antepecho (dimensión fuera del plano). El valor por defecto es 0.4 m
- Espesor de recubrimiento. El valor por defecto es 0.025 m.

Refuerzo

Las barras de refuerzo longitudinales se pueden definir en dos maneras differentes:

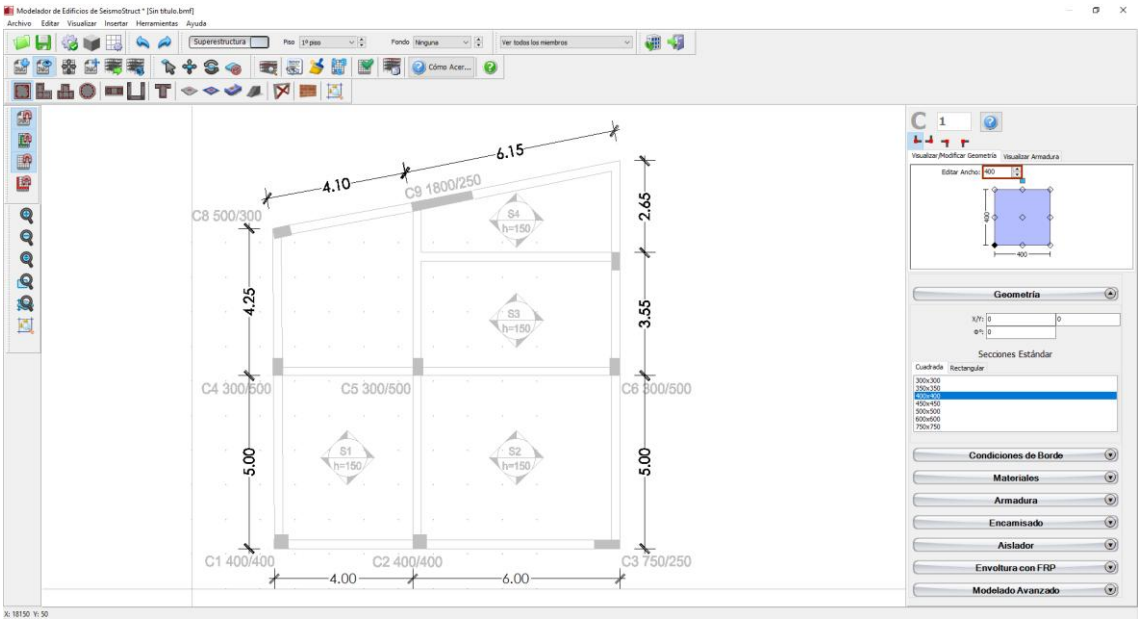
1. Editando el patrón de reforzamiento;
2. Ingresando el área respectiva y coordenadas de sección (estando las últimas definidas en el sistema local de coordenadas de la sección).

Apéndice E – Miembros del Modelador de Edificio

En este apéndice se describen los tipos de secciones disponibles de manera detallada.

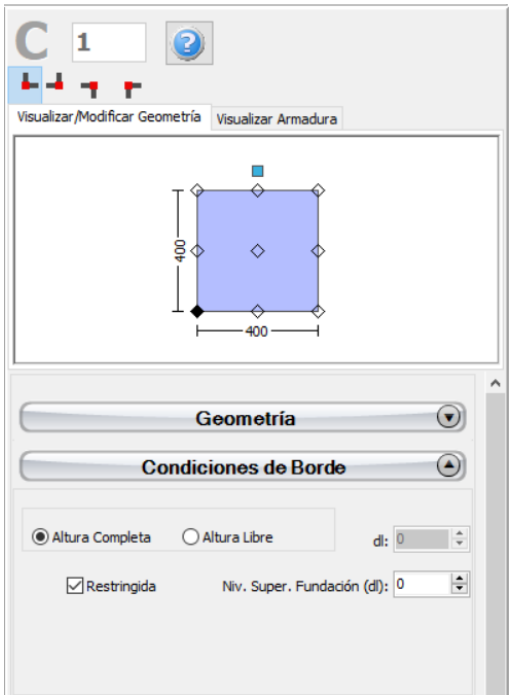
Columna Rectangular (Simple y Encamisada)

Columnas rectangulares pueden insertarse desde el menú principal (*Insertar > Columna Rectangular*) o a través del botón correspondiente de la barra de herramientas . En la Ventana de Propiedades que aparece los usuarios pueden adaptar las dimensiones de las secciones en la venta de Ver /Modificar Geometría o seleccionando una sección de las secciones estándar predefinidas (rectangular o cuadrada).



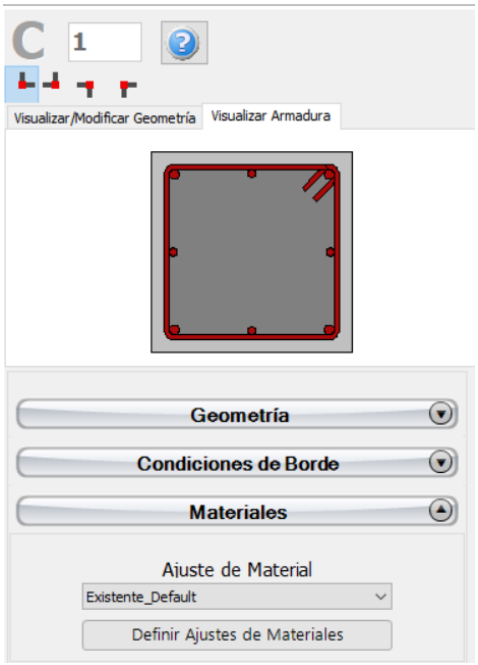
Editar dimensiones de las secciones

Es posible definir una columna diferente de la altura del piso general, a través del botón de selección de la razón de longitud Libre y asignando una longitud diferente. Si, por el contrario, se emplea el botón de longitud completa, entonces el miembro tiene la misma altura que el piso. Adicionalmente, el nivel de fundación de una columna puede cambiarse, de manera que se provee la posibilidad al usuario de definir diferentes niveles de fundación.



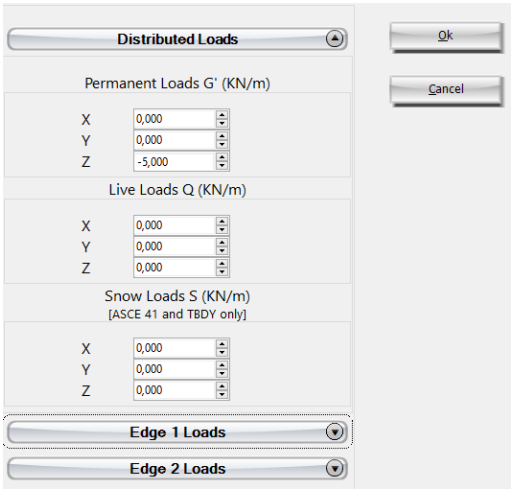
Condiciones de Borde

Las propiedades del conjunto de materiales se pueden definir desde el menú principal (Herramientas> Definir conjuntos de materiales), mediante el botón de la barra de herramientas correspondiente , o mediante el botón Definir conjuntos de materiales dentro de la Ventana de propiedades del miembro. Los valores requeridos para la definición de las propiedades de los materiales dependen del tipo de miembros, es decir, miembros nuevos o existentes. Por defecto, hay dos esquemas de materiales, uno para los elementos existentes y otro para los nuevos.

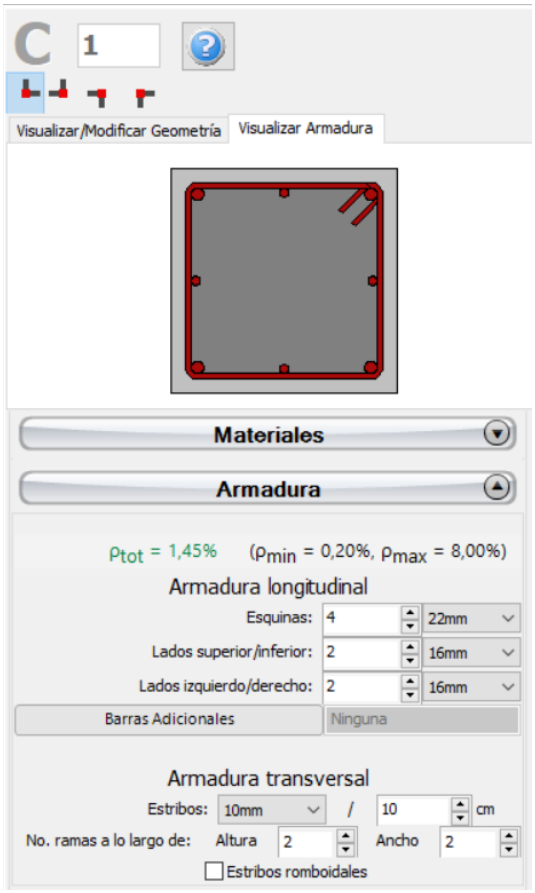


Materiales

Se pueden definir cargas adicionales haciendo clic en el botón Cargas Distribuidas y de Borde. Los usuarios pueden definir fuerzas distribuidas uniformemente a lo largo de la longitud del miembro en las tres direcciones de traslación X, Y o Z, y fuerzas o momentos en cualquier dirección translacional o rotacional (X, Y, Z, RX, RY o RZ) en cualquiera de los dos bordes del miembro (inferior o superior). Se pueden aplicar cargas permanentes adicionales G' (no asociadas con el peso propio de la estructura), cargas vivas Q y cargas de nieve S, siendo estas últimas aplicables solo a ASCE 41 y TBDY. Por defecto, todas las cargas son iguales a cero.

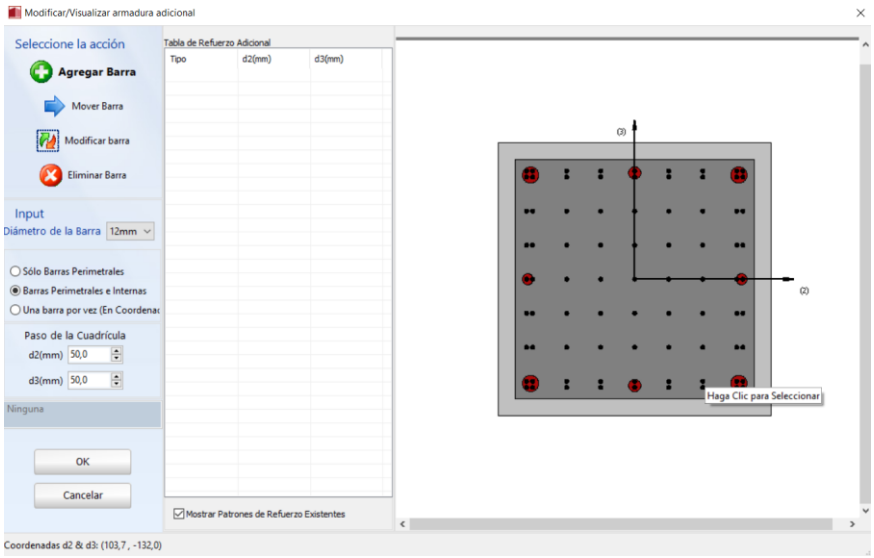


Ventana de Cargas Distribuidas y de BordeEl refuerzo longitudinal y transversal puede definirse editando los controles de los patrones de reforzamiento relevantes.



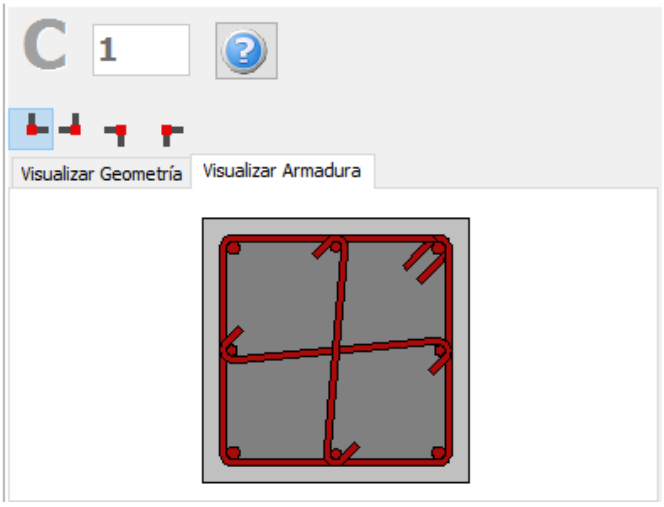
Patrón de Reforzamiento

Agregar una única varilla de refuerzo longitudinal también puede hacerse a través del módulo de Varillas de Refuerzo Adicionales, donde el refuerzo adicional puede introducirse gráficamente como se muestra en la siguiente figura:



Ver/Modificar ventana de refuerzo adicional

En la Ventana de Propiedades los usuarios pueden escoger Ver el Refuerzo, donde se muestra la sección y su refuerzo (longitudinal y transversal), y Ver/Modificar Geometría, donde las dimensiones de la sección pueden verse y modificarse.



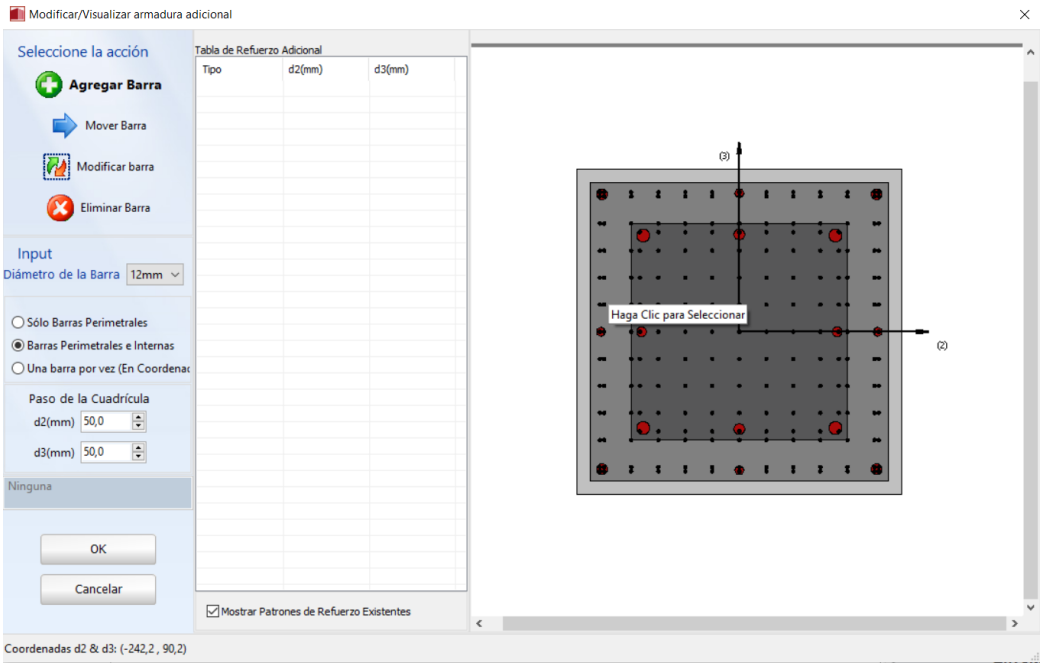
Vistas del Refuerzo

Los encamisados se pueden aplicar a la sección en el área de Encamisado seleccionando el tipo de encamisado, es decir, si es un encamisado completo, de1 cara, de2 caras o de3 caras, y asignando el conjunto de material y el refuerzo longitudinal y transversal del encamisado.



Encamisado

La adición de barras de refuerzo longitudinales únicas al encamisado también se puede realizar a través del módulo de Barras Adicionales correspondiente, donde se pueden introducir armaduras adicionales de manera gráfica tanto en la parte existente como en la nueva, como se muestra en la siguiente figura:



Ventana de Modificación / Visualización de armaduras adicionales

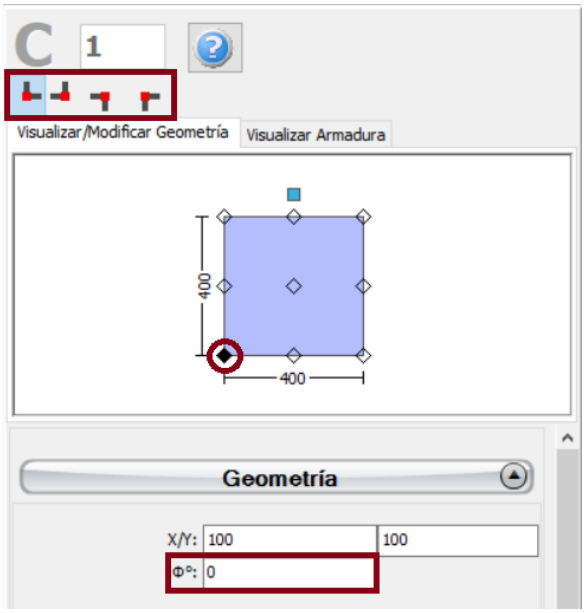
También se pueden agregar aisladores en diferentes ubicaciones de la columna. Se asignan a través del módulo Aislador, donde el usuario puede seleccionar la geometría (ubicación -punto inferior, superior o intermedio- y la altura del aislador), su tipo (elastomérico, elastomérico con nucleo de plomo o deslizador de superficie curva) y los parámetros del aislador: las rigideces vertical y horizontal, y el límite elástico al corte y la relación de endurecimiento por deformación (para aisladores elastoméricos y elastoméricos con nucleo de plomo, que se modelan como tipo de elemento isolator 1) o el coeficiente de fricción y el radio del péndulo, conocidos como Friction Pendulum System FPS (para deslizadores de superficie curva, que son modelado como tipo de elemento isolator2).

Además, envolturas de FRP pueden asignarse a elementos de columna a través del módulo de Envoltura FRP, donde los usuarios pueden seleccionar la envoltura FRP de una lista de los productos más comunes que se encuentran en el mercado, o introducir valores definidos por el usuario.

En el área de Modelado avanzado, la configuración basada en código del miembro estructural también se puede definir a través del cuadro de diálogo Propiedades Avanzadas de Miembro que se abre desde el botón correspondiente. Los parámetros de modelado del miembro también se pueden definir desde el cuadro de diálogo Parámetros de Modelado, al que se accede mediante el botón correspondiente.

NOTA: Cuando la sección está encamisada, en el módulo Propiedades Avanzadas de Miembro, los usuarios deben tomar decisiones sobre los parámetros, para tener en cuenta toda la sección, es decir, tanto las partes existentes como las nuevas.

Después de definir todas las propiedades de la sección, el nuevo miembro se puede agregar con un simple clic en la ventana principal de Building Modeller. La ubicación de la sección que corresponde al punto de inserción (es decir, el clic del mouse) y la rotación de la sección en la vista en planta se pueden seleccionaren la ventana Propiedades de miembros.

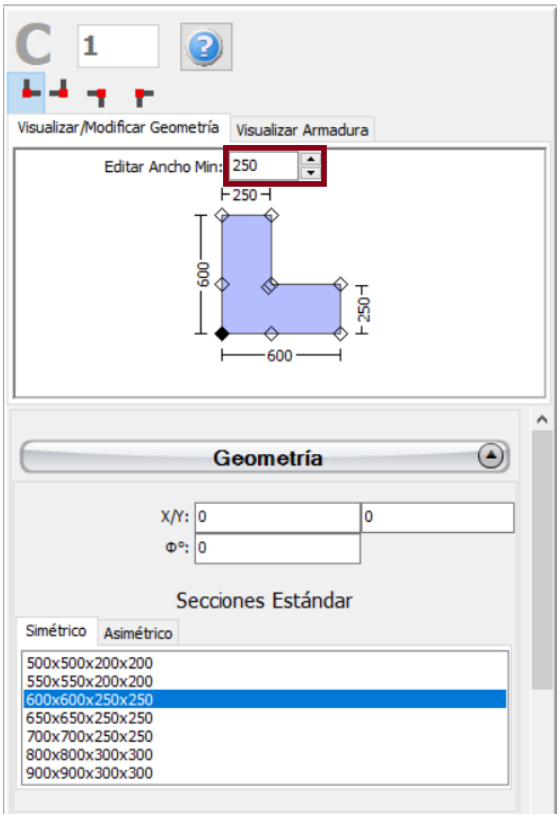


Seleccionando el punto de inserción y rotando la vista en planta de la sección

Columna en Forma de L (Simple o Encamisada)

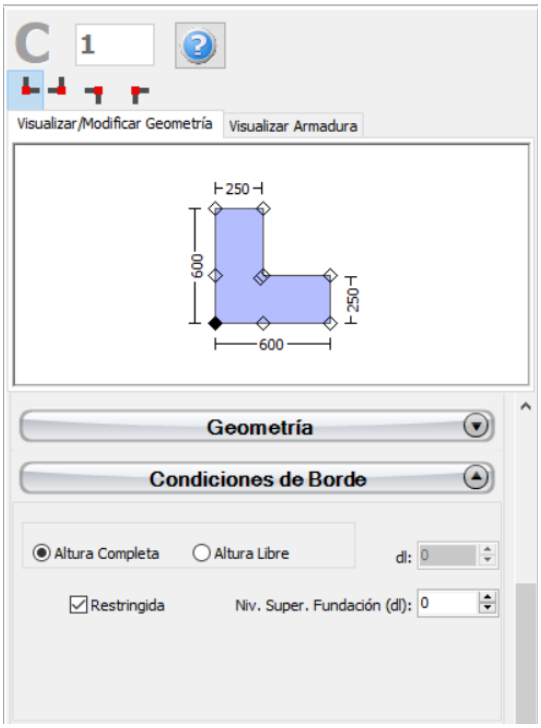
Columnas con forma de L pueden insertarse desde el menú principal (*Insertar > Columna en Forma de L*) o a través del botón correspondiente de la barra de herramientas . En la Ventana de Propiedades

que aparece, los usuarios pueden adaptar las dimensiones de la sección ya sea en Ver/Modificar Geometría o seleccionando una sección de las secciones estándar predefinidas (simétrica o asimétrica).



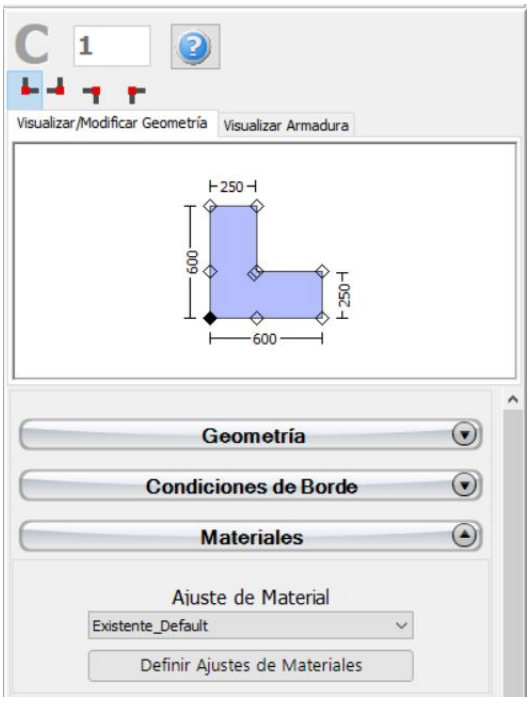
Editar dimensiones de secciones

Es posible definir una columna diferente de la altura del piso general, a través del botón de selección de la razón de longitud Libre y asignando una longitud diferente. Si, por el contrario, se emplea el botón de longitud completa, entonces el miembro tiene la misma altura que el piso. Adicionalmente, el nivel de fundación de una columna puede cambiarse, de manera que se provee la posibilidad al usuario de definir diferentes niveles de fundación.



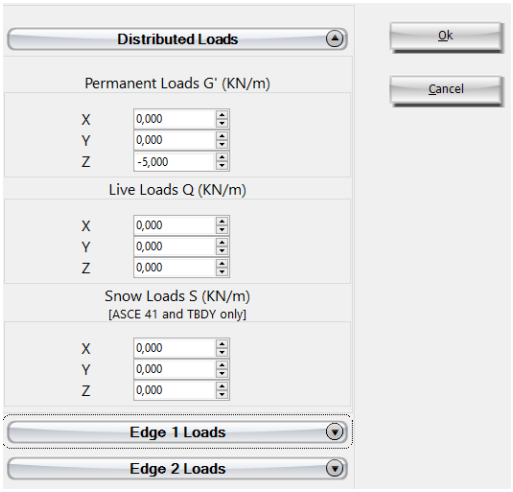
Condiciones de Borde

Las propiedades del conjunto de materiales se pueden definir desde el menú principal (Herramientas> Definir conjuntos de materiales), mediante el botón de la barra de herramientas correspondiente , o mediante el botón Definir conjuntos de materiales dentro de la Ventana de propiedades del miembro. Los valores requeridos para la definición de las propiedades de los materiales dependen del tipo de miembros, es decir, miembros nuevos o existentes. Por defecto, hay dos esquemas de materiales, uno para los elementos existentes y otro para los nuevos.

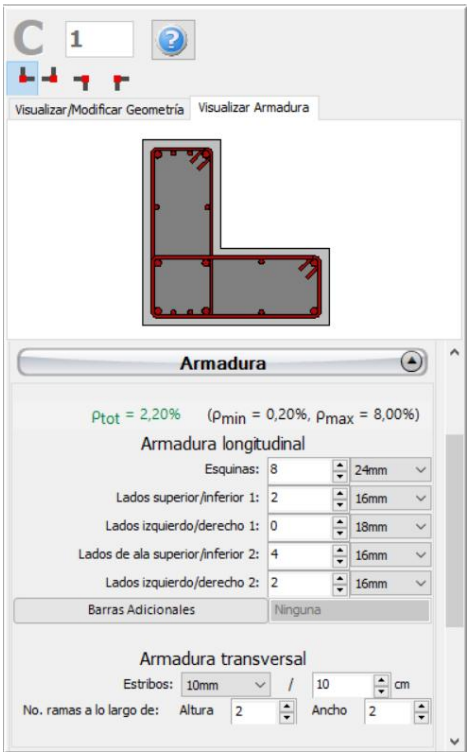


Materiales

Se pueden definir cargas adicionales haciendo clic en el botón Cargas Distribuidas y de Borde. Los usuarios pueden definir fuerzas distribuidas uniformemente a lo largo de la longitud del miembro en las tres direcciones de traslación X, Y o Z, y fuerzas o momentos en cualquier dirección translacional o rotacional (X, Y, Z, RX, RY o RZ) en cualquiera de los dos bordes del miembro (inferior o superior). Se pueden aplicar cargas permanentes adicionales G' (no asociadas con el peso propio de la estructura), cargas vivas Q y cargas de nieve S, siendo estas últimas aplicables solo a ASCE 41 y TBDY. Por defecto, todas las cargas son iguales a cero.

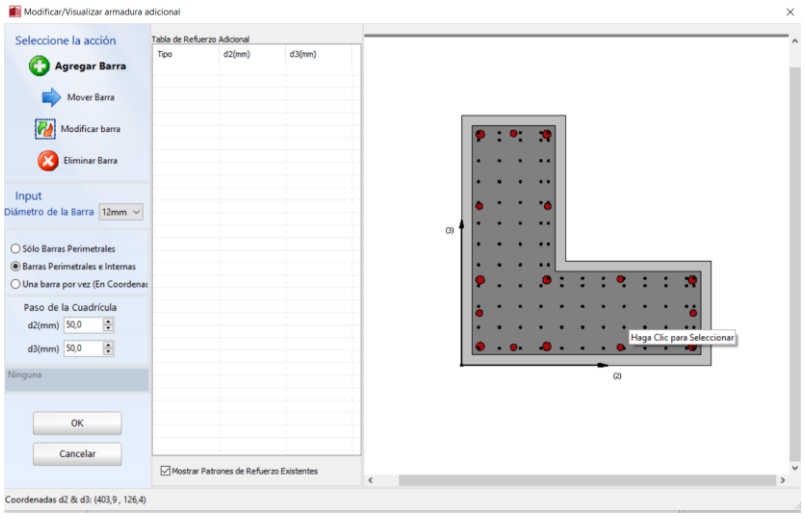


Ventana de Cargas Distribuidas y de BordeEl refuerzo longitudinal y transversal puede definirse editando los controles de los patrones de reforzamiento relevantes.



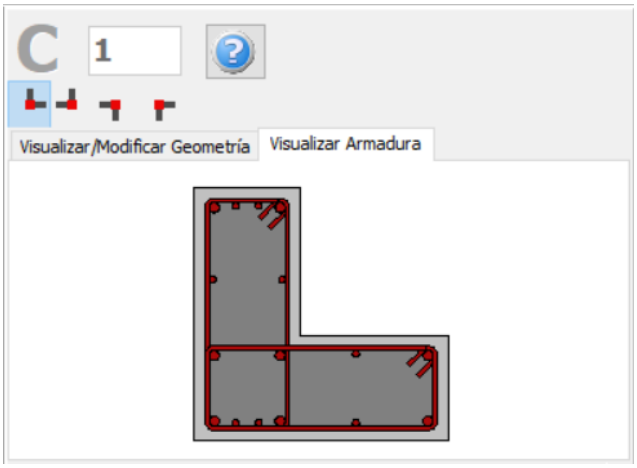
Patrón de Refuerzo

Agregar una única varilla de refuerzo longitudinal también puede hacerse a través del módulo de Varillas de Refuerzo Adicionales, donde el refuerzo adicional puede introducirse gráficamente como se muestra en la siguiente figura:



Ventana de Ver/Modificar refuerzo adicional

En la Ventana de Propiedades los usuarios pueden escoger Ver el Refuerzo, donde se muestra la sección y su refuerzo (longitudinal y transversal), y Ver/Modificar Geometría, donde las dimensiones de la sección pueden verse y modificarse.



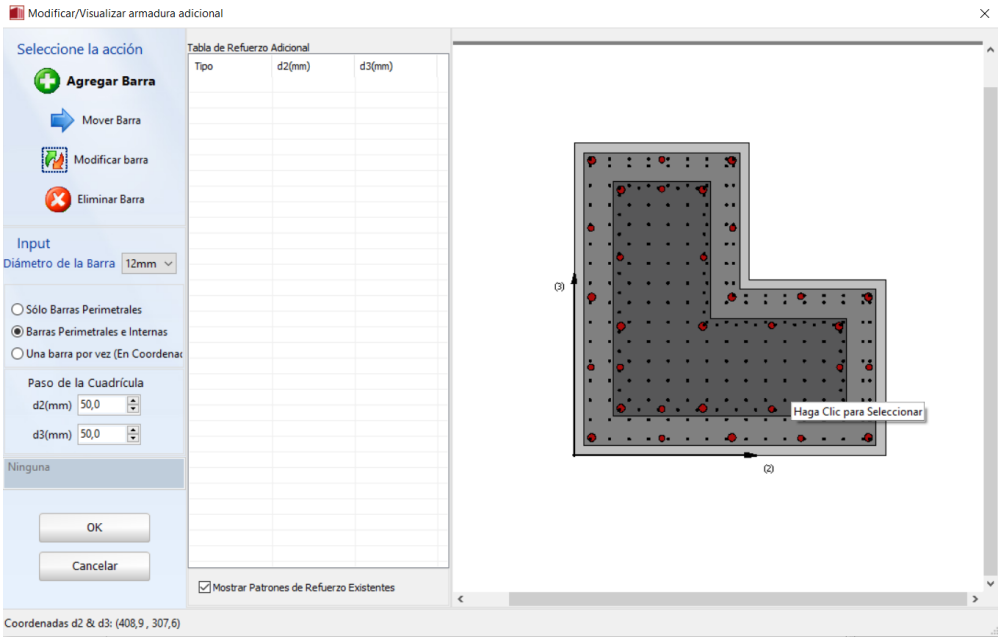
Vistas del Refuerzo

Los encamisados se pueden aplicar a la sección en el área de Encamisado seleccionando el tipo de encamisado, es decir, si es un encamisado completo, o de3 caras, y asignando el conjunto de material y el refuerzo longitudinal y transversal del encamisado.



Encamisado

La adición de barras de refuerzo longitudinales únicas al encamisado también se puede realizar a través del módulo de Barras Adicionales correspondiente, donde se pueden introducir armaduras adicionales de manera gráfica tanto en la parte existente como en la nueva, como se muestra en la siguiente figura:



Ventana de Modificación / Visualización de armaduras adicionales

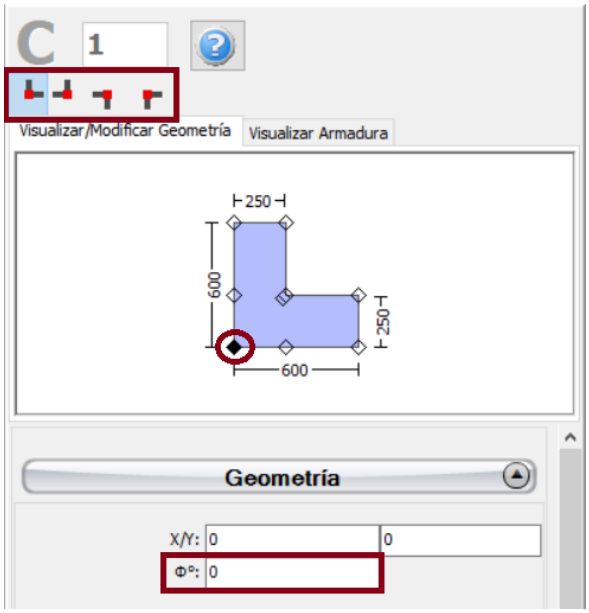
También se pueden agregar aisladores en diferentes ubicaciones de la columna. Se asignan a través del módulo Aislador, donde el usuario puede seleccionar la geometría (ubicación -punto inferior, superior o intermedio- y la altura del aislador), su tipo (elastomérico, elastomérico con nucleo de plomo o deslizador de superficie curva) y los parámetros del aislador: las rigideces vertical y horizontal, y el límite elástico al corte y la relación de endurecimiento por deformación (para aisladores elastoméricos y elastoméricos con nucleo de plomo, que se modelan como tipo de elemento isolator 1) o el coeficiente de fricción y el radio del péndulo, conocidos como Friction Pendulum System FPS (para deslizadores de superficie curva, que son modelado como tipo de elemento isolator2).

Además, envolturas de FRP pueden asignarse a elementos de columna a través del módulo de Envoltura FRP, donde los usuarios pueden seleccionar la envoltura FRP de una lista de los productos más comunes que se encuentran en el mercado, o introducir valores definidos por el usuario.

En el área de Modelado avanzado, la configuración basada en código del miembro estructural también se puede definir a través del cuadro de diálogo Propiedades Avanzadas de Miembro que se abre desde el botón correspondiente. Los parámetros de modelado del miembro también se pueden definir desde el cuadro de diálogo Parámetros de Modelado, al que se accede mediante el botón correspondiente.

NOTA: Cuando la sección está encamisada, en el módulo Propiedades Avanzadas de Miembro, los usuarios deben tomar decisiones sobre los parámetros, para tener en cuenta toda la sección, es decir, tanto las partes existentes como las nuevas.

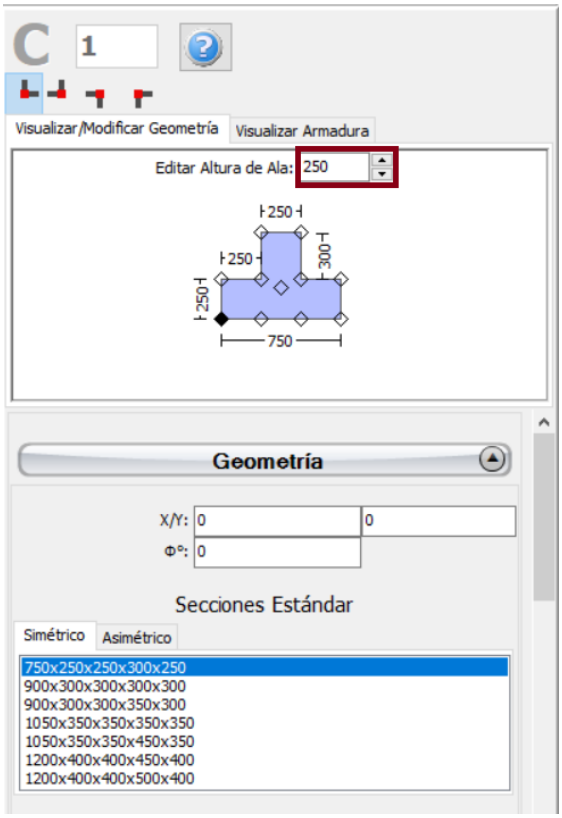
Después de definir todas las propiedades de la sección, el nuevo miembro se puede agregar con un simple clic en la ventana principal de Building Modeller. La ubicación de la sección que corresponde al punto de inserción (es decir, el clic del mouse) y la rotación de la sección en la vista en planta se pueden seleccionar en la ventana



Selección del punto de inserción y rotación de la vista en planta de la sección

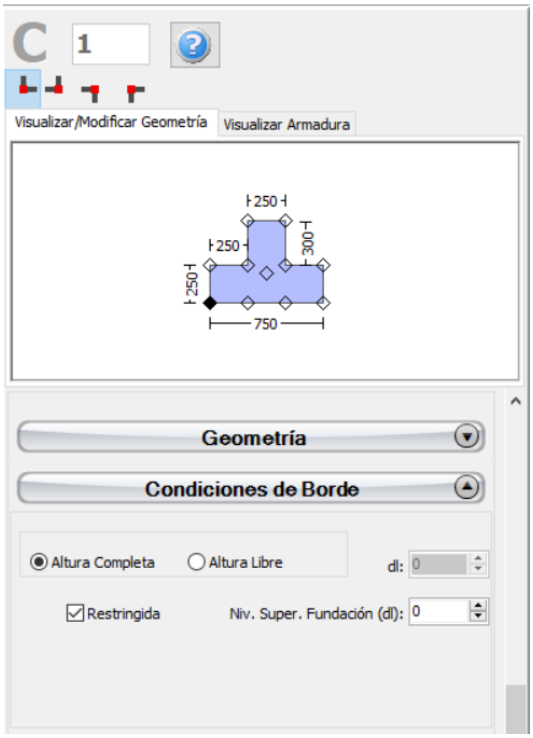
Columna en forma de T (Simple o Encamisada)

Columnas con forma de L pueden insertarse desde el menú principal (*Insertar > Columna en Forma de T*) o a través del botón correspondiente de la barra de herramientas . En la Ventana de Propiedades que aparece, los usuarios pueden adaptar las dimensiones de la sección ya sea en Ver/Modificar Geometría o seleccionando una sección de las secciones estándar predefinidas (simétrica o asimétrica).



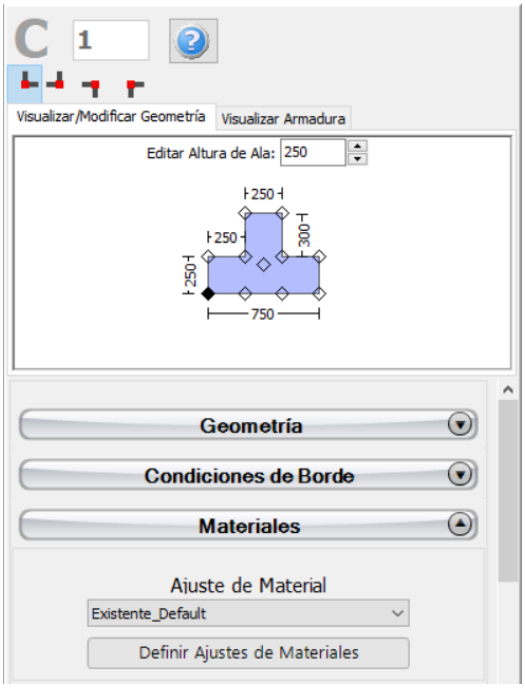
Editar dimensiones de secciones

Es posible definir una columna diferente de la altura general del piso, a través del botón de selección de la razón de longitud Libre y asignando una longitud diferente. Si, por el contrario, se emplea el botón de longitud completa, entonces el miembro tiene la misma altura que el piso. Adicionalmente, el nivel de fundación de una columna puede cambiarse, de manera que se provee la posibilidad al usuario de definir diferentes niveles de fundación.



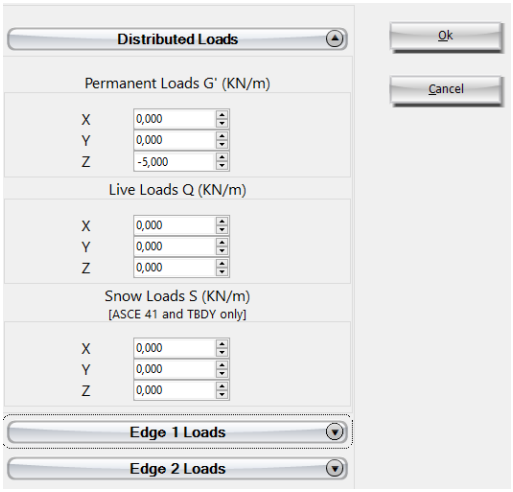
Condiciones de Borde

Las propiedades del conjunto de materiales se pueden definir desde el menú principal (Herramientas> Definir conjuntos de materiales), mediante el botón de la barra de herramientas correspondiente , o mediante el botón Definir conjuntos de materiales dentro de la Ventana de propiedades del miembro. Los valores requeridos para la definición de las propiedades de los materiales dependen del tipo de miembros, es decir, miembros nuevos o existentes. Por defecto, hay dos esquemas de materiales, uno para los elementos existentes y otro para los nuevos.

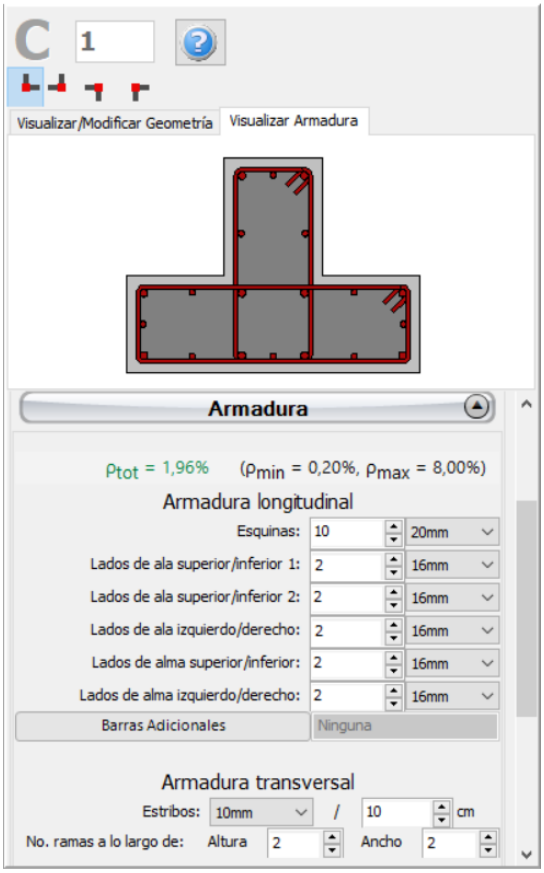


Materiales

Se pueden definir cargas adicionales haciendo clic en el botón Cargas Distribuidas y de Borde. Los usuarios pueden definir fuerzas distribuidas uniformemente a lo largo de la longitud del miembro en las tres direcciones de traslación X, Y o Z, y fuerzas o momentos en cualquier dirección translacional o rotacional (X, Y, Z, RX, RY o RZ) en cualquiera de los dos bordes del miembro (inferior o superior). Se pueden aplicar cargas permanentes adicionales G' (no asociadas con el peso propio de la estructura), cargas vivas Q y cargas de nieve S, siendo estas últimas aplicables solo a ASCE 41 y TBDY. Por defecto, todas las cargas son iguales a cero.

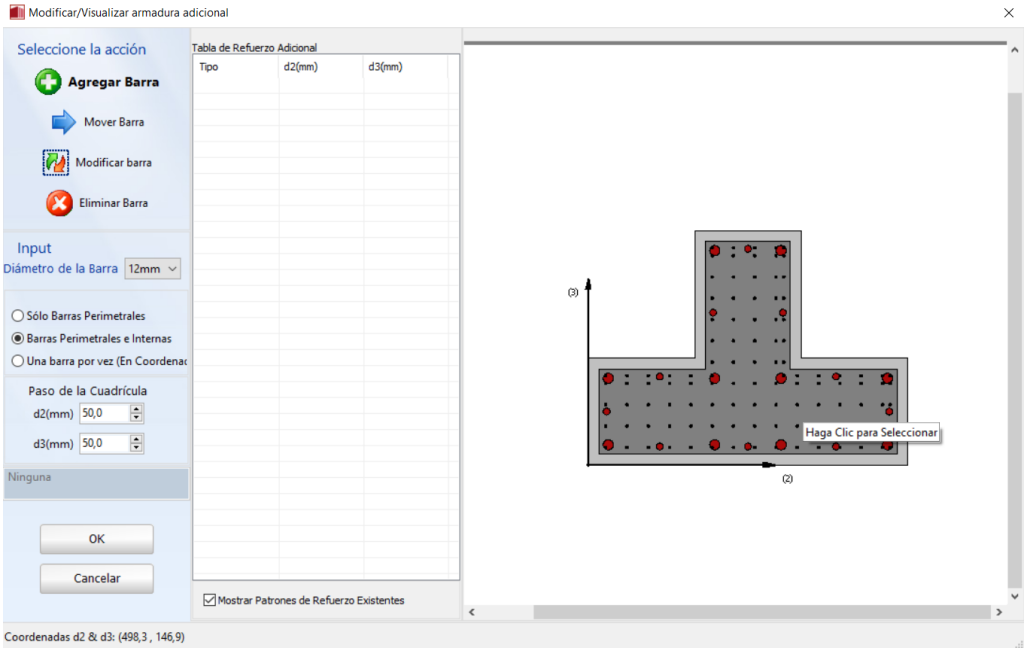


Ventana de Cargas Distribuidas y de BordeEl refuerzo longitudinal y transversal puede definirse editando los controles de los patrones de reforzamiento relevantes.



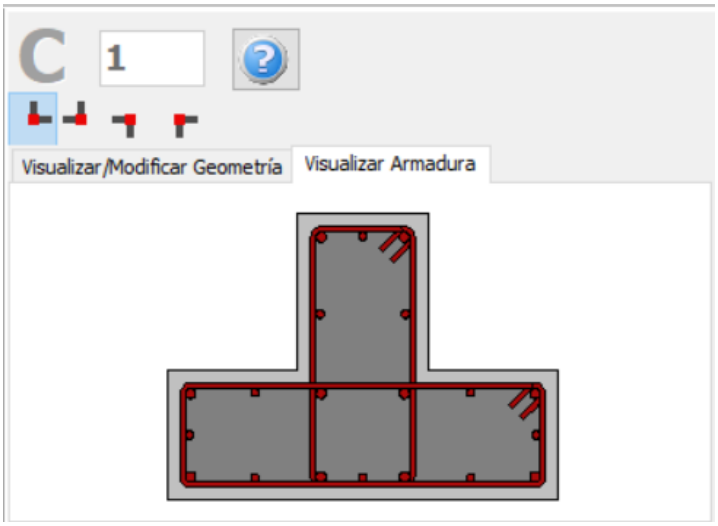
Patrón de Reforzamiento

Agregar una única varilla de refuerzo longitudinal también puede hacerse a través del módulo de Varillas de Refuerzo Adicionales, donde el refuerzo adicional puede introducirse gráficamente como se muestra en la siguiente figura:



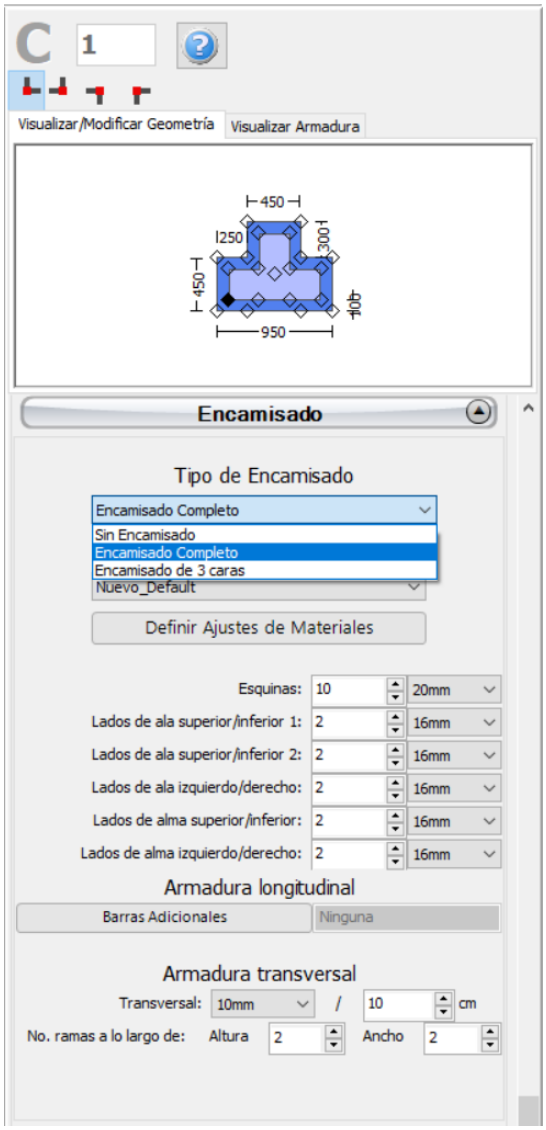
Ver/Modificar ventana de refuerzo adicional

En la Ventana de Propiedades los usuarios pueden escoger Ver el Refuerzo, donde se muestra la sección y su refuerzo (longitudinal y transversal), y Ver/Modificar Geometría, donde las dimensiones de la sección pueden verse y modificarse.



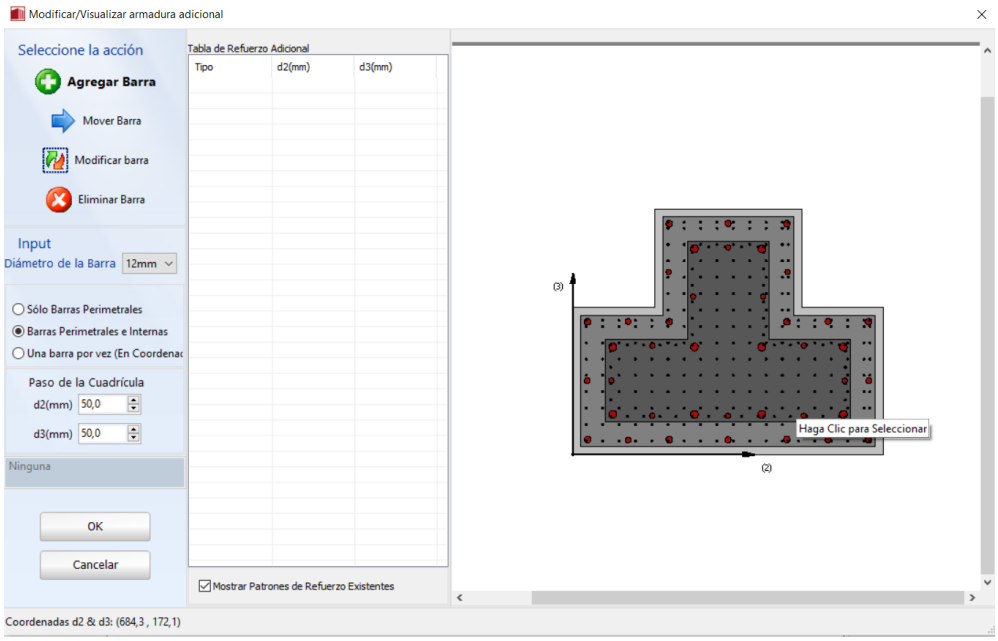
Vistas del Refuerzo

Los encamisados se pueden aplicar a la sección en el área de Encamisado seleccionando el tipo de encamisado, es decir, si es un encamisado completo, en 1 cara, en 2 caras o en 3 caras, y asignando el conjunto de material y el refuerzo longitudinal y transversal del encamisado.



Encamisado

La adición de barras de refuerzo longitudinales únicas al encamisado también se puede realizar a través del módulo de Barras Adicionales correspondiente, donde se pueden introducir armaduras adicionales de manera gráfica tanto en la parte existente como en la nueva, como se muestra en la siguiente figura:



Ventana de Modificación / Visualización de armaduras adicionales

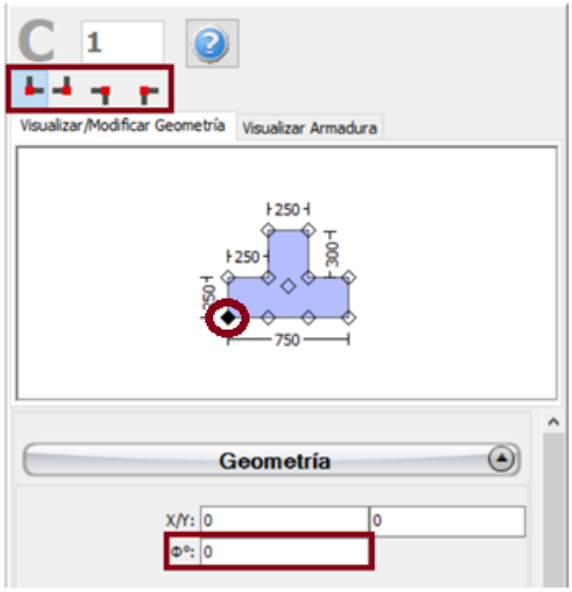
También se pueden agregar aisladores en diferentes ubicaciones de la columna. Se asignan a través del módulo Aislador, donde el usuario puede seleccionar la geometría (ubicación -punto inferior, superior o intermedio- y la altura del aislador), su tipo (elastomérico, elastomérico con nucleo de plomo o deslizador de superficie curva) y los parámetros del aislador: las rigideces vertical y horizontal, y el límite elástico al corte y la relación de endurecimiento por deformación (para aisladores elastoméricos y elastoméricos con nucleo de plomo, que se modelan como tipo de elemento isolator 1) o el coeficiente de fricción y el radio del péndulo, conocidos como Friction Pendulum System FPS (para deslizadores de superficie curva, que son modelado como tipo de elemento isolator2).

Además, envolturas de FRP pueden asignarse a elementos de columna a través del módulo de Envoltura FRP, donde los usuarios pueden seleccionar la envoltura FRP de una lista de los productos más comunes que se encuentran en el mercado, o introducir valores definidos por el usuario.

En el área de Modelado avanzado, la configuración basada en código del miembro estructural también se puede definir a través del cuadro de diálogo Propiedades Avanzadas de Miembro que se abre desde el botón correspondiente. Los parámetros de modelado del miembro también se pueden definir desde el cuadro de diálogo Parámetros de Modelado, al que se accede mediante el botón correspondiente.

NOTA: Cuando la sección está encamisada, en el módulo Propiedades Avanzadas de Miembro, los usuarios deben tomar decisiones sobre los parámetros, para tener en cuenta toda la sección, es decir, tanto las partes existentes como las nuevas.

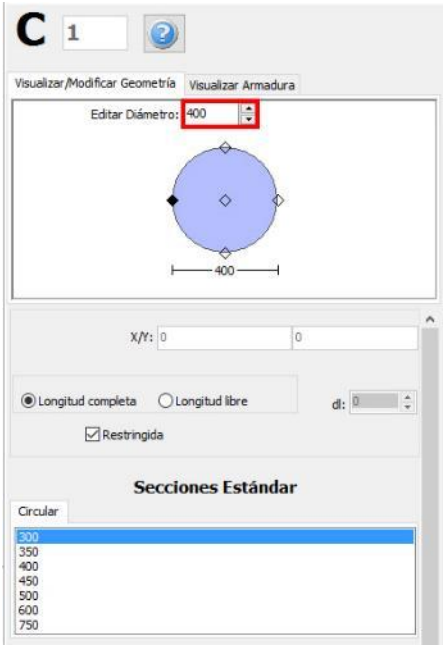
Después de definir todas las propiedades de la sección, el nuevo miembro se puede agregar con un simple clic en la ventana principal de Building Modeller. La ubicación de la sección que corresponde al punto de inserción (es decir, el clic del mouse) y la rotación de la sección en la vista en planta se pueden seleccionar en la ventana



Selección del punto de inserción y rotación de la vista en planta de la sección

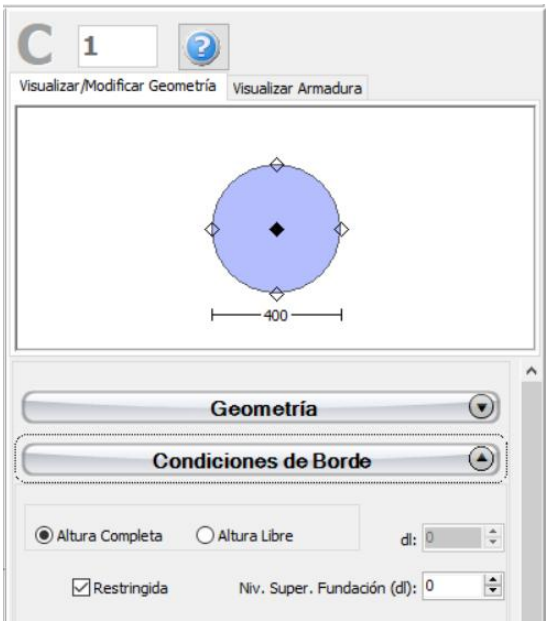
Columna Circular (Simple o encamisada)

Columnas con forma circular pueden insertarse desde el menú principal (*Insertar > Columna Circular*) o a través del botón correspondiente de la barra de herramientas  . En la Ventana de Propiedades que aparece, los usuarios pueden adaptar las dimensiones de la sección ya sea en Ver/Modificar Geometría o seleccionando una sección de las secciones estándar predefinidas.



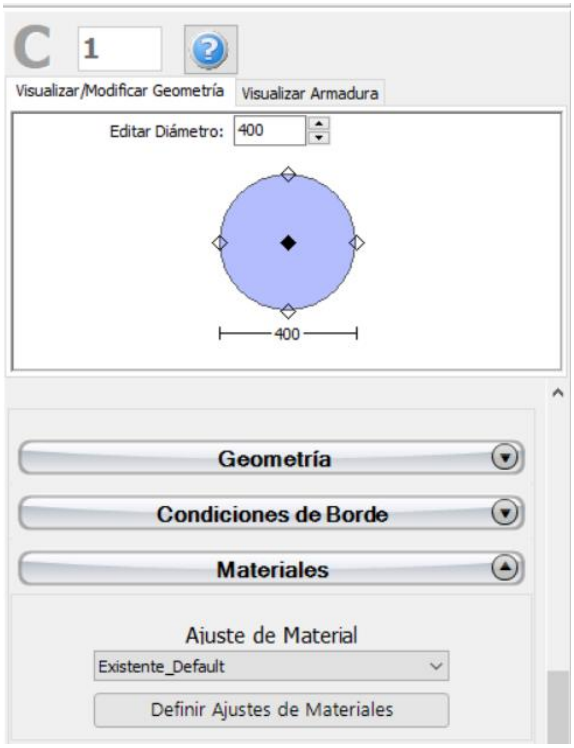
Editar dimensiones de secciones

Es posible definir una columna diferente de la altura general del piso, a través del botón de selección de la razón de *Longitud Libre* y asignando una longitud diferente. Si, por el contrario, se emplea el botón de longitud completa, entonces el miembro tiene la misma altura que el piso. Adicionalmente, el nivel de fundación de una columna puede cambiarse, de manera que se provee la posibilidad al usuario de definir diferentes niveles de fundación.



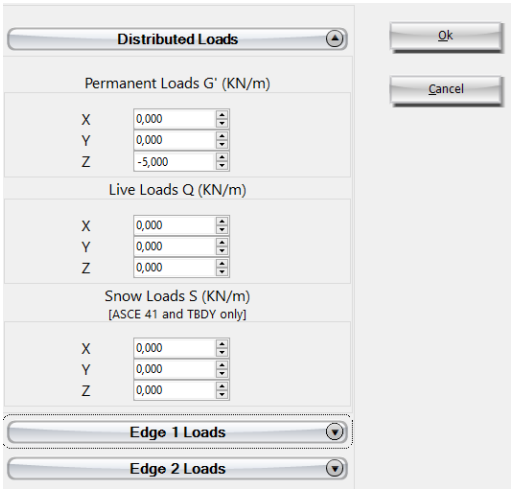
Condiciones de Borde

Las propiedades del conjunto de materiales se pueden definir desde el menú principal (Herramientas> Definir conjuntos de materiales), mediante el botón de la barra de herramientas correspondiente , o mediante el botón Definir conjuntos de materiales dentro de la Ventana de propiedades del miembro. Los valores requeridos para la definición de las propiedades de los materiales dependen del tipo de miembros, es decir, miembros nuevos o existentes. Por defecto, hay dos esquemas de materiales, uno para los elementos existentes y otro para los nuevos.

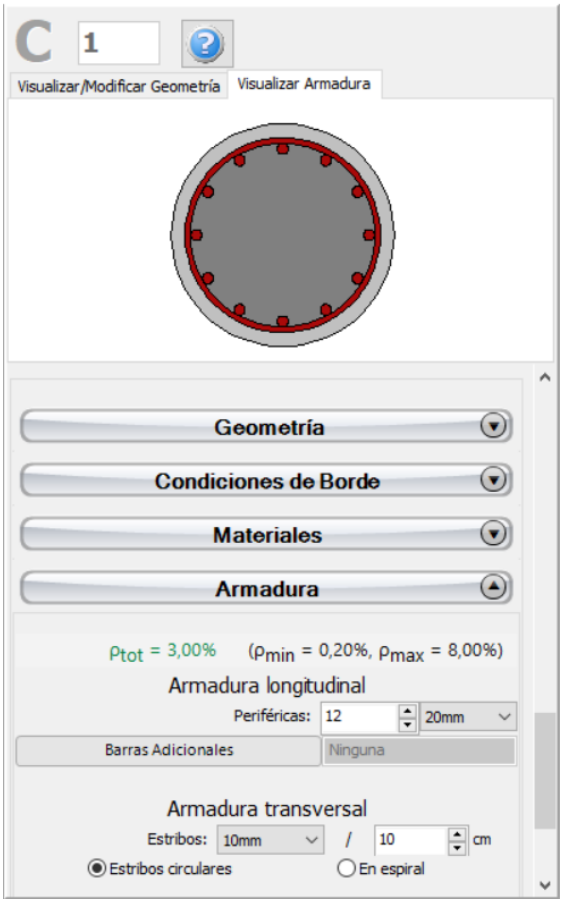


Materiales

Se pueden definir cargas adicionales haciendo clic en el botón Cargas Distribuidas y de Borde. Los usuarios pueden definir fuerzas distribuidas uniformemente a lo largo de la longitud del miembro en las tres direcciones de traslación X, Y o Z, y fuerzas o momentos en cualquier dirección translacional o rotacional (X, Y, Z, RX, RY o RZ) en cualquiera de los dos bordes del miembro (inferior o superior). Se pueden aplicar cargas permanentes adicionales G' (no asociadas con el peso propio de la estructura), cargas vivas Q y cargas de nieve S, siendo estas últimas aplicables solo a ASCE 41 y TBDY. Por defecto, todas las cargas son iguales a cero.

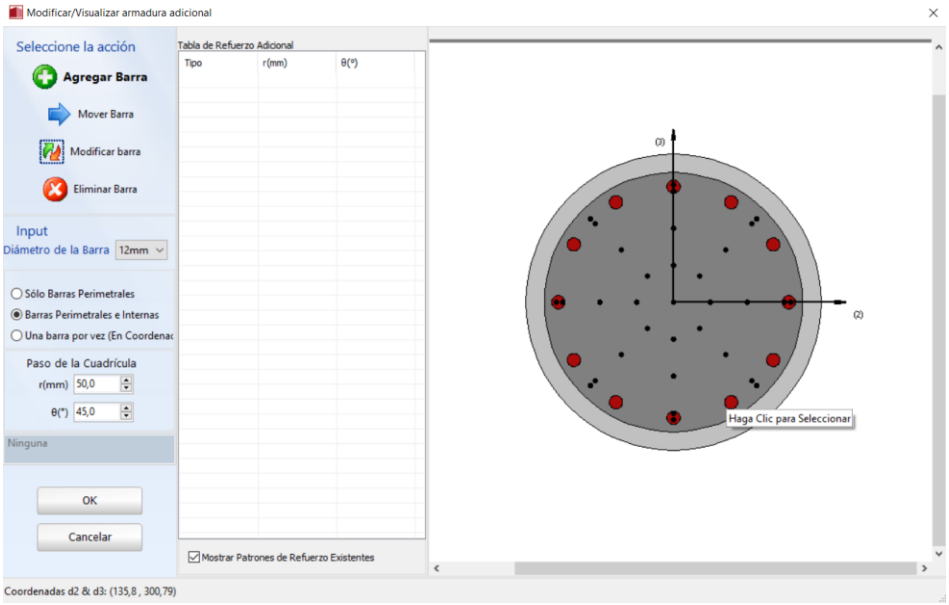


Ventana de Cargas Distribuidas y de BordeEl refuerzo longitudinal y transversal puede definirse editando los controles de los patrones de reforzamiento relevantes.



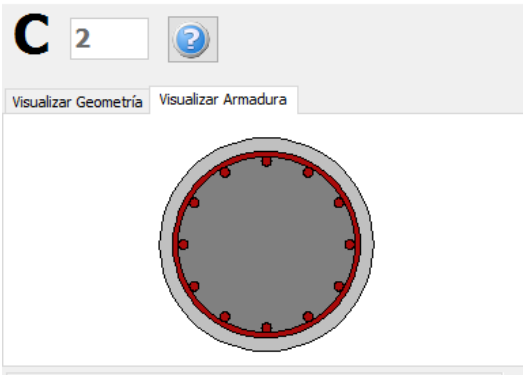
Patrón de Reforzamiento

Agregar una única varilla de refuerzo longitudinal también puede hacerse a través del módulo de Varillas de Refuerzo Adicionales, donde el refuerzo adicional puede introducirse gráficamente como se muestra en la siguiente figura:



Ventana de Ver/Modificar refuerzo adicional

En la Ventana de Propiedades los usuarios pueden escoger Ver el Refuerzo, donde se muestra la sección y su refuerzo (longitudinal y transversal), y Ver/Modificar Geometría, donde las dimensiones de la sección pueden verse y modificarse.



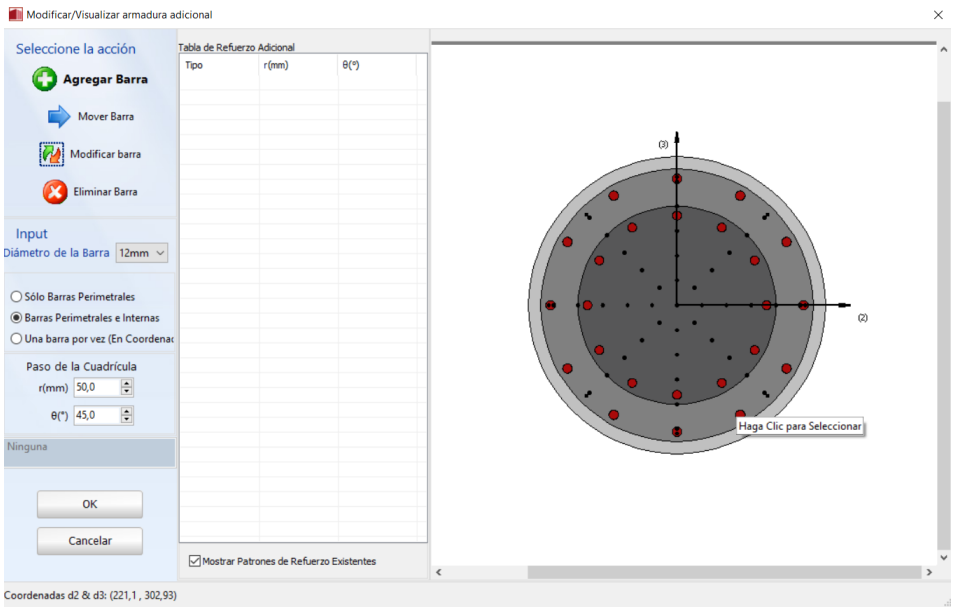
Vista de Refuerzo

Los encamisados se pueden aplicar a la sección en el área de Encamisado, y asignando el conjunto de material y el refuerzo longitudinal y transversal del encamisado.



Encamisado

La adición de barras de refuerzo longitudinales únicas al encamisado también se puede realizar a través del módulo de Barras Adicionales correspondiente, donde se pueden introducir armaduras adicionales de manera gráfica tanto en la parte existente como en la nueva, como se muestra en la siguiente figura:



Ventana de Modificación / Visualización de armaduras adicionales

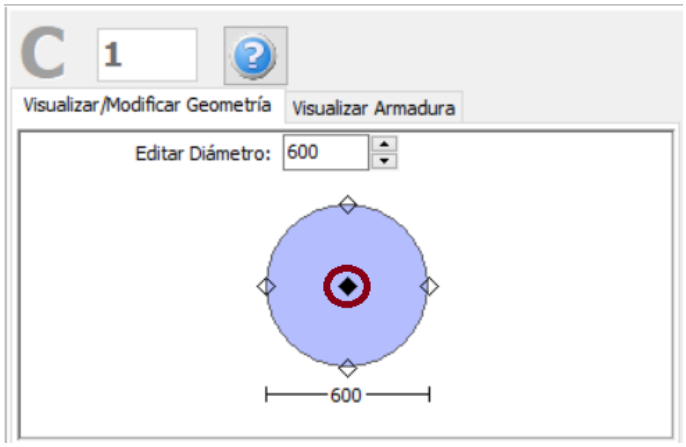
También se pueden agregar aisladores en diferentes ubicaciones de la columna. Se asignan a través del módulo Aislador, donde el usuario puede seleccionar la geometría (ubicación -punto inferior, superior o intermedio- y la altura del aislador), su tipo (elastomérico, elastomérico con nucleo de plomo o deslizador de superficie curva) y los parámetros del aislador: las rigideces vertical y horizontal, y el límite elástico al corte y la relación de endurecimiento por deformación (para aisladores elastoméricos y elastoméricos con nucleo de plomo, que se modelan como tipo de elemento isolator 1) o el coeficiente de fricción y el radio del péndulo, conocidos como Friction Pendulum System FPS (para deslizadores de superficie curva, que son modelado como tipo de elemento isolator2).

Además, envolturas de FRP pueden asignarse a elementos de columna a través del módulo de Envoltura FRP, donde los usuarios pueden seleccionar la envoltura FRP de una lista de los productos más comunes que se encuentran en el mercado, o introducir valores definidos por el usuario.

En el área de Modelado avanzado, la configuración basada en código del miembro estructural también se puede definir a través del cuadro de diálogo Propiedades Avanzadas de Miembro que se abre desde el botón correspondiente. Los parámetros de modelado del miembro también se pueden definir desde el cuadro de diálogo Parámetros de Modelado, al que se accede mediante el botón correspondiente.

NOTA: Cuando la sección está encamisada, en el módulo Propiedades Avanzadas de Miembro, los usuarios deben tomar decisiones sobre los parámetros, para tener en cuenta toda la sección, es decir, tanto las partes existentes como las nuevas.

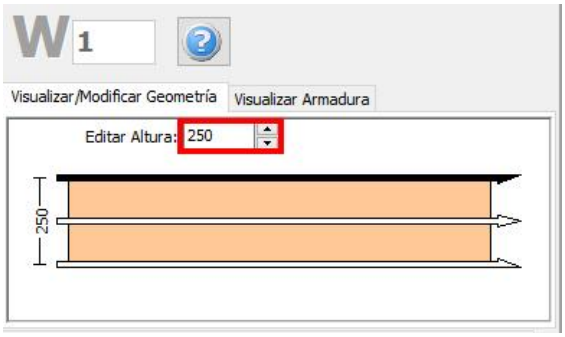
Después de definir todas las propiedades de la sección, el nuevo miembro se puede agregar con un simple clic en la ventana principal de Building Modeller. La ubicación de la sección que corresponde al punto de inserción (es decir, el clic del mouse) y la rotación de la sección en la vista en planta se pueden seleccionar en la ventana



Selección del punto de inserción

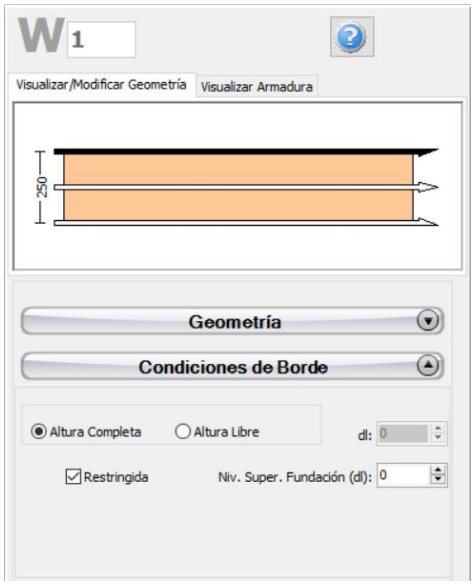
Muros

Los muros pueden agregarse desde el menú principal (*Insertar > Muro*) o con el botón de la barra de herramientas correspondiente  . En la Ventana de Propiedades que aparece, los usuarios pueden adaptar el ancho de la sección en la ventana de Ver/Modificar Geometría, donde su longitud se define de forma gráfica al insertarse especificando dos puntos, en inicio y el final de la sección. Inicialmente, el ancho de las pseudo columnas se determina como un quinto (1/5) de la longitud total del muro, con un valor máximo de 600 mm. Luego de haber hecho la inserción, este valor puede modificarse en la Ventana de Propiedades del muro.



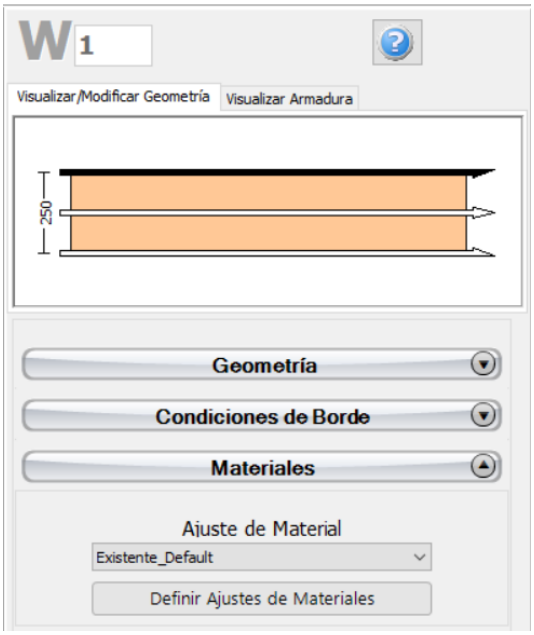
Editar dimensiones de secciones

Es posible definir una columna diferente de la altura general del piso, a través del botón de selección de la razón de longitud Libre y asignando una longitud diferente. Si, por el contrario, se emplea el botón de longitud completa, entonces el miembro tiene la misma altura que el piso. Adicionalmente, el nivel de fundación de una columna puede cambiarse, de manera que se provee la posibilidad al usuario de definir diferentes niveles de fundación.



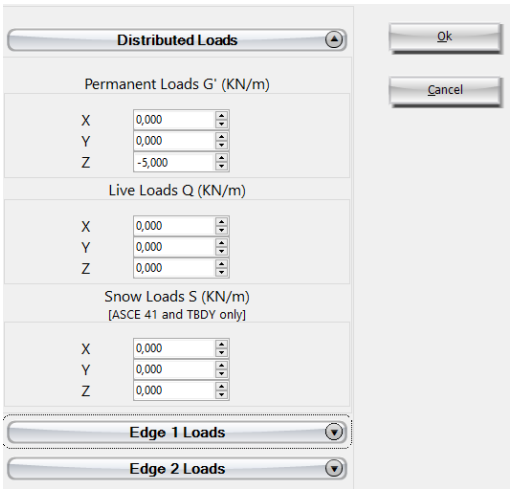
Condiciones de Borde

Las propiedades del conjunto de materiales se pueden definir desde el menú principal (Herramientas> Definir conjuntos de materiales), mediante el botón de la barra de herramientas correspondiente  , o mediante el botón Definir conjuntos de materiales dentro de la Ventana de propiedades del miembro. Los valores requeridos para la definición de las propiedades de los materiales dependen del tipo de miembros, es decir, miembros nuevos o existentes. Por defecto, hay dos esquemas de materiales, uno para los elementos existentes y otro para los nuevos.



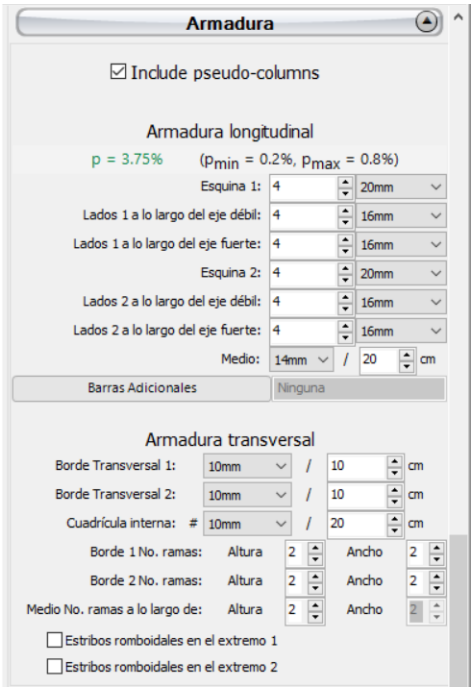
Materiales

Se pueden definir cargas adicionales haciendo clic en el botón Cargas Distribuidas y de Borde. Los usuarios pueden definir fuerzas distribuidas uniformemente a lo largo de la longitud del miembro en las tres direcciones de traslación X, Y o Z, y fuerzas o momentos en cualquier dirección translacional o rotacional (X, Y, Z, RX, RY o RZ) en cualquiera de los dos bordes del miembro (inferior o superior). Se pueden aplicar cargas permanentes adicionales G' (no asociadas con el peso propio de la estructura), cargas vivas Q y cargas de nieve S, siendo estas últimas aplicables solo a ASCE 41 y TBDY. Por defecto, todas las cargas son iguales a cero.



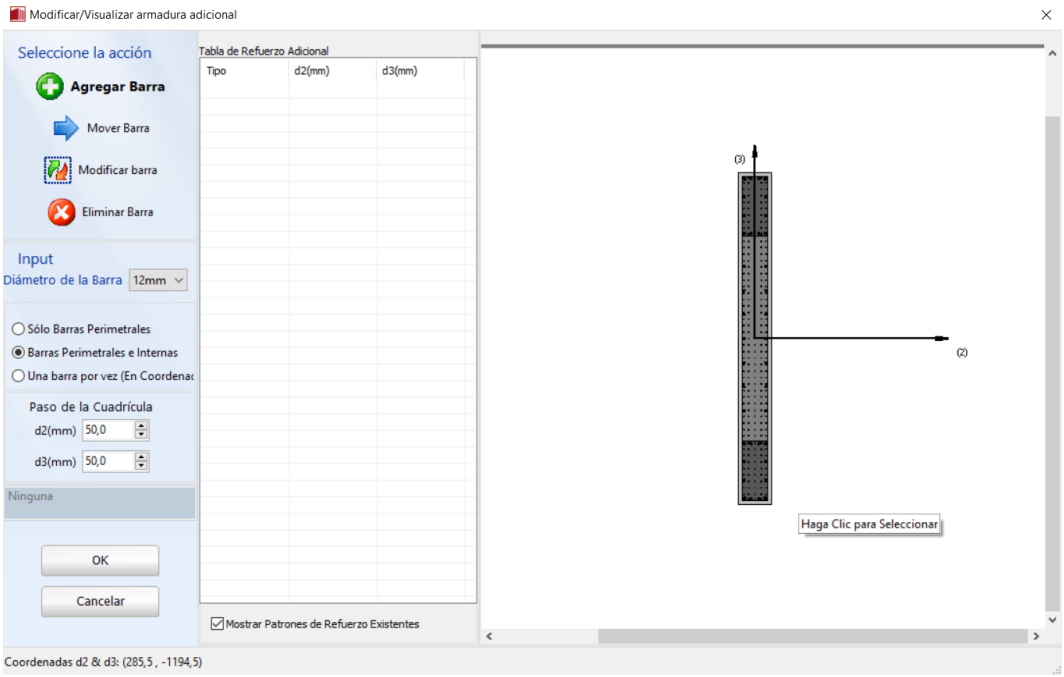
Ventana de Cargas Distribuidas y de BordeEl refuerzo longitudinal y transversal puede definirse editando los controles de los patrones de reforzamiento relevantes.

Además, la opción para incluir pseudocolumnas está disponible en el área de refuerzo y el refuerzo longitudinal y transversal se puede definir editando los controles de patrón de refuerzo relevantes.



Patrón de Refuerzo

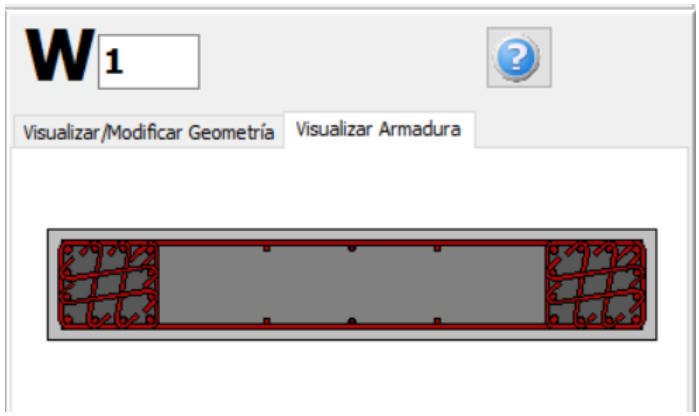
Agregar una única varilla de refuerzo longitudinal también puede hacerse a través del módulo de Varillas de Refuerzo Adicionales, donde el refuerzo adicional puede introducirse gráficamente como se muestra en la siguiente figura:



Ventana de Ver/Modificar refuerzo adicional

NOTA 1: Para poder agregar varillas longitudinales a través del módulo de Varillas de Refuerzo Adicionales, los usuarios deben primero insertar la sección en el modelo, para tener completamente definidas las dimensiones del muro, que son su longitud total y el ancho de las pseudo columnas.

En la Ventana de Propiedades los usuarios pueden escoger Ver el Refuerzo, donde se muestra la sección y su refuerzo (longitudinal y transversal), y Ver/Modificar Geometría, donde las dimensiones de la sección pueden verse y modificarse.



Vista de Refuerzo

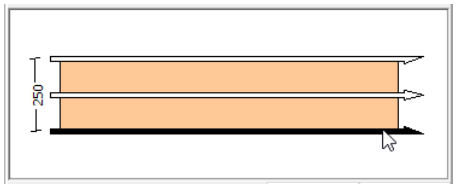
También se pueden agregar aisladores en diferentes ubicaciones del muro. Se asignan a través del módulo Aislador, donde el usuario puede seleccionar la geometría (ubicación -punto inferior, superior o intermedio- y la altura del aislador), su tipo (elastomérico, elastomérico con nucleo de plomo o deslizador de superficie curva) y los parámetros del aislador: las rigideces vertical y horizontal, y el límite elástico al corte y la relación de endurecimiento por deformación (para aisladores elastoméricos y elastoméricos con nucleo de plomo, que se modelan como tipo de elemento isolator 1) o el coeficiente de fricción y el radio del péndulo, conocidos como Friction Pendulum System FPS (para deslizadores de superficie curva, que son modelado como tipo de elemento isolator2).

Además, envolturas de FRP pueden asignarse a elementos de columna a través del módulo de Envoltura FRP, donde los usuarios pueden seleccionar la envoltura FRP de una lista de los productos más comunes que se encuentran en el mercado, o introducir valores definidos por el usuario.

En el área de Modelado avanzado, la configuración basada en código del miembro estructural también se puede definir a través del cuadro de diálogo Propiedades Avanzadas de Miembro que se abre desde el botón correspondiente. Los parámetros de modelado del miembro también se pueden definir desde el cuadro de diálogo Parámetros de Modelado, al que se accede mediante el botón correspondiente.

NOTA 2: Cuando la sección está encamisada, en el módulo Propiedades de miembro avanzadas, los usuarios deben tomar decisiones sobre los parámetros, para tener en cuenta toda la sección, es decir, tanto las partes existentes como las nuevas.

Al contrario de la definición de columnas, donde un simple clic es suficiente para definir el miembro, en las secciones de muro se deben delinear dos puntos en la Ventana del Modelador de Edificios. La línea de inserción puede estar en el centro o en cualquiera de las dos caras del muro; esto se puede determinar haciendo clic en cualquiera de las tres líneas en la ventana Ver / Modificar geometría (la línea negra es la opción seleccionada).



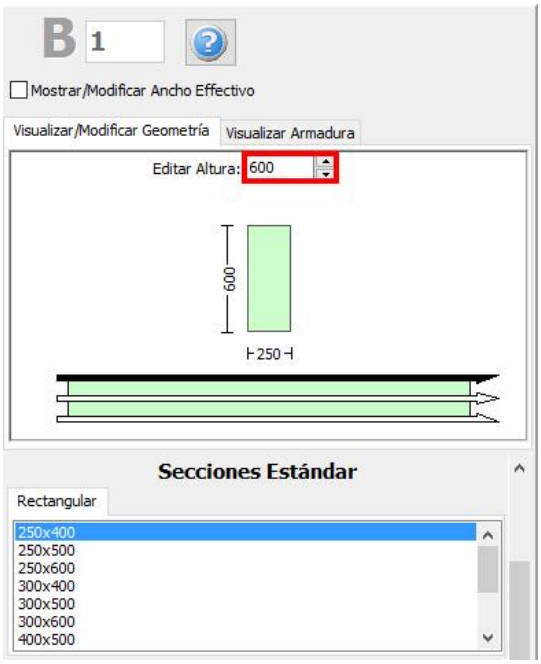
Selección de la línea de inserción



Inserción del muro

Vigas (Simples o Encamisadas)

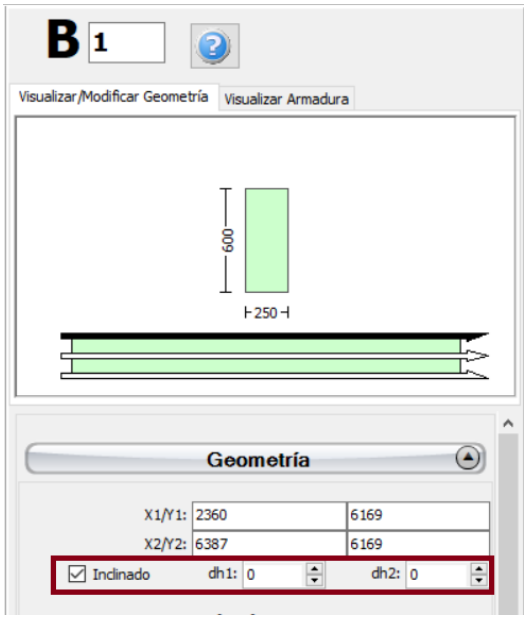
Las vigas insertarse desde el menú principal (*Insertar > Viga...*) o a través del botón correspondiente de la barra de herramientas . En la Ventana de Propiedades que aparece, los usuarios pueden adaptar las dimensiones de la sección ya sea en Ver/Modificar Geometría o seleccionando una sección de las secciones estándar predefinidas.



Editar dimensiones de secciones

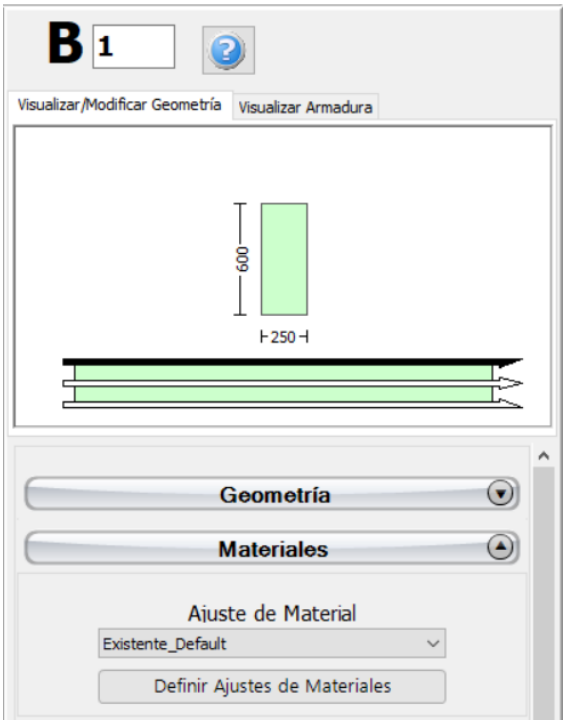
Vigas inclinadas pueden insertarse eficientemente especificando las diferencias de elevación entre los dos extremos de la viga relativos a la altura del piso. La altura de las columnas de apoyo se adapta automáticamente.

NOTA 1: En el caso de vigas soportadas por la misma columna en alturas distintas, el programa automáticamente subdivide el miembro de columna, de manera que se simula efectivamente la columna corta que se genera.



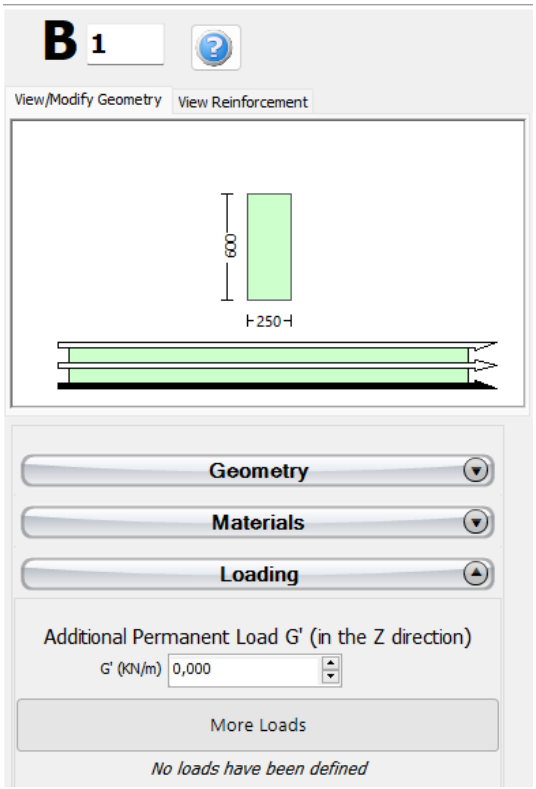
Viga Inclinada

Las propiedades del conjunto de materiales se pueden definir desde el menú principal (Herramientas> Definir conjuntos de materiales), mediante el botón de la barra de herramientas correspondiente , o mediante el botón Definir conjuntos de materiales dentro de la Ventana de propiedades del miembro. Los valores requeridos para la definición de las propiedades de los materiales dependen del tipo de miembros, es decir, miembros nuevos o existentes. Por defecto, hay dos esquemas de materiales, uno para los elementos existentes y otro para los nuevos.



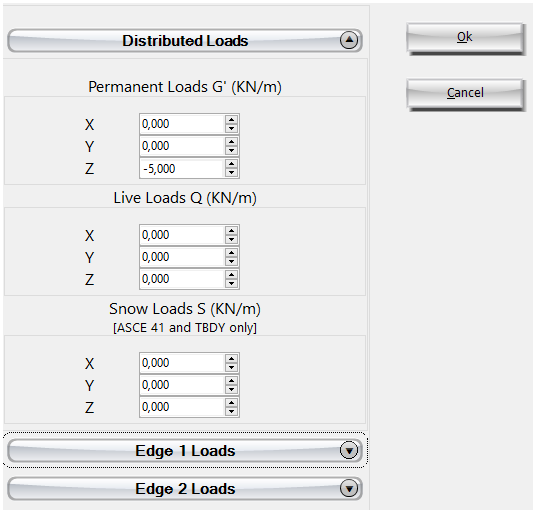
Materiales

En el módulo de secciones de vigas también se podrá asignar carga distribuida permanente adicional, que servirá para definir cualquier carga no asociada al peso propio de la estructura (por ejemplo, remates, rellenos, carga variable, etc).



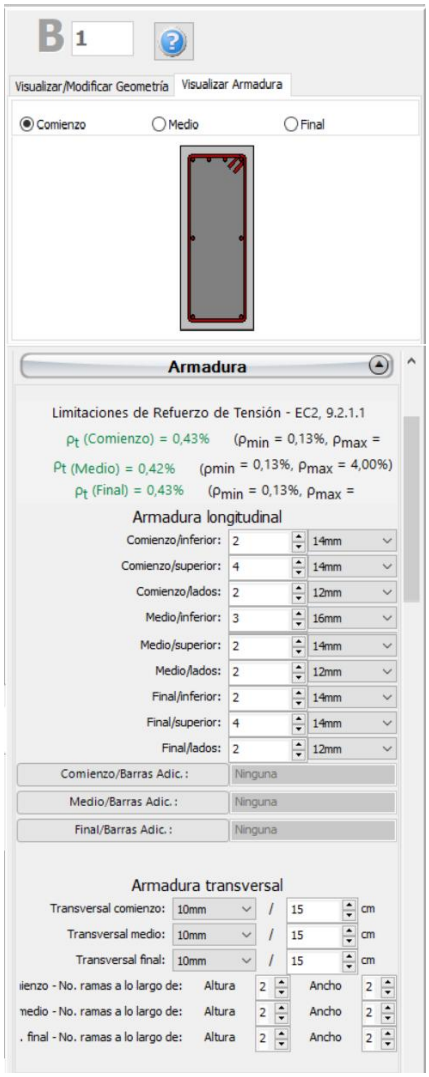
Cargas

También se pueden definir cargas haciendo clic en el botón Más Cargas. Los usuarios pueden definir fuerzas distribuidas uniformemente a lo largo de la longitud del miembro en las tres direcciones translacionales X, Y o Z, y fuerzas o momentos en cualquier dirección translacional o rotacional (X, Y, Z, RX, RY o RZ) en cualquiera de los dos bordes del miembro (inicio o fin). Se pueden aplicar cargas permanentes G' (no asociadas con el peso propio de la estructura), cargas vivas Q y cargas de nieve S, siendo estas últimas aplicables solo a ASCE 41 y TBDY. Por defecto, todas las cargas son iguales a cero.



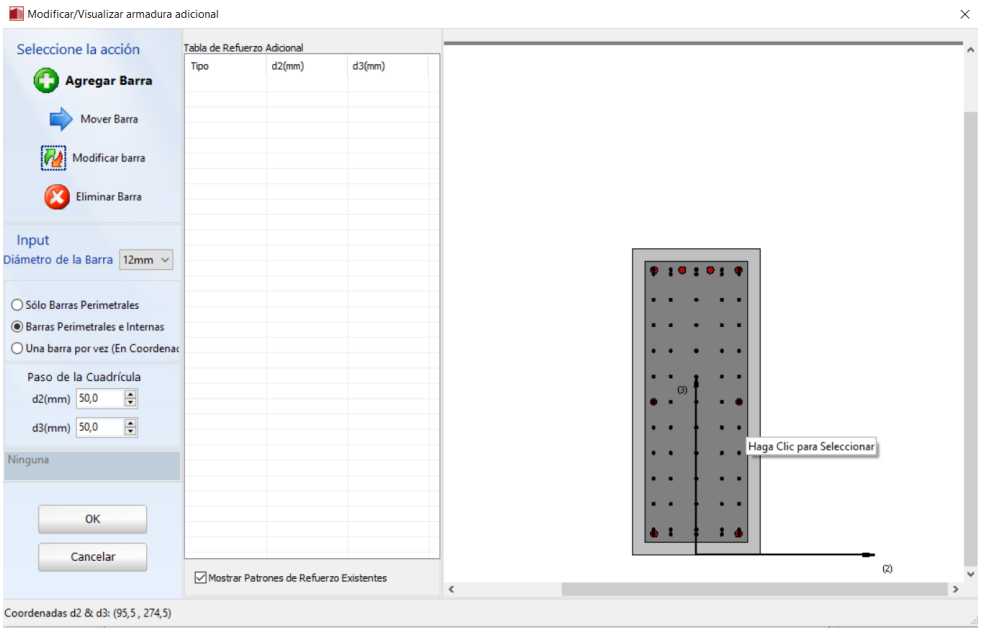
Ventana de Cargas Distribuidas y de Borde

El refuerzo longitudinal y transversal puede definirse editando los controles de los patrones de reforzamiento relevantes. Diferentes patrones de refuerzo pueden definirse en centro y los extremos de la viga.



Patrón de refuerzo

Agregar una única barrade refuerzo longitudinal también puede hacerse a través del módulo de Varillas de Refuerzo Adicionales, donde el refuerzo adicional puede introducirse gráficamente como se muestra en la siguiente figura:

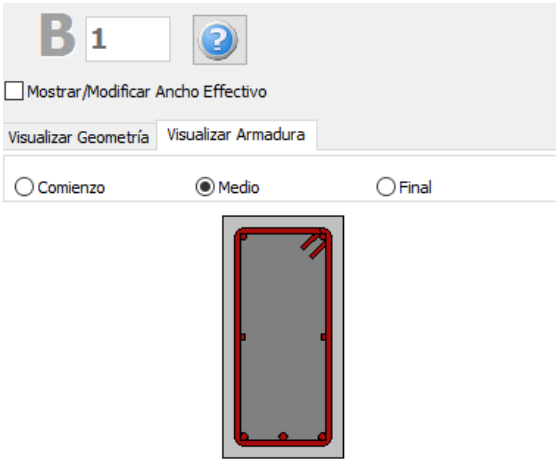


Ver/Modificar ventana de refuerzo adicional

En la Ventana de Propiedades los usuarios pueden escoger Ver el Refuerzo, donde se muestra la sección y su refuerzo (longitudinal y transversal), y Ver/Modificar Geometría, donde las dimensiones de la sección pueden verse y modificarse.



Refuerzo al inicio de la Viga



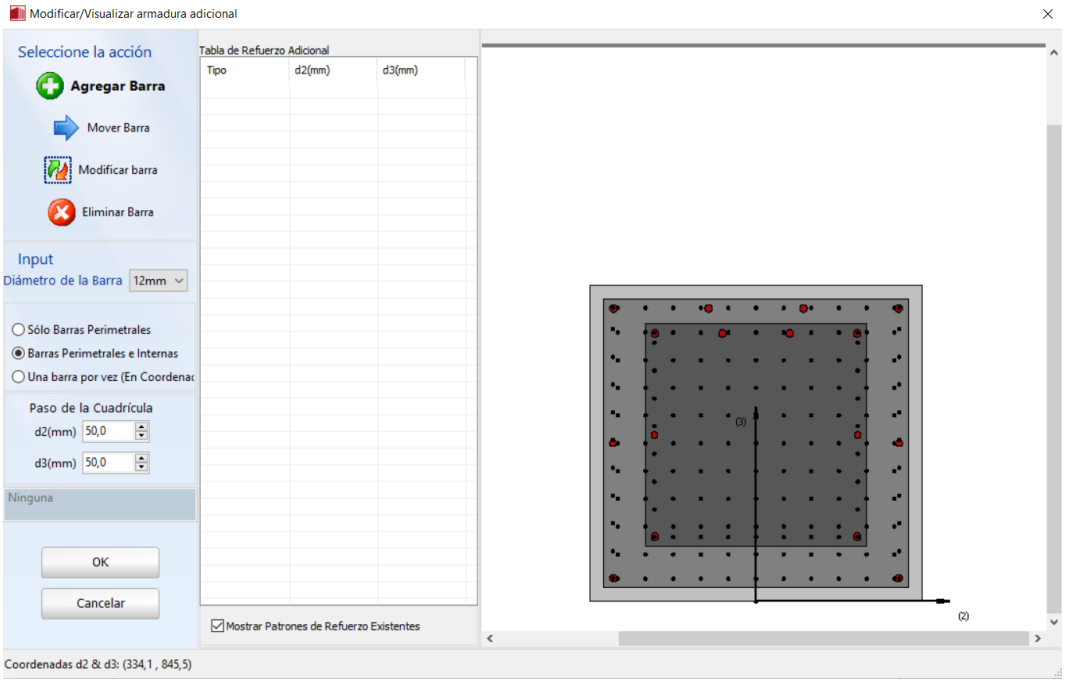
Refuerzo en el centro del claro de la viga

Los encamisados se pueden aplicar a la sección en el área de Encamisado seleccionando el tipo de encamisado, es decir, si es un encamisado completo, de1 cara, de2 caras o de3 caras, y asignando el conjunto de material y el refuerzo longitudinal y transversal del encamisado.



Encamisado

La adición de barras de refuerzo longitudinales únicas al encamisado también se puede realizar a través del módulo de Barras Adicionales correspondiente, donde se pueden introducir armaduras adicionales de manera gráfica tanto en la parte existente como en la nueva, como se muestra en la siguiente figura:



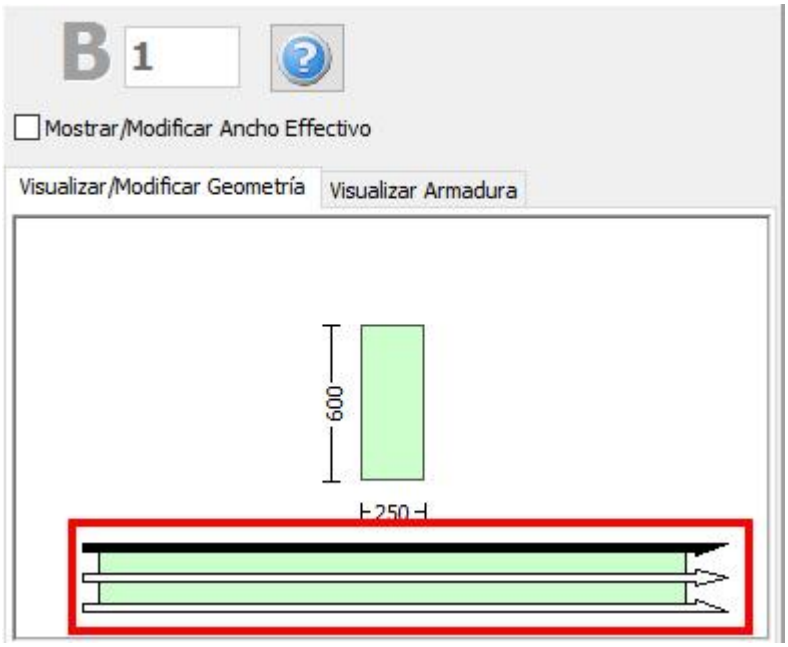
Ventana de Modificación / Visualización de armaduras adicionales

Además, los recubrimientos de FRP pueden asignarse a los elementos de viga mediante el módulo de Revestimiento con FRP, donde los usuarios pueden seleccionar el recubrimiento de FRP de una lista con los productos más comunes del mercado o introducir valores definidos por el usuario.

Los ajustes basados en código de los miembros estructurales también pueden definirse a través de la ventana de diálogo de Propiedades Avanzadas de Miembro que se abre con el botón correspondiente. Los Parámetros de Modelaje del Miembro se pueden definir desde el cuadro de diálogo Parámetros del Modelaje, al que se accede mediante el botón correspondiente.

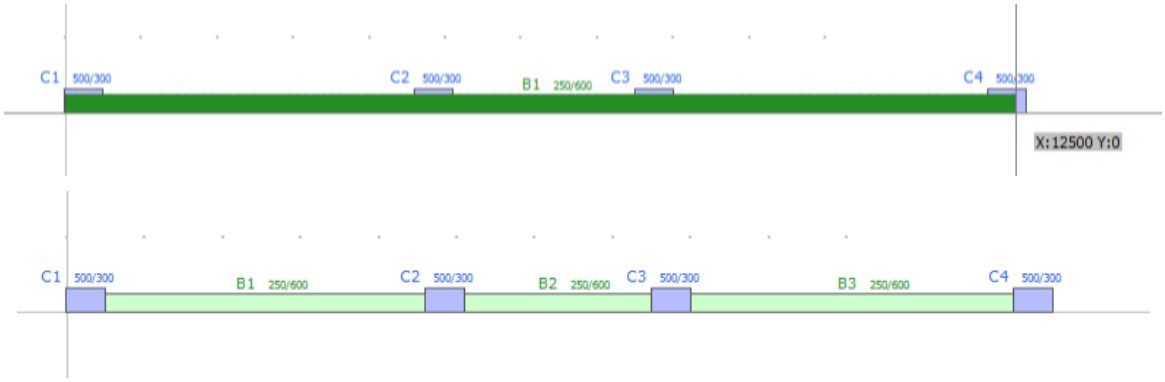
NOTA 2: Cuando la sección está encamisada, en el módulo Propiedades de miembro avanzadas, los usuarios deben tomar decisiones sobre los parámetros, para tener en cuenta toda la sección, es decir, tanto las partes existentes como las nuevas.

De manera similar a los muros, para la definición de una viga deben delinearse dos puntos en la Ventana Principal. La línea de inserción puede ser central o estar en los dos lados de la viga; esto puede determinarse haciendo clic en cualquiera de las tres líneas en la ventana de Ver/Modificar Propiedades (la línea negra es la opción preseleccionada).



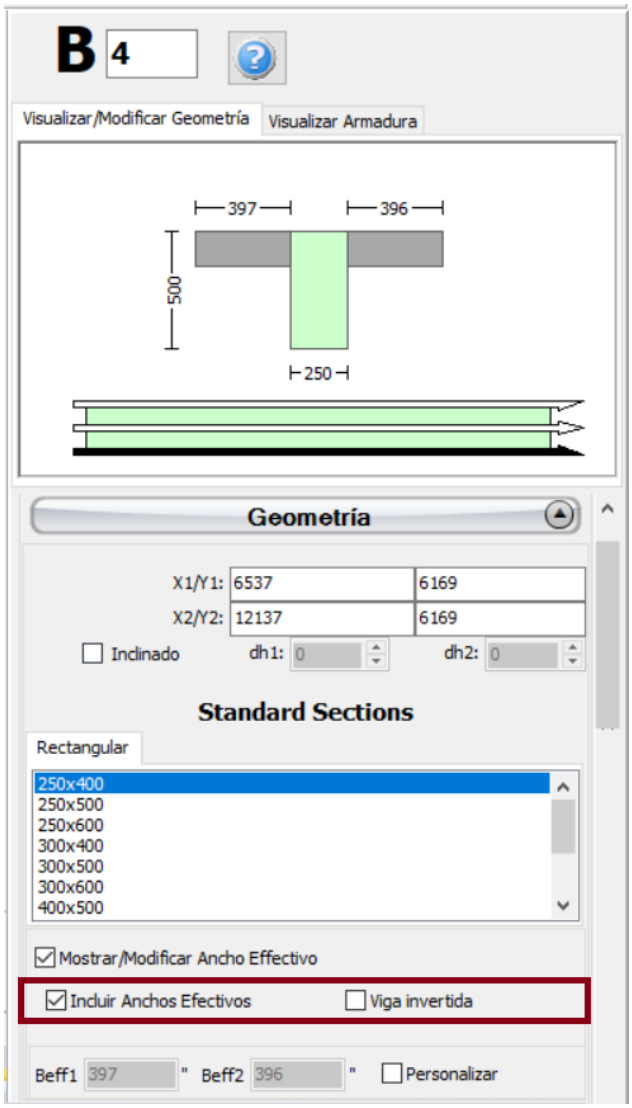
Selección de la línea de inserción

Cada viga asignada interseca una columna o muro existente, automáticamente se subdivide en dos miembros. Consecuentemente, varias vigas pueden definirse de manera simultánea con solo dos clics.



Insertando 3 vigas en una sola acción

Luego de la definición de las losas, dos opciones adicionales aparecen en la área de Geometría de la Ventana de Propiedades de las Vigas, (i) seleccionar si incluir o no el ancho efectivo de la viga en los cálculos y (ii) seleccionar si una viga está invertida o no. El ancho efectivo se calcula automáticamente por el programa, pero también puede ser modificado por el usuario.



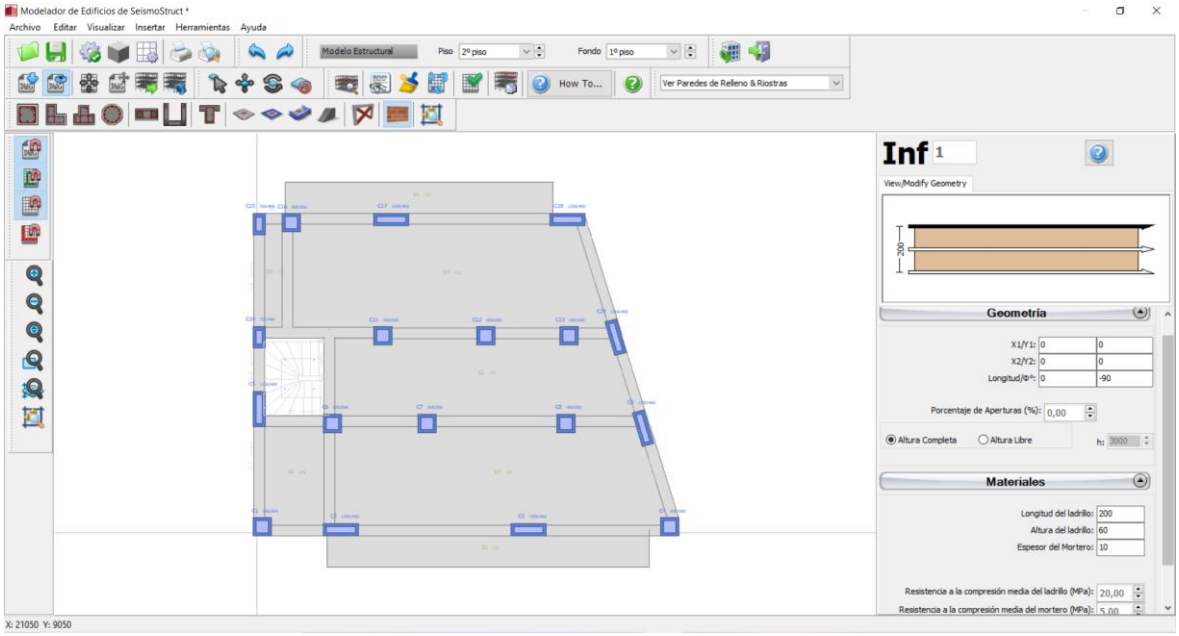
Ventana de Propiedades de Vigas (luego de la definición de las losas)

Paredes de Relleno

Las paredes de relleno se pueden insertar desde el menú principal (Insertar> Insertar pared de relleno) o mediante el botón correspondiente de la barra de herramientas  . En la ventana Propiedades que aparece, los usuarios pueden adaptar los principales parámetros que afectan la resistencia y rigidez del nuevo pared de relleno.

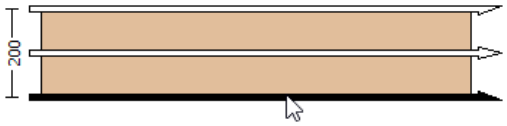
(i) Las dimensiones, longitud y altura del ladrillo
(ii) El espesor del mortero
(iii) Las resistencias a la compresión del ladrillo y el mortero
(iv) El porcentaje de aberturas en la pared y
(v) El peso específico de la pared.

Es posible definir una altura de pared de relleno diferente a la altura general del piso, mediante la selección del botón de opción Altura Libre y la asignación de su altura. Cuando se selecciona esta opción, el programa subdivide automáticamente las columnas vecinas en miembros más cortos. Si, por otro lado, se selecciona el botón de opción Altura completa, entonces el miembro tiene la misma altura que la altura del piso.

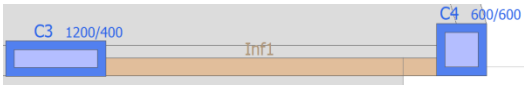


Editar los Parámetros del Pared de Relleno

De manera similar a los muros y las vigas, se deben delinear dos puntos en la Ventana del Modelador de edificios con el mouse. La línea de inserción puede estar en el centro o en cualquiera de los dos lados del relleno; esto se puede determinar haciendo clic en cualquiera de las tres líneas en la ventana Ver / Modificar geometría (la línea negra es la opción seleccionada).



Selección de la línea de inserción

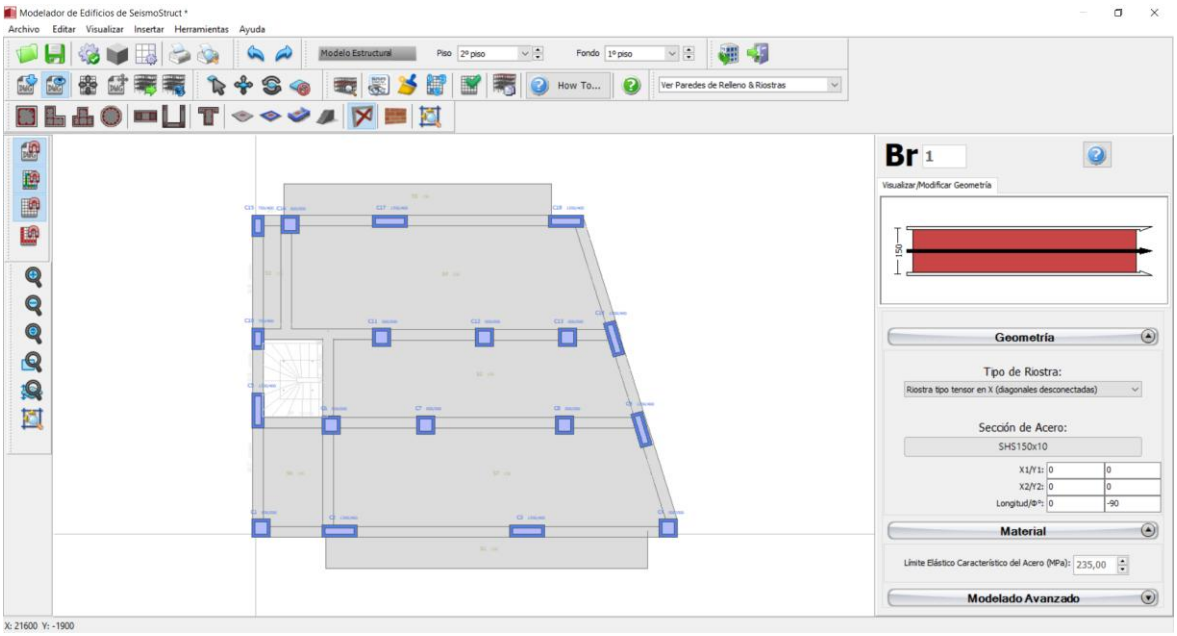


Insertando un Pared de Relleno

Riostras de Acero

Las Riostras de Acero se pueden insertar desde el menú principal (Insertar> Insertar Riostra de Acero) o mediante el botón correspondiente de la barra de herramientas  . En la ventana Propiedades que aparece, los usuarios pueden adaptar los principales parámetros que afectan la resistencia y rigidez de la nueva Riostra.

(i) Tipo de Riostra: Actualmente, los siguientes tipos están disponibles: (i) Riostra tipo tensor en X con diagonales conectadas, (ii) Riostra tipo trensor en X con diagonales desconectadas, (iii) Riostra Diagonal, (iv) Riostra diagonal invertida, (v) Riostra de Tipo V y (vi) Riostra de Tipo V Invertida (Riostra de Chevron).
(ii) La sección de acero de los miembros de la riostra
(iii) El límite elástico del acero de la riostra
(iv) El tipo de conexión al pórtico de (articulada o fija)
(v) Los parámetros de modelado



Editar Parámetros de la Riostra

De manera similar a los muros y las vigas, se deben delinear dos puntos en la Ventana del Modelador de edificios con el mouse. La línea de inserción puede estar en el centro o en cualquiera de los dos lados de la riostra; esto se puede determinar haciendo clic en cualquiera de las tres líneas en la ventana Ver / Modificar geometría (la línea negra es la opción seleccionada).

Contrariamente a los otros miembros estructuralesque se definen con dos clics del mouse, en las Riostras de Acero no es necesario especificar el ancho de la riostra, ya que esta se considera automáticamente a partir de la sección de acero seleccionada.

Se observa que las vigas, que se encuentran debajo de la riostra de tipo V y sobre la riostra de tipo V invertida, se subdividen automáticamente por el programa.



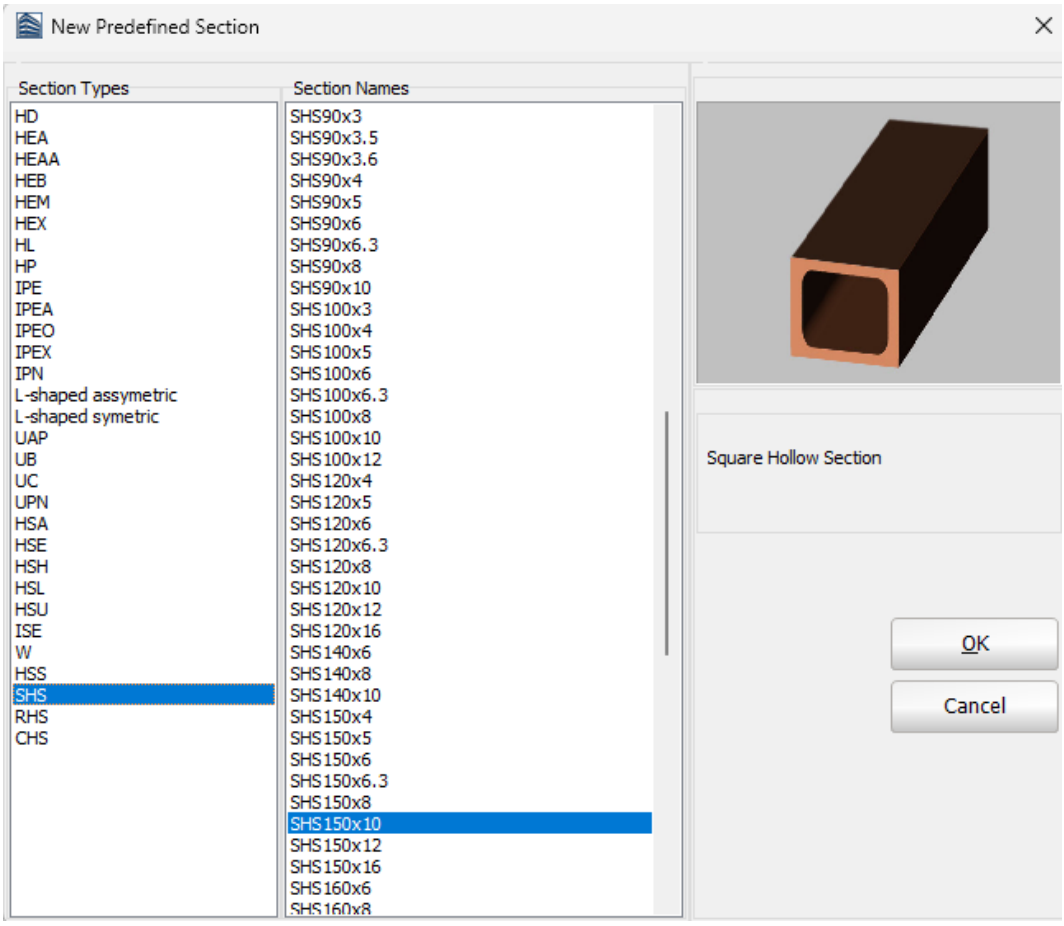
Selección de la línea de inserción



Insertando un Pared de Relleno

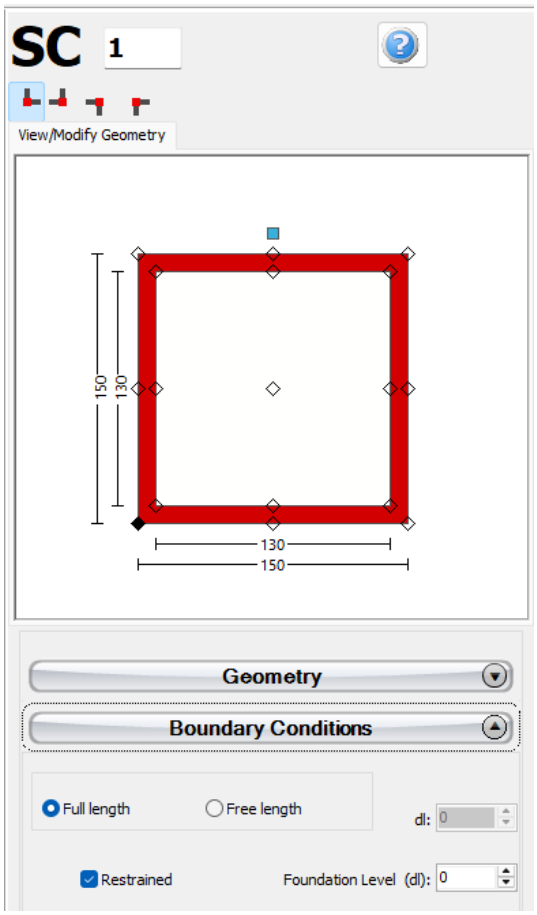
Columna de Acero

Las columnas de acero pueden insertarse desde el menú principal (Insertar > Columna de Acero) o mediante el botón correspondiente de la barra de herramientas . En la Ventana de Propiedades que aparece, los usuarios seleccionan una sección de entre las secciones estándar predefinidas.



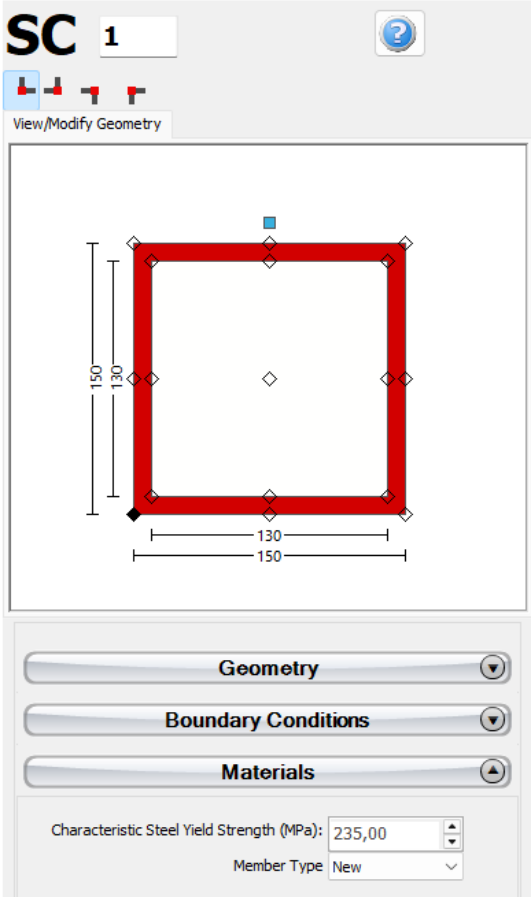
Secciones predefinidas

Es posible definir una altura de columna de acero distinta de la altura general del piso seleccionando el botón de opción *Longitud libre* y asignando una longitud diferente. Si, por el contrario, se selecciona el botón de opción *Longitud completa*, entonces el elemento tiene la misma altura que la altura del piso. Además, puede ajustarse el nivel de cimentación de la columna de acero, lo que permite al usuario definir distintos niveles de cimentación.



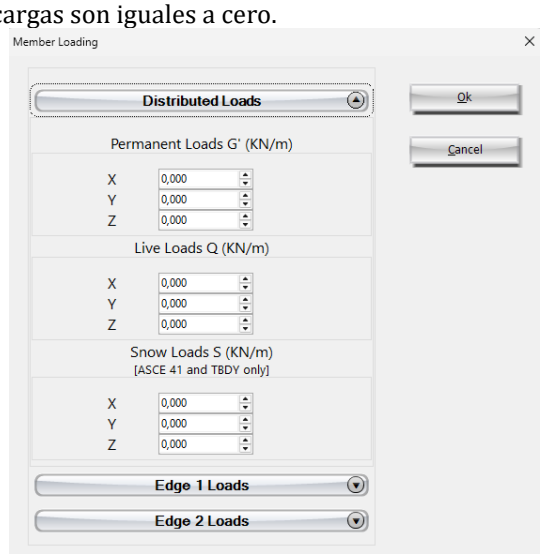
Condiciones de Contorno

Las propiedades del acero pueden definirse dentro de la Ventana de Propiedades del elemento. Deben definirse la resistencia característica a fluencia del acero y el tipo de elemento, es decir, si se trata de un elemento existente o nuevo.



Materiales

Las cargas adicionales pueden definirse haciendo clic en el botón Cargas Distribuidas y en Borde. Los usuarios pueden definir fuerzas distribuidas uniformes a lo largo de la longitud del elemento en las tres direcciones de traslación X, Y o Z, así como fuerzas o momentos en cualquier dirección de traslación o rotación (X, Y, Z, RX, RY o RZ) en cualquiera de los dos extremos del elemento (inferior o superior). Pueden aplicarse cargas permanentes adicionales G' (no asociadas al peso propio de la estructura), cargas de uso Q y cargas de nieve S, siendo estas últimas aplicables solo a ASCE 41 y TBDY. De forma predeterminada, todas las cargas son iguales a cero.

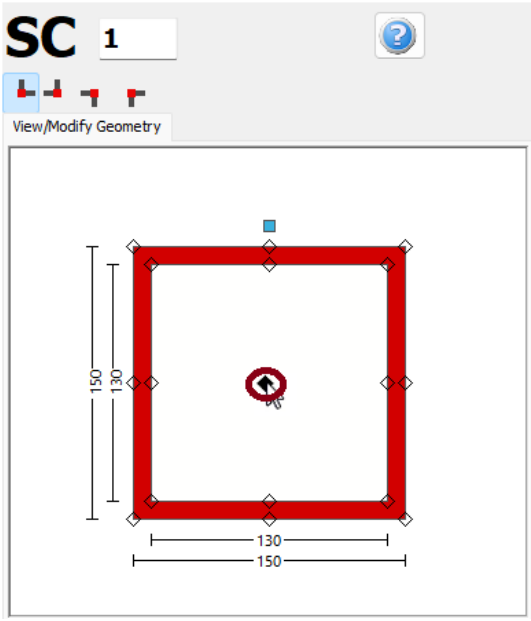


Ventana de Cargas Distribuidas y en Borde

También pueden añadirse aisladores en diferentes ubicaciones de la columna. Se asignan a través del módulo de Aisladores, donde los usuarios pueden seleccionar la geometría (ubicación —inferior, superior o punto intermedio— y la altura del aislador), su tipo (elastomérico, con núcleo de plomo o deslizador de superficie curva) y los parámetros del aislador: las rigideces vertical y horizontal, y la resistencia al corte y la relación de endurecimiento por deformación (para los aisladores elastoméricos y con núcleo de plomo, que se modelan como tipo de elemento *isolator1*) o el coeficiente de fricción y el radio del péndulo (para los deslizadores de superficie curva, también conocidos como Sistema de Péndulo por Fricción (FPS), que se modelan como tipo de elemento *isolator2*).

En el área de Modelado Avanzado, los ajustes basados en normativa del miembro estructural pueden definirse a través del cuadro de diálogo Propiedades Avanzadas del Miembro, que se abre desde el botón correspondiente. Los parámetros de modelado del miembro también pueden definirse desde el cuadro de diálogo Parámetros de Modelado, accesible mediante su botón correspondiente.

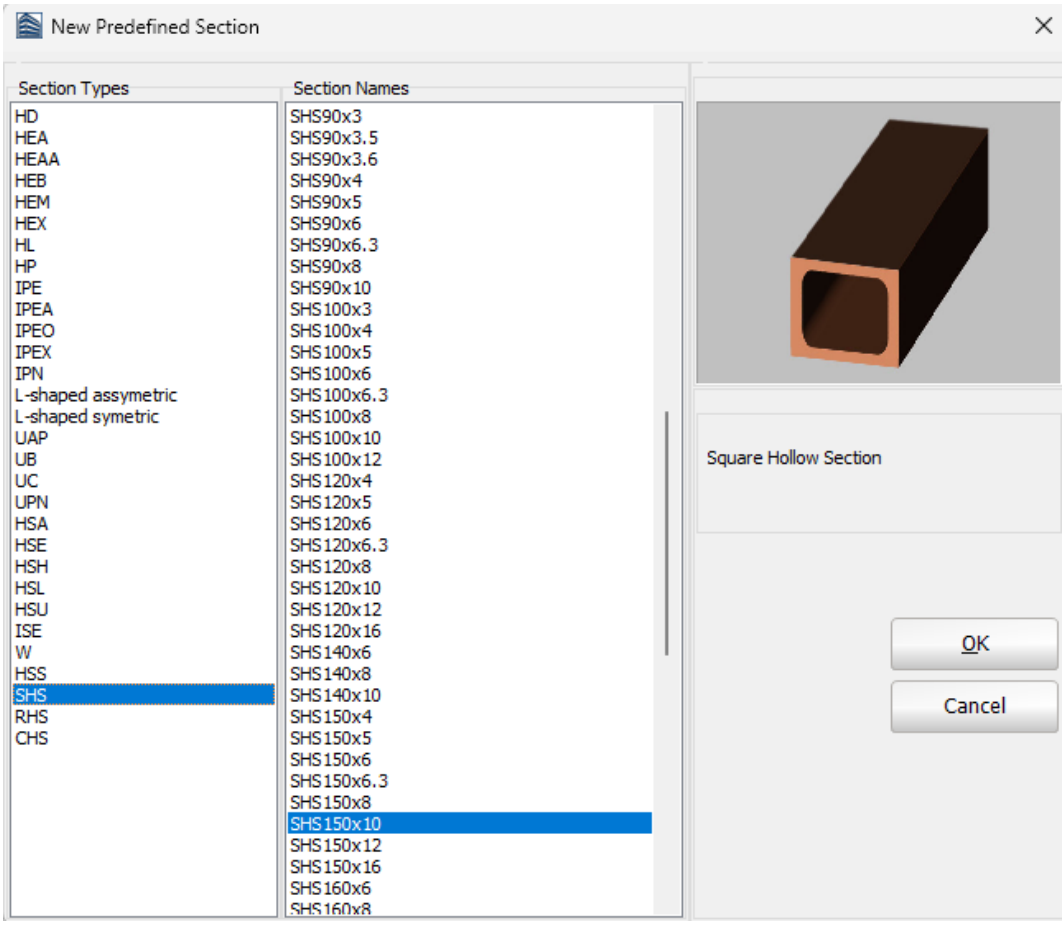
Después de definir todas las propiedades de la sección, el nuevo miembro puede añadirse con un simple clic en la Ventana Principal del Building Modeller. La ubicación de la sección que corresponde al punto de inserción (es decir, el clic del ratón) y la rotación de la sección en la vista en planta pueden seleccionarse desde la ventana Propiedades del Miembro.



Seleccionando el punto de inserción

Vigas de Acero

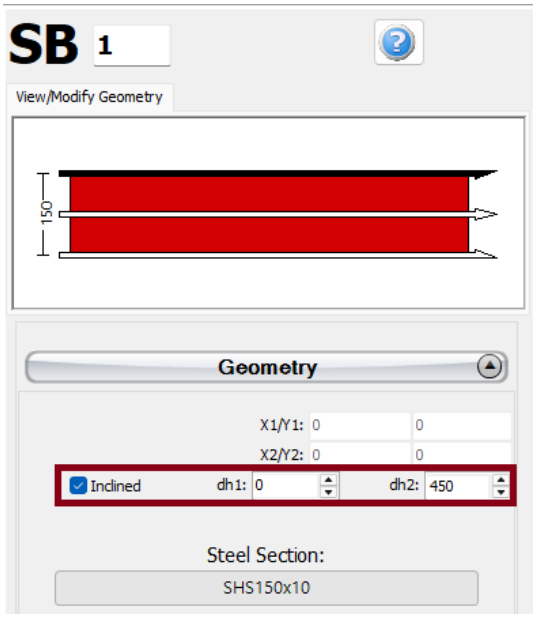
Las vigas de acero pueden insertarse desde el menú principal (Insertar > Viga de Acero) o mediante el botón correspondiente de la barra de herramientas  . En la Ventana de Propiedades que aparece, los usuarios seleccionan una sección de entre las secciones estándar predefinidas.



Secciones predefinidas

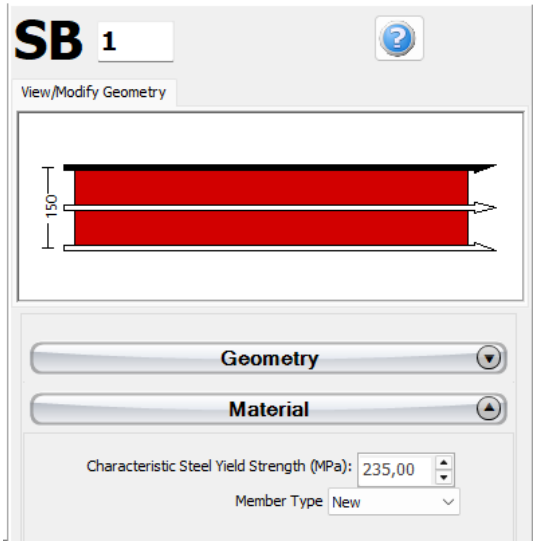
Las vigas inclinadas pueden modelarse de manera eficiente especificando las diferencias de elevación entre los dos extremos de la viga con respecto a la altura del piso. La altura de las columnas de apoyo se adapta automáticamente.

NOTA 1: En el caso de que las vigas estén apoyadas en la misma columna a diferentes alturas, el programa subdivide automáticamente el elemento de la columna, de modo que se simule eficazmente la columna corta que se genera.



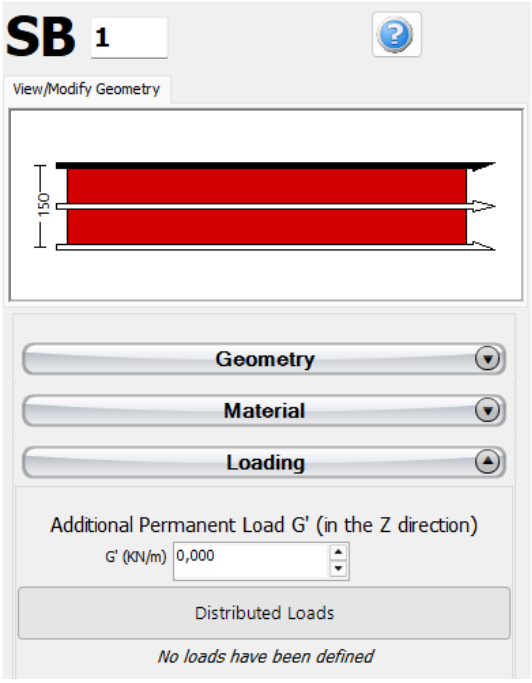
Viga inclinada

Las propiedades del acero pueden definirse dentro de la Ventana de Propiedades del elemento. Deben definirse la resistencia característica a la fluencia del acero y el tipo de miembro, es decir, si se trata de un miembro existente o nuevo.



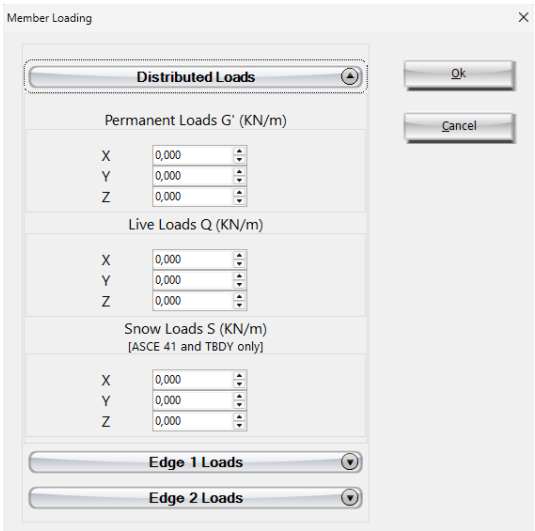
Material

En el módulo de secciones de la viga también puede asignarse una carga distribuida permanente adicional, la cual servirá para definir cualquier carga no asociada al peso propio de la estructura (por ejemplo, acabados, rellenos, cargas variables, etc.).



Cargas

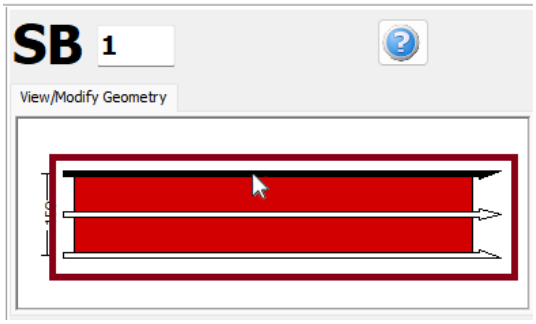
También pueden definirse cargas haciendo clic en el botón Más Cargas. Los usuarios pueden definir fuerzas distribuidas uniformes a lo largo de la longitud del elemento en las tres direcciones de traslación X, Y o Z, así como fuerzas o momentos en cualquier dirección de traslación o rotación (X, Y, Z, RX, RY o RZ) en cualquiera de los dos extremos del elemento (inicio o fin). Pueden aplicarse cargas permanentes adicionales G' (no asociadas al peso propio de la estructura), cargas de uso Q y cargas de nieve S, siendo estas últimas aplicables únicamente a ASCE 41 y TBDY. De forma predeterminada, todas las cargas son iguales a cero.



Ventana de Cargas Distribuidas y en Borde

En el área de Modelado Avanzado, los ajustes basados en normativa del miembro estructural pueden definirse mediante el cuadro de diálogo Propiedades Avanzadas del Miembro, que se abre desde el botón correspondiente.
Los parámetros de modelado del miembro también pueden definirse desde el cuadro de diálogo Parámetros de Modelado, al cual se accede mediante su botón correspondiente.

Para la definición de una viga deben señalarse dos puntos en la Ventana Principal. La línea de inserción puede ubicarse en el centro o en cualquiera de los dos lados de la viga; esto puede determinarse haciendo clic en cualquiera de las tres líneas en la opción Ver/Modificar Geometría (la línea negra es la opción seleccionada).

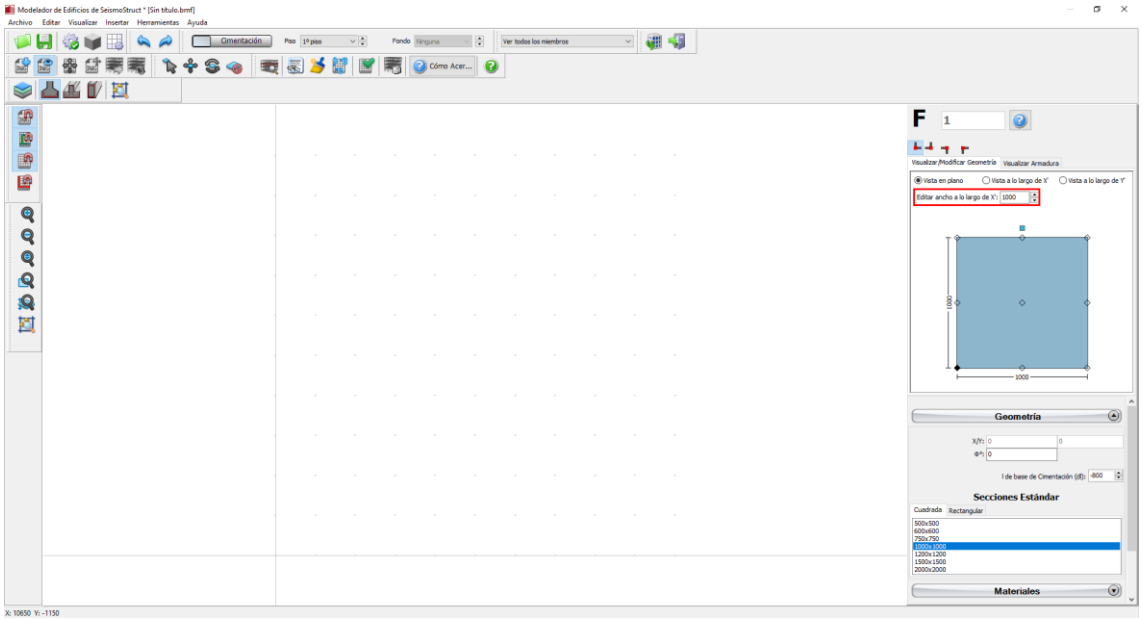


Seleccionando la línea de inserción

Cuando una viga asignada intersecta una columna o un muro existente, se subdivide automáticamente y, por lo tanto, se crean dos elementos. En consecuencia, pueden definirse varias vigas en fila con solo dos clics.

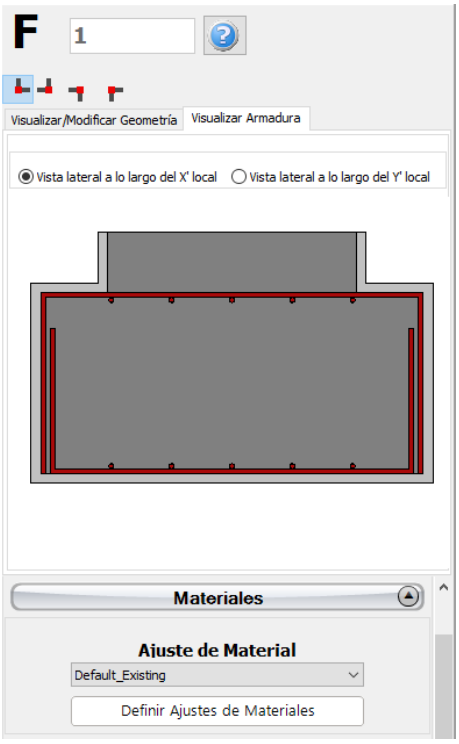
Zapatas Individuales

Las zapatas individuales se pueden insertar a través del botón correspondiente de la barra de herramientas. En la Ventana de Propiedades que aparece, los usuarios pueden adaptar las dimensiones de la zapata ya sea en la ventana Ver/Modificar Geometría o seleccionando una sección de las secciones estándar predefinidas (cuadrada o rectangular).



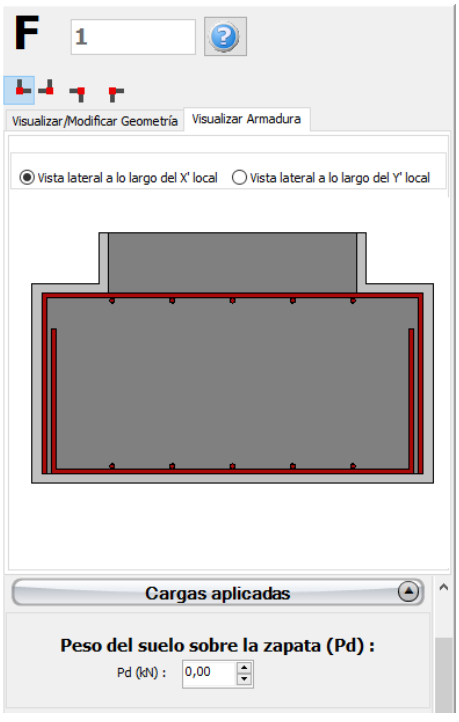
Editar las dimensiones de la Zapata

Las propiedades del conjunto de materiales se pueden definir desde el menú principal (Herramientas> Definir conjuntos de materiales), mediante el botón de la barra de herramientas correspondiente , o mediante el botón Definir conjuntos de materiales dentro de la Ventana de propiedades del miembro. Los valores requeridos para la definición de las propiedades de los materiales dependen del tipo de miembros, es decir, miembros nuevos o existentes. Por defecto, hay dos esquemas de materiales, uno para los elementos existentes y otro para los nuevos.



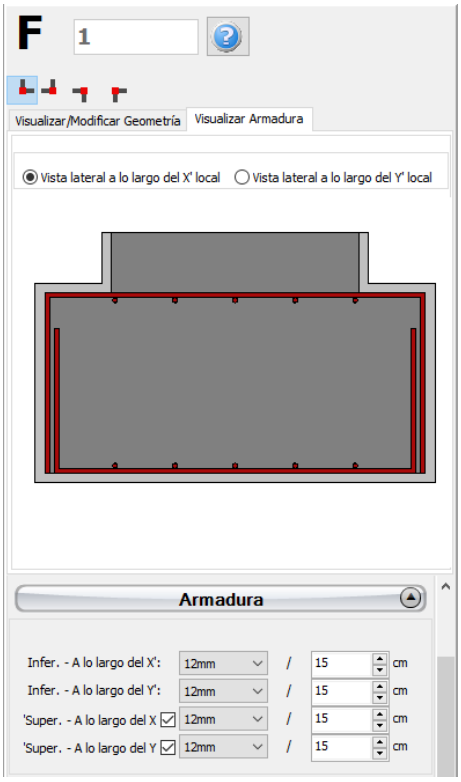
Materiales

La carga adicional a la Zapata Individual desde el suelo se puede especificar en el módulo de carga.



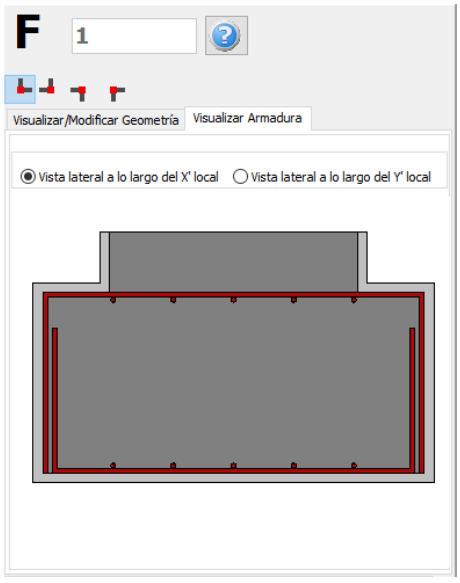
Carga

Además, el refuerzo de la parte inferior y superior de la zapata individual en las dos direcciones de refuerzo puede definirse editando los controles de patrón de refuerzo relevantes.



Patrón de refuerzo

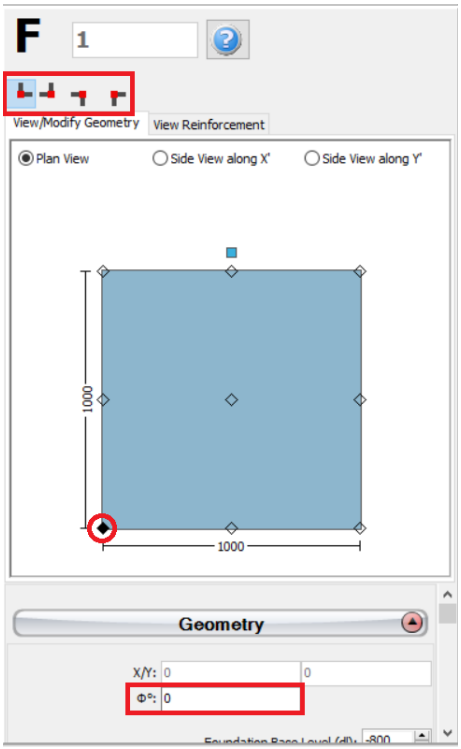
En la Ventana de Propiedades los usuarios pueden escoger Vistas del Refuerzo, donde se muestra la sección y su refuerzo (longitudinal y transversal), y Ver/Modificar Geometría, donde las dimensiones de la zapata pueden verse y modificarse.



Vistas del refuerzo

Los ajustes basados en código de las zapatas pueden definirse a través de la ventana de diálogo de Propiedades Avanzadas de Miembro que se abre con el botón correspondiente. Los Parámetros de Modelaje de la zapata se pueden definir desde el cuadro de diálogo Parámetros del Modelaje, al que se accede mediante el botón correspondiente.

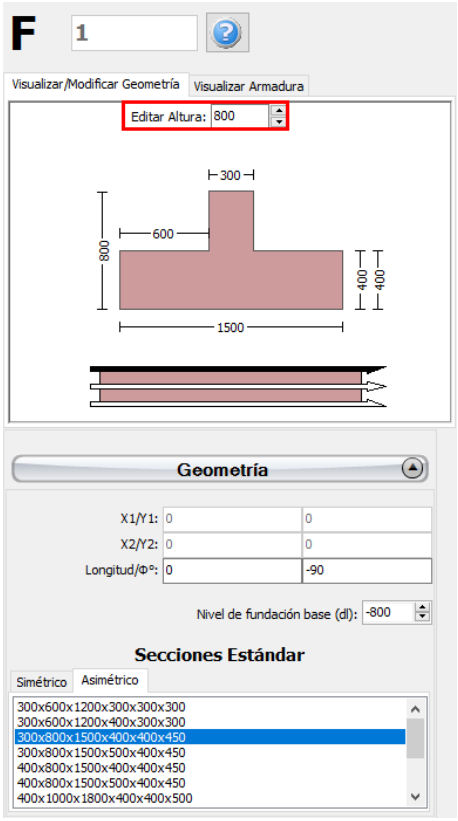
Después de definir todas las propiedades de la zapata individual, se puede agregar el nuevo miembro con un simple clic en la ventana principal del Building Modeller. La ubicación de la Zapata que corresponde al punto de inserción (es decir, el clic del mouse) y la rotación del miembro en la vista en planta se pueden seleccionar desde la ventana Propiedades del miembro.



Seleccionar el punto de inserción y rotar la vista en planta de la zapata individual

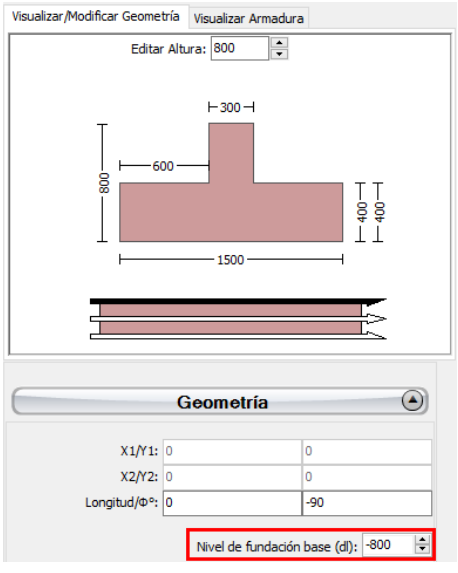
Zapata corrida

Las Zapatas Corridas insertarse desde el menú principal (*Insertar > Viga Corrida...*) o a través del botón correspondiente de la barra de herramientas. En la Ventana de Propiedades que aparece, los usuarios pueden adaptar las dimensiones de la sección ya sea en Ver/Modificar Geometría. La longitude de la Zapata corrida se define gráficamente con su inserción especificando el punto del inicio y el punto del fin.



Editar las dimensiones de la sección

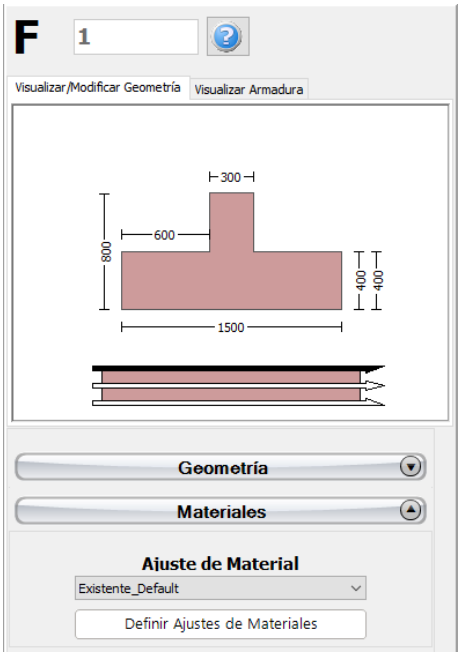
El nivel de base de la zapata corrida se puede adaptar en relación con el nivel de fundación del edificio, para definir un nivel de fundación diferente para alguna zapata corrida particular.



Nivel de Fundación de la base de la zapata

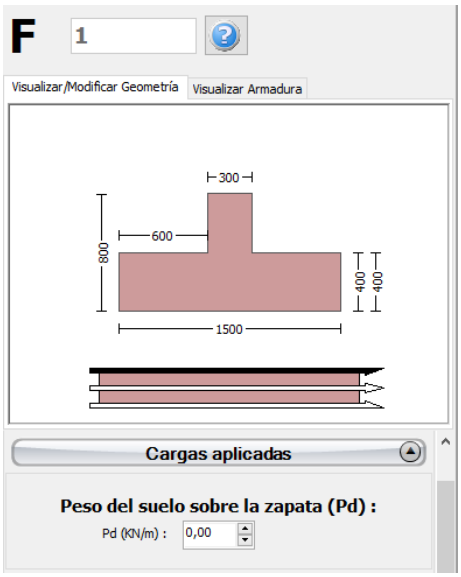
Las propiedades del conjunto de materiales se pueden definir desde el menú principal (Herramientas> Definir conjuntos de materiales), mediante el botón de la barra de herramientas correspondiente , o mediante el botón Definir conjuntos de materiales dentro de la Ventana de propiedades del miembro. Los valores requeridos para la definición de las propiedades de los materiales dependen del tipo de

miembros, es decir, miembros nuevos o existentes. Por defecto, hay dos esquemas de materiales, uno para los elementos existentes y otro para los nuevos.



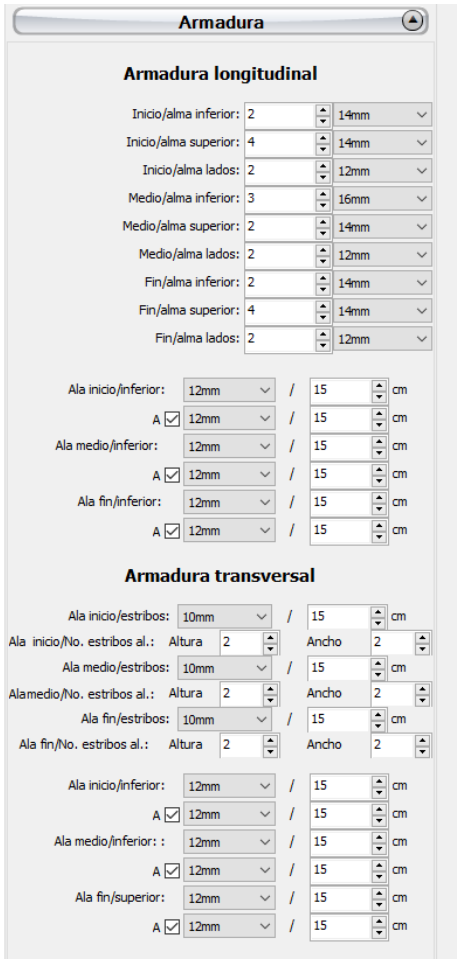
Materiales

La carga adicional a la Zapata Corrida desde el suelo se puede especificar en el módulo de carga.



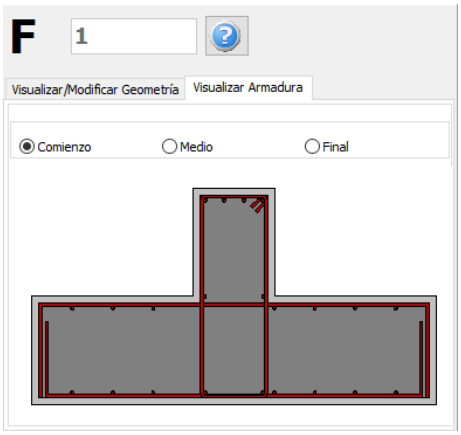
Carga

Además, el refuerzo longitudinal y transversal se puede definir editando los controles de patrón de refuerzo relevantes en el modulo de refuerzo.



Patrón de refuerzo

En la Ventana de Propiedades los usuarios pueden escoger Vista del Refuerzo, donde se muestra la sección y su refuerzo (longitudinal y transversal), y Ver/Modificar Geometría, donde las dimensiones de la zapata pueden verse y modificarse.



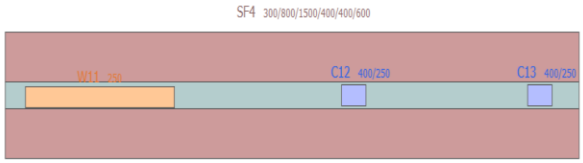
Vistas del Refuerzo

Los ajustes basados en código de las Zapatas Corridas pueden definirse a través de la ventana de diálogo de Propiedades Avanzadas de Miembro que se abre con el botón correspondiente. Los Parámetros de Modelaje de la Zapata Corrida se pueden definir desde el cuadro de diálogo Parámetros del Modelaje, al que se accede mediante el botón correspondiente.

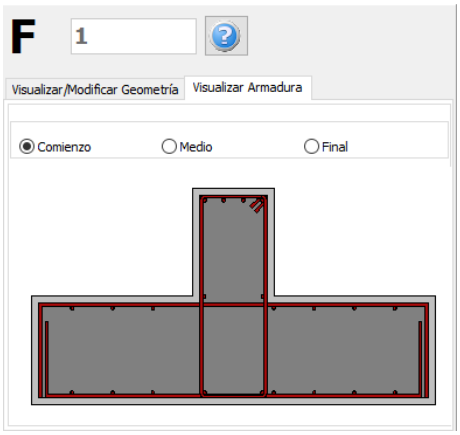
Al contrario de la definición de Zapatas Individuales, donde un simple clic es suficiente para definir el miembro, en las secciones de Zapata Corrida se deben definir dos puntos en la ventana del Modelador de edificios. La línea de inserción puede estar en el centro o en cualquiera de los dos lados de la Zapata Corrida; esto se puede determinar haciendo clic en cualquiera de las tres líneas en la ventana Ver/Modificar geometría (la línea negra es la opción seleccionada).



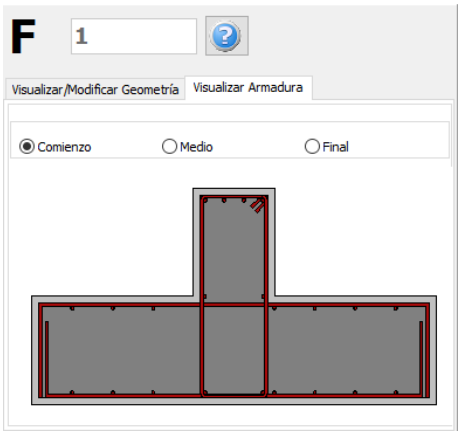
Seleccione la línea de inserción



Inserción de Zapata Corrida



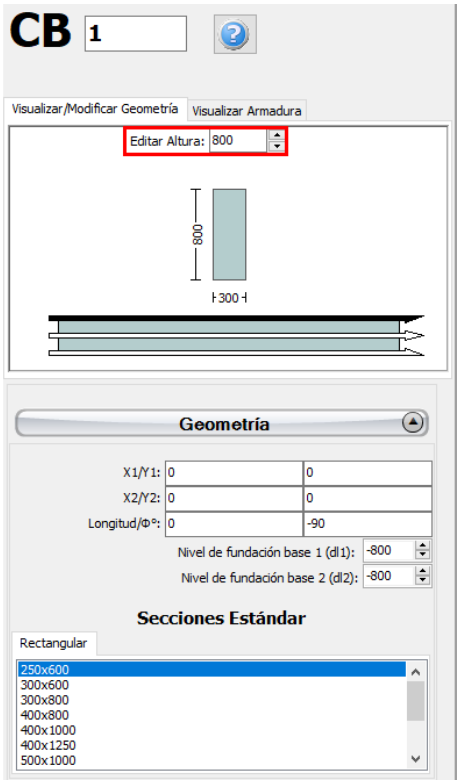
Refuerzo de la sección inicial de la Zapata Corrida



Refuerzo de la sección media de la Zapata Corrida

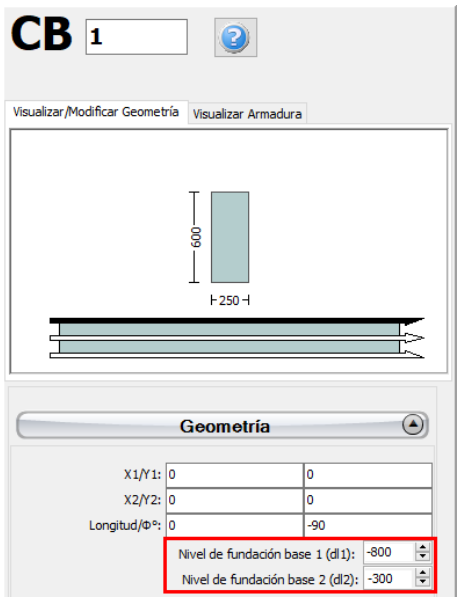
Viga de Conexión

Las Vigas de Conexión se pueden insertar desde el menú principal (*Insertar > Viga de Conexión ...*) o a través del botón correspondiente de la barra de herramientas  . En la ventana de propiedades que aparece, los usuarios pueden adaptar las dimensiones de la sección en la ventana Ver/Modificar geometría o seleccionando una sección de las secciones estándar predefinidas.



Editar las dimensiones de la sección

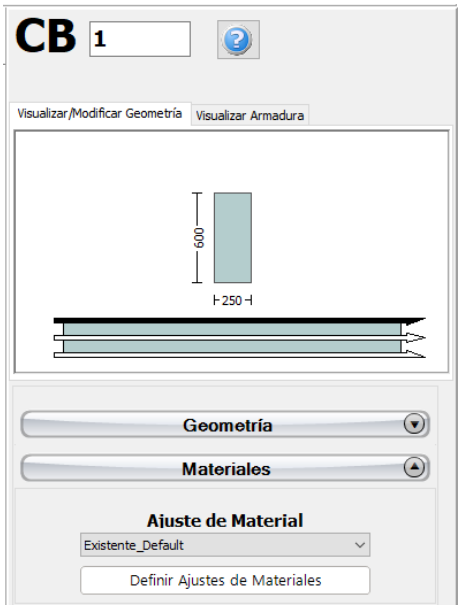
Las Vigas de Conexión inclinadas se pueden modelar eficientemente especificando las diferencias de elevación de los dos extremos de las Vigas de Conexión en relación con el nivel de base de la fundación.



Viga de Conexión inclinada

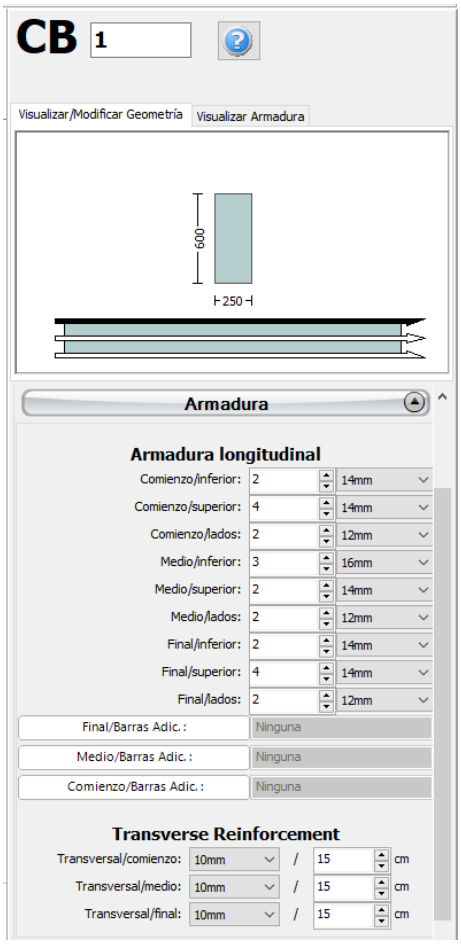
Las propiedades del conjunto de materiales se pueden definir desde el menú principal (Herramientas> Definir conjuntos de materiales), mediante el botón de la barra de herramientas correspondiente , o mediante el botón Definir conjuntos de materiales dentro de la Ventana de propiedades del miembro. Los valores requeridos para la definición de las propiedades de los materiales dependen del tipo de

miembros, es decir, miembros nuevos o existentes. Por defecto, hay dos esquemas de materiales, uno para los elementos existentes y otro para los nuevos.



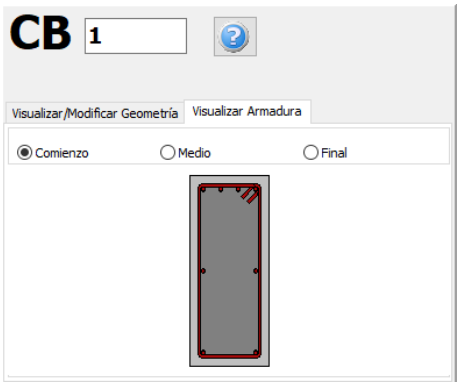
Materiales

Además, el refuerzo longitudinal y transversal se puede definir editando los controles de patrón de refuerzo relevantes en el modulo de refuerzo. Se pueden definir diferentes patrones de refuerzo en el medio y en los dos extremos de la Viga.

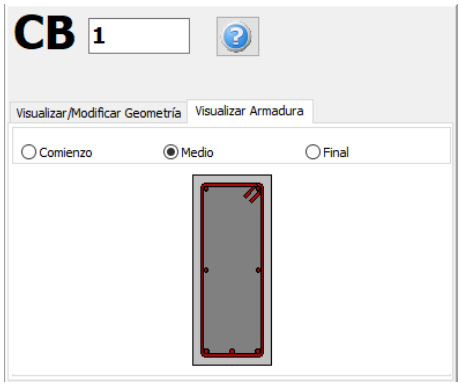


Patrón de refuerzo

En la Ventana de Propiedades, los usuarios pueden elegir entre Vista del Refuerzo, donde se muestra el refuerzo de las secciones inicial, media y final (longitudinal y transversal), y Ver/Modificar Geometría, donde se pueden ver y modificar las dimensiones de la sección.



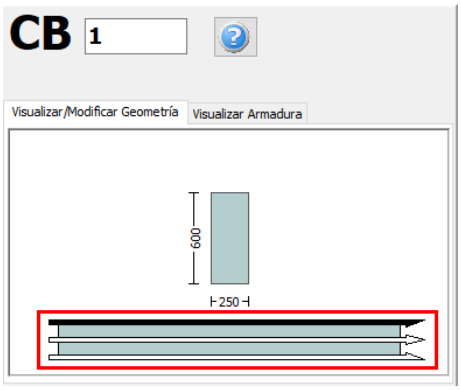
Refuerzo de la sección de inicio de la Viga de Conexión



Refuerzo de la sección media de la Viga de Conexión

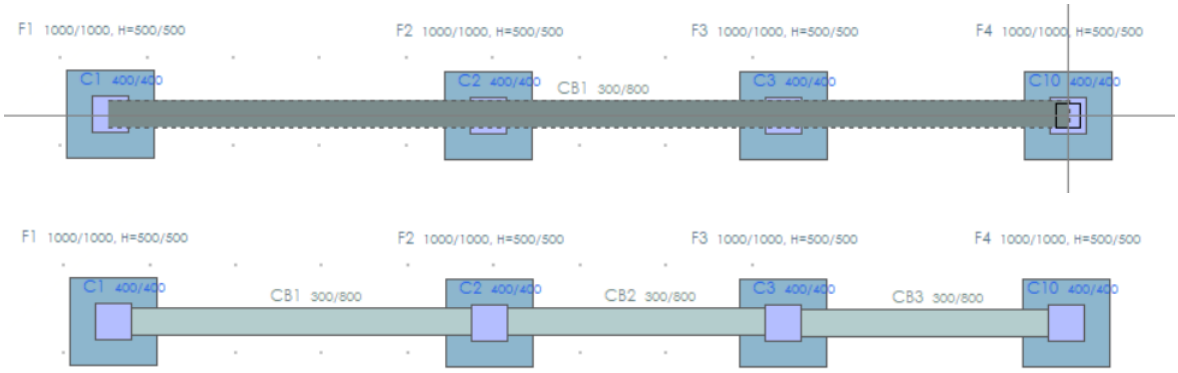
Los ajustes basados en código de las Vigas de Conexión pueden definirse a través de la ventana de diálogo de Propiedades Avanzadas de Miembro que se abre con el botón correspondiente. Los Parámetros de Modelaje de la Viga de Conexión se pueden definir desde el cuadro de diálogo Parámetros del Modelaje, al que se accede mediante el botón correspondiente.

De manera similar a las vigas la definición de las Vigas de Conexión se deben definir dos puntos en la ventana principal del Modelador de Edificios. La línea de inserción puede estar en el centro o en cualquiera de los dos lados de la Viga de Conexión; esto se puede determinar haciendo clic en cualquiera de las tres líneas en la ventana Ver/Modificar geometría (la línea negra es la opción seleccionada).



Selección del punto de inserción

Cuando una Viga de Conexión asignada se interseca con una Zapata o Zapata Corrida existente, se subdivide automáticamente y se crean dos miembros. Consecuentemente, varias vigas pueden definirse de manera simultánea con solo dos clics.



Insertando 3 Vigas de Conexión en una sola acción

Apéndice F – Clases de Elementos

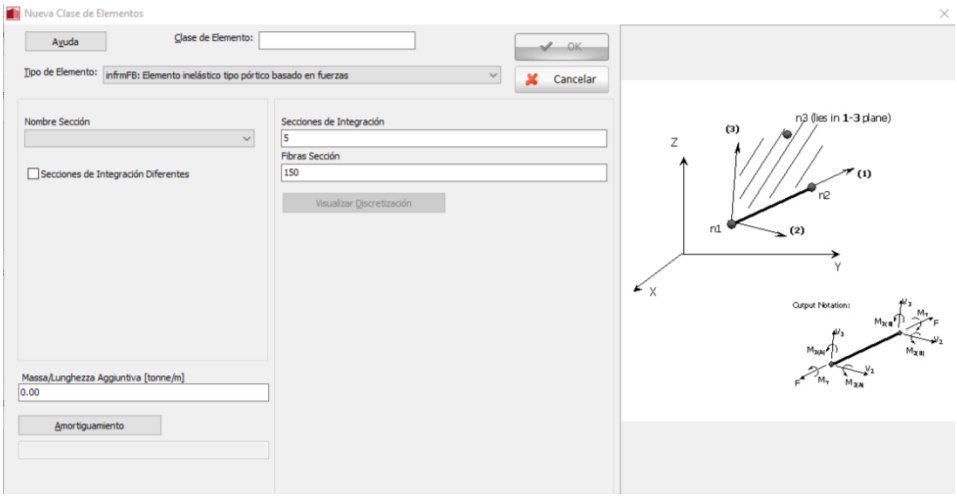
En este apéndice se describen en detalle los tipos de elementos disponibles.

TIPOS DE ELEMENTOS VIGA-COLUMNA

Elementos inelásticos de pórtico - infrmFB

Son elementos 3D viga-columna que permiten modelar miembros de pórticos espaciales con no linealidades geométricas y de los materiales. Como se describe en la sección sobre Inelasticidad de los materiales, el estado de esfuerzo-deformación de una sección de un elemento viga-columna se obtiene mediante la integración de la respuesta uniaxial no lineal del material en cada una de las fibras individuales en las cuales se ha subdividido la sección, de forma tal que se tiene en cuenta la propagación de la inelasticidad a lo largo de la longitud del miembro y en la altura de la sección.

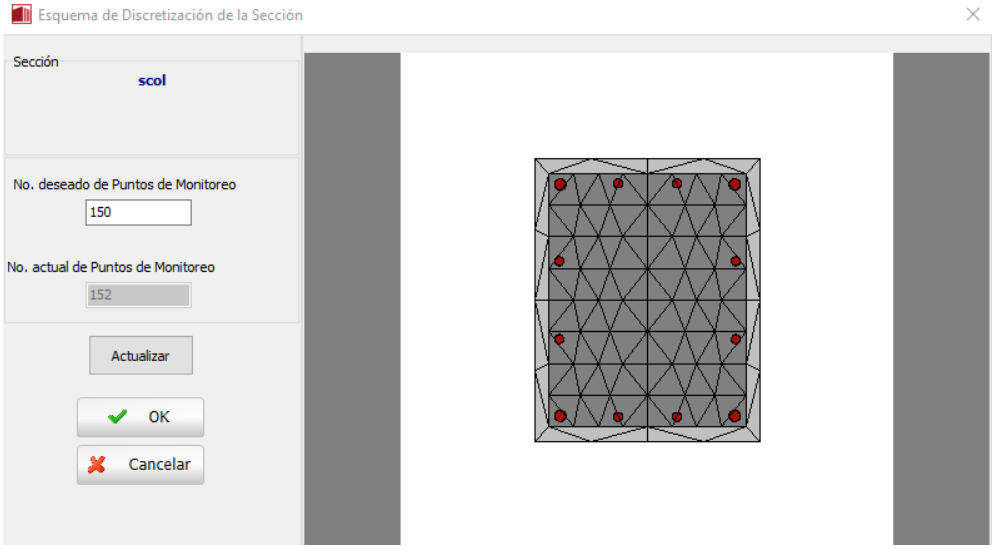
El elemento*infrmFB* es el más preciso de los cuatro tipos de elementos de marco inelásticos de SeismoStruct, ya que es capaz de capturar el comportamiento inelástico a lo largo de toda la longitud del miembro estructural, aun cuando se usa solamente un solo elemento por miembro. Por tanto, permite al usuario obtener resultados muy precisos en los análisis, al mismo tiempo que da la posibilidad de obtener la rotación de cuerda de los elementos para llevar a cabo revisiones de cumplimiento de código (p. ej. Eurocode 8, NTC-18, KANEPE, ASCE/SEI 7-05, etc.). El número de fibras se sección usadas en los cálculos de equilibrio que se llevan a cabo en cada sección de integración del elemento requiere ser definida. El usuario puede hacer clic en el botón de *Ver Discretización* para visualizar la triangulación de la sección (ver la figura abajo).



Definición de un nuevo elemento infrmFB

El número ideal de fibras, suficiente para garantizar una representación adecuada de la distribución de esfuerzos-deformaciones en la sección del elemento, varía con la forma y las características del material de ésta, y depende también del grado de inelasticidad al cual el elemento ha de ser llevado. Como regla aproximada general, puede considerarse que secciones compuestas por un solo tipo de material pueden ser representadas adecuadamente con 100 fibras, mientras que secciones más complicadas, sometidas a grandes niveles de inelasticidad, normalmente requieren el uso de 200 fibras o más. Sin embargo, y claramente, sólo un estudio de sensibilidad llevado a cabo por el usuario para cada caso particular puede determinar inequívocamente el número óptimo de fibras.

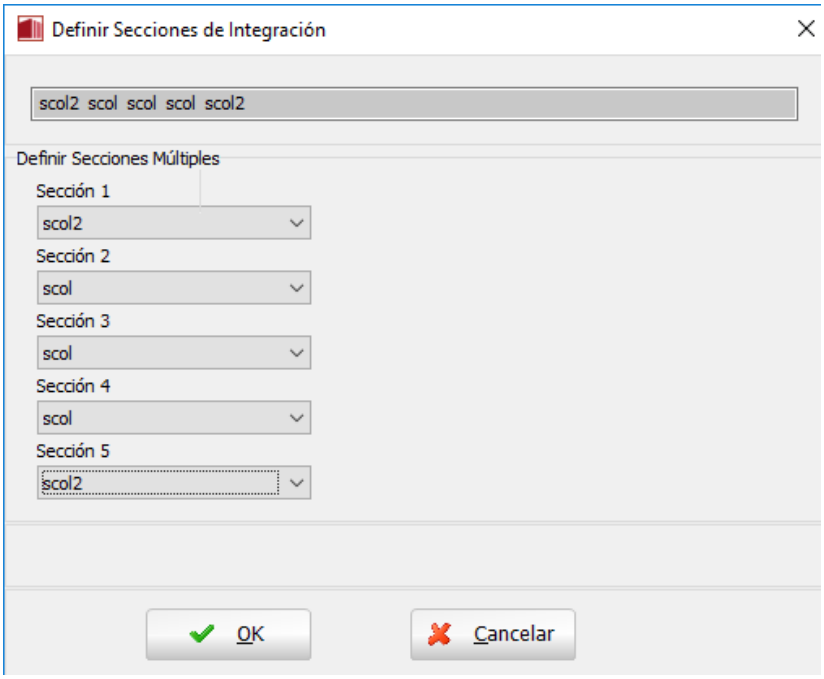
En la ventana de diálogo *Triangulación Sección*, el software muestra el número de puntos de monitoreo deseados y efectivo. Es posible actualizar la imagen de la discretización haciendo clic sobre el botón *Actualizar*.



Triangulación de la sección

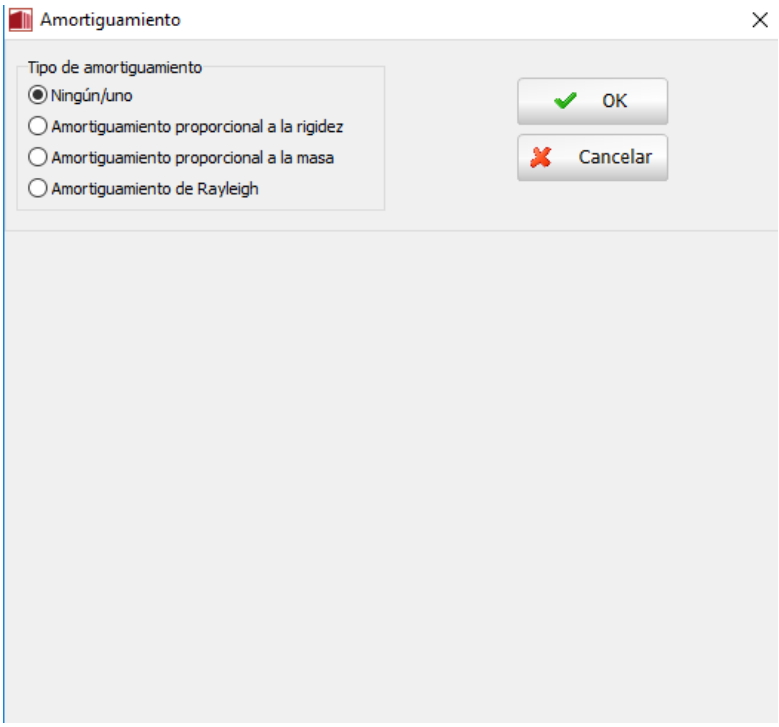
Adicionalmente, y sólo para el caso del elemento *infrmFB*, es necesario definir el número de secciones de integración. Habitualmente se adoptan entre 4 y 7 secciones de integración, aunque se invita cordialmente a los usuarios a consultar la literatura [por ej., Papadrakakis 2008; Calabrese et al. 2010] por mayores detalles sobre el asunto (se recuerda que la ubicación de dichas secciones de integración a lo largo de la longitud del elemento está indicada en Inelasticidad de los Materiales). En particular, debe notarse que hasta 7 secciones de integración pueden ser necesarias para modelar con precisión la respuesta con endurecimiento, mientras que, por otro lado, 4 ó 5 secciones de integración resultan aconsejables cuando se prevé que los elementos alcanzarán su rango de respuesta de softening.

NOTA: En lugar de subdividir los elementos para representar cambios en los detalles de armadura (ver arriba), es posible utilizar un solo elemento infrmFB por miembro y definir secciones múltiples. Debe notarse que estas secciones sólo pueden diferir en la armadura (es decir, el tipo de sección, dimensiones y materiales deben ser los mismos).



Secciones múltiples

En la ventana de diálogo de este elemento es posible definir también un valor de amortiguamiento específico del elemento, en contraste con el amortiguamiento global descrito en *General>Ajustes de Proyecto>Amortiguamiento*. Para hacerlo, los usuarios deben simplemente hacer clic sobre el botón *Amortiguamiento* y luego seleccionar el tipo de amortiguamiento que mejor se adapta al elemento en cuestión (por mayores detalles respecto a los tipos de amortiguamiento disponibles y consejos respecto de cuáles pueden ser las mejores opciones, ver el menú Amortiguamiento).

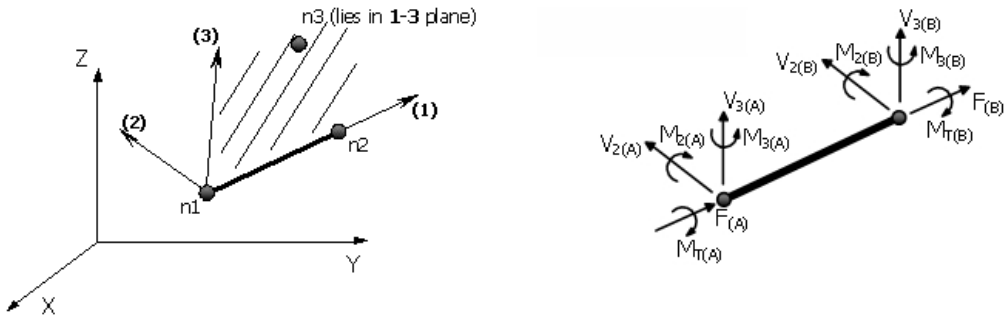


Definición de amortiguamiento especifico de un elemento

IMPORTANTE: El amortiguamiento definido a nivel de los elementos prevalece por sobre el amortiguamiento global, es decir, los coeficientes de la matriz de amortiguamiento calculados "a nivel global" asociados a los grados de libertad de un elemento dado serán reemplazados por los coeficientes calculados a través del producto de la matriz de masa del elemento y un parámetro proporcional a la masa, o a través del producto de la matriz de rigidez del elemento y un parámetro proporcional a la rigidez, o mediante el cálculo de una matriz de amortiguamiento de Rayleigh del elemento.

NOTA: Si se define amortiguamiento de Rayleigh a nivel del elemento utilizando coeficientes diferentes para distintos elementos o respecto de aquellos empleados en los ajustes de amortiguamiento global, entonces se está modelando un amortiguamiento de Rayleigh "no-clásico", ya que el amortiguamiento de Rayleigh "clásico" requiere la definición de coeficientes uniformes.

La figura siguiente ilustra la definición de los ejes locales y la notación utilizada en el output. Refiérase a la discusión sobre los ejes locales y globales del marco en el Apéndice A para una descripción detallada de la determinación de la orientación del sistema local de ejes de los elementos.



Ejes Locales y Notación del Output para elementos infrmDB e infrmFB

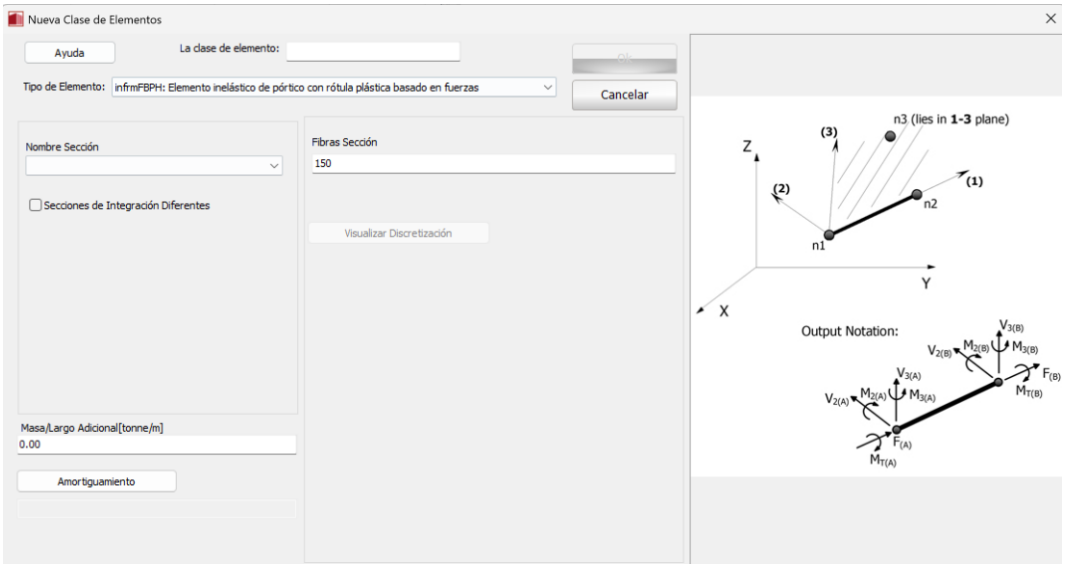
Elemento inelástico de pórtico con rótula plástica - infrmFBPH

Esta es la versión "con rótula plástica" del elemento tipo infrmFB, por lo que presenta una inelasticidad distribuida basada en fuerzas similar a éste, pero concentra dicha inelasticidad dentro de una región determinada del elemento, como ha sido propuesto por Scott and Fenves [2006].

La ventaja de dicha formulación no es sólo la reducción del tiempo de análisis (ya que la integración de las fibras sólo es llevada a cabo en las dos secciones extremas), sino también el pleno control y calibración de la longitud de la rótula plástica (o propagación de la inelasticidad), lo cual permite superar las dificultades de su localización, como se describe, por ej., en Calabrese et al. [2010].

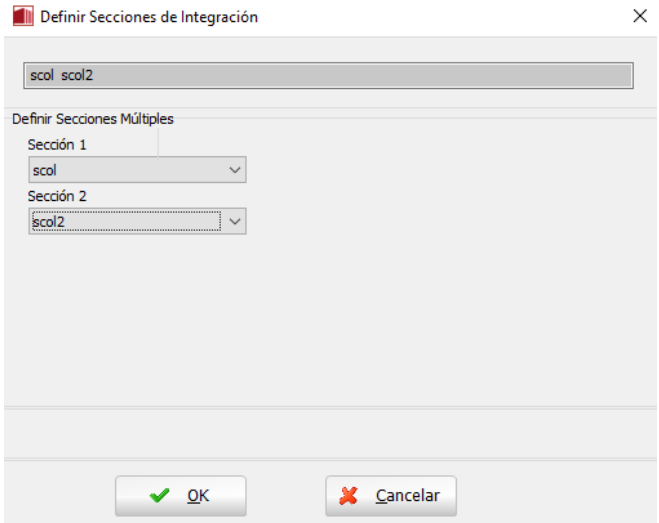
Es necesario definir el número de fibras a utilizar en el cálculo del equilibrio efectuado en las secciones extremas del elemento. El número ideal de fibras, suficiente para garantizar una representación adecuada de la distribución de esfuerzos-deformaciones en la sección el elemento, varía con la forma y las características del material de ésta, y depende también del grado de inelasticidad al cual el elemento ha de ser llevado. Como regla aproximada general, puede considerarse que secciones compuestas por un solo tipo de material pueden ser representadas adecuadamente con 100 fibras, mientras que secciones más complicadas, sometidas a grandes niveles de inelasticidad, normalmente requieren el uso de 200 fibras o más. Sin embargo, y claramente, sólo un estudio de sensibilidad llevado a cabo por el usuario para cada caso particular puede determinar inequívocamente el número óptimo de fibras.

La longitud de la rótula plástica se fija igual al 16,67%. [por ej., Scott and Fenves 2006, Papadrakakis 2008, Calabrese et al. 2010].



Definición de un Nuevo elemento infrmFBPH

De forma similar a infrmFB, los cambios en los detalles de refuerzo puede hacerse con un solo elemento infrmFBPH por miembro, cuando secciones múltiples pueden ser definidas. Debe notarse que las secciones pueden ser diferentes únicamente en el refuerzo (p. ej. tipo de sección, dimensiones y materiales deben ser iguales).



Definición de un nuevo elemento infrmFBPH

En la ventana de diálogo de este elemento es posible definir también un valor de amortiguamiento específico del elemento, en contraste con el amortiguamiento global descrito en *General>Ajustes de Proyecto>Amortiguamiento*. Para hacerlo, los usuarios deben simplemente hacer clic sobre el botón *Amortiguamiento* y luego seleccionar el tipo de amortiguamiento que mejor se adapta al elemento en cuestión (por mayores detalles respecto a los tipos de amortiguamiento disponibles y consejos respecto de cuáles pueden ser las mejores opciones, ver el menú Amortiguamiento).

IMPORTANTE: El amortiguamiento definido a nivel de los elementos prevalece por sobre el amortiguamiento global, es decir, los coeficientes de la matriz de amortiguamiento calculados "a nivel global" asociados a los grados de libertad de un elemento dado serán reemplazados por los coeficientes calculados a través del producto de la matriz de masa del elemento y un parámetro proporcional a la masa, o a través del producto de la matriz de rigidez del elemento y un parámetro proporcional a la rigidez, o mediante el cálculo de una matriz de amortiguamiento de Rayleigh del elemento.

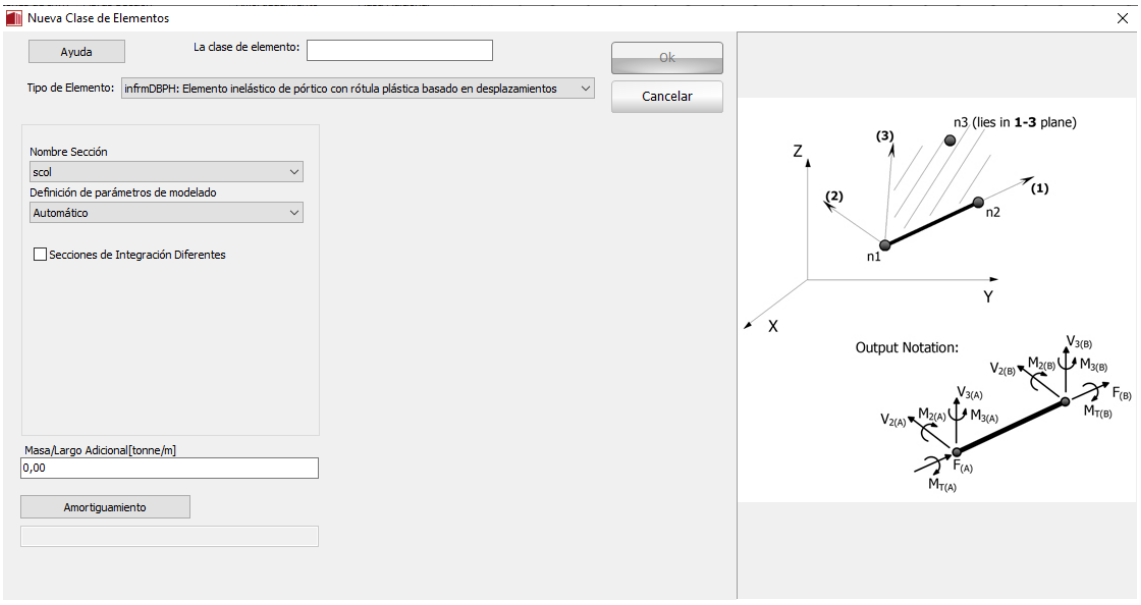
NOTA: Si se define amortiguamiento de Rayleigh a nivel del elemento utilizando coeficientes diferentes para distintos elementos o respecto de aquellos empleados en los ajustes de amortiguamiento global, entonces se está modelando un amortiguamiento de Rayleigh "no-clásico", ya que el amortiguamiento de Rayleigh "clásico" requiere la definición de coeficientes uniformes.

Los ejes locales y la notación utilizada en el output son iguales que para los elementos infrmDB e infrmFB.

Elemento Inelástico de Pórtico con Formulación Basada en Desplazamientos - infrmDBPH

Este es un elemento viga columna 3D de rótula plástica con formulación basada en desplazamientos, con plasticidad concentrada en los dos extremos de los elementos. Todas las deformaciones no lineales del elemento están concentradas en los resortes rotacionales, mientras que el resto del elemento permanece elástico.La formulación DBPH es capaz de modelar no linealidades geométricas.

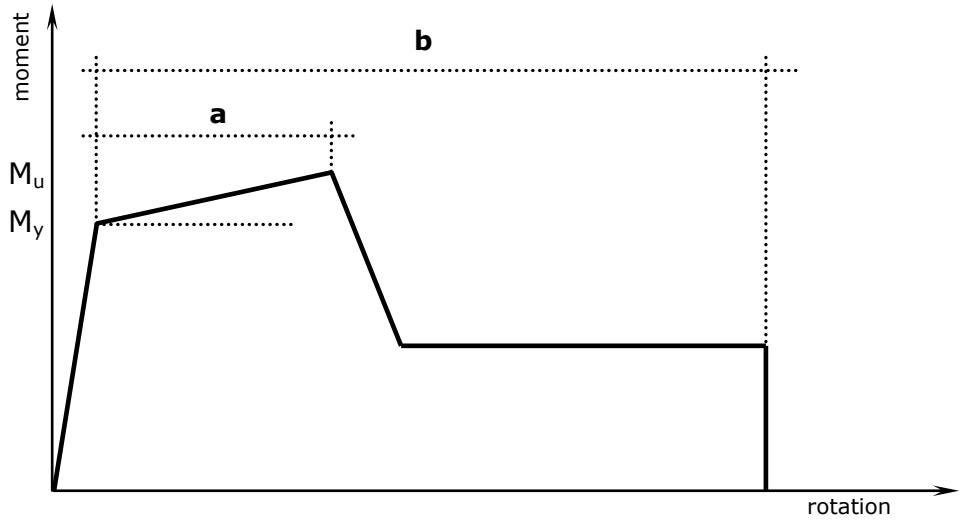
El elemento consiste en tres subelementos, los dos elementos de link en los extremos del elemento, que modelan las deformaciones rotacionales plásticas alrededor de los ejes locales segundo y tercero, y un elemento de marco elástico en el medio, que modela la parte del miembro que permanece elástico. Los subelementos están conectados en serie y se requiere un procedimiento iterativo para lograr el equilibrio interno del elemento.



Definición de un nuevo elemento infrmDBPH

Las relaciones entre la fuerza y el desplazamiento de los cuatro resortes rotativos no lineales en los extremos del elemento siguenuna curva histerética que se basa en la curva no lineal MIMK_bilin incorporada en SeismoStruct (curva de deterioro modificada Ibarra-Medina-Krawinkler con reglas histeréticas bilineales). El el momento de fluencia y el momento de flexión final (M_y y M_u

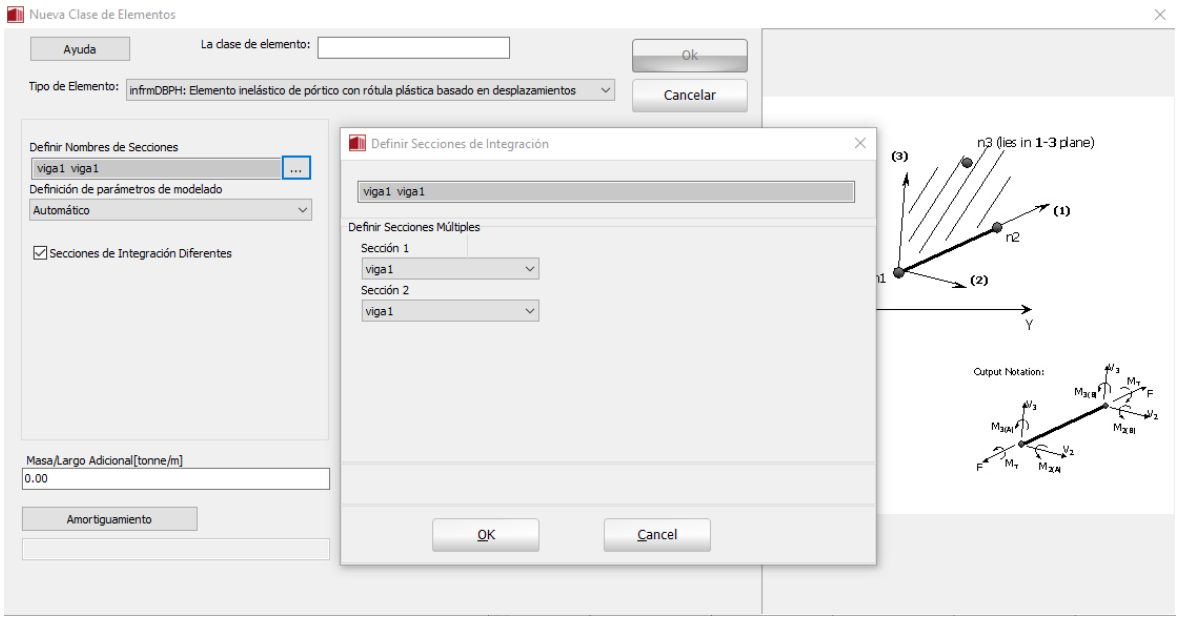
respectivamente), así como la deformación de fluencia d_y se calculan a partir de un análisis de sección de momento-curvatura después de la aplicación de las cargas iniciales en la estructura, teniendo en cuenta la carga axial impuesta sobre el elemento. En cambio, la capacidad de rotación plástica **a**y la rotación en el extremo **b** se estiman directamente de ASCE 41-23, y en particular de las Tablas 10-7 (para vigas), 10-8 y 10-9 (para columnas) y 10-19 (para muros); ver también ASCE 41-23, Figura 10-1 y la figura a continuación para más detalles.



Capacidad de rotación de plástico a y rotación en el extremo b, según ASCE 41-23

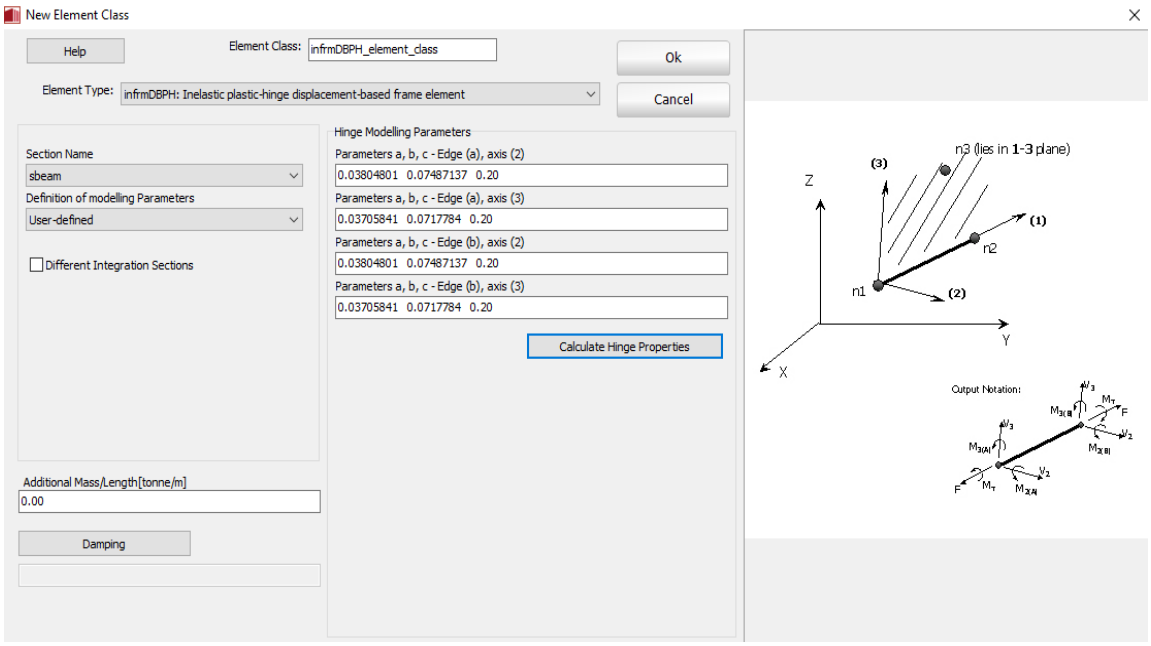
Las relaciones momento rotación en los dos ejes locales en cada extremo son independientes. Esta es una simplificación con respecto a los elementos de rótula plástica con formulación basada en fuerza, donde las deformaciones inelásticas se distribuyen a largo de una región finita en los extremos de la viga y el comportamiento en los dos ejes locales se correlaciona. Sin embargo, esta falta de precisión en el modelaje se compensa con tiempos más cortos de análisis.

Dado que el programa calcula automáticamente los parámetros de la curva histerética, los usuarios solo necesitan especificar la sección del miembro. De manera similar a los elementos infrmFB e infrmFBPH, los cambios en los detalles de refuerzo dentro del mismo miembro se pueden lograr con el uso de múltiples secciones por elemento.



Definición de un nuevo elemento infrmDBPH con múltiples secciones

Además del cálculo automático de las propiedades de larótula plástica, SeismoStruct también permite la entrada de valores a, byc (c es la razón entre la resistencia residual y la resistencia última) que son diferentes de los calculados. Esto se puede lograr si en el menú desplegable Definición de Parámetros de Modelado se selecciona la opción Definida por el Usuario. Los usuarios pueden introducir libremente los parámetros de modelado de la rótula plástica. Sin embargo, debe notarse que incluso en el caso de parámetros definidos por el usuario, se debe especificar una sección, principalmente por la visualización (por ejemplo, para mostrar el miembro en el diagrama 3D).



Definición de un nuevo elemento infrmDBPH con parámetros de rótula plástica definidos por el usuario

Finalmente, al hacer clic en el botón Calcular Propiedades de la Rótula Plástica, aparece un nuevo cuadro de diálogo que proporciona asistencia en la determinación de estos parámetros, en función de varios parámetros, como la razón del área del refuerzo longitudinal distribuido al área bruta de concreto ρ_l, la razón del área del refuerzo transversal distribuido al área bruta de concreto ρ_t, el área de sección bruta

A_g, el límite elástico esperado del acero de refuerzo longitudinal y transversal f_{ylE}& f_{ytE}, la resistencia a la compresión esperada del hormigón f'_{cE}, la fuerza axial del miembro N_{ud}, si el refuerzo de corte del miembro se ajusta o no, si el miembro está controlado por flexión o corte, etc.Estos cálculos se realizan de acuerdo con los procedimientos ASCE 41-23.

También es posible definir amortiguamiento específico para el elemento, de manera distinta al amortiguamiento global definido en *General>Ajustes de Proyecto> Amortiguamiento,* como está descrito en las secciones en infrmFB e infrmFBPH. Finalmente, los ejes locales y la notación del output son las mismas que en los elementos con formulación basada en fuerza.

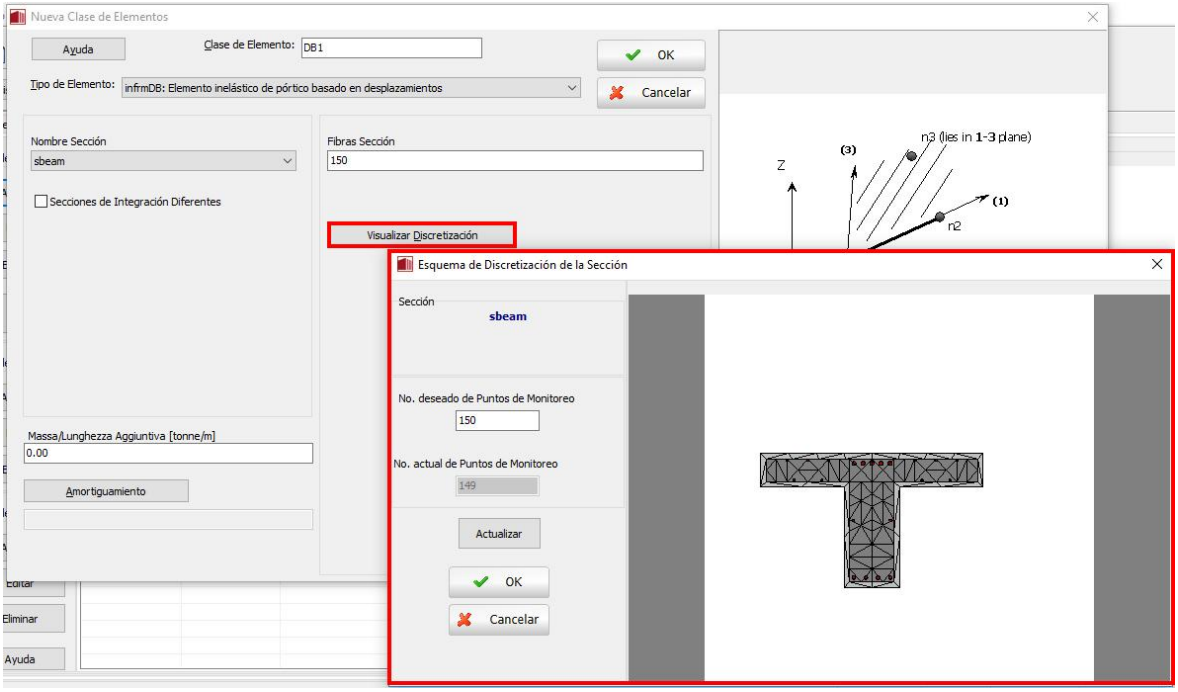
Elementos inelásticos de pórtico - infrmDB

Son elementos 3D viga-columna que permiten modelar miembros de pórticos espaciales con no linealidades geométricas y de los materiales. Como se describe en la sección sobre Inelasticidad de los materiales, el estado de esfuerzo-deformación de una sección de un elemento viga-columna se obtiene mediante la integración de la respuesta uniaxial no lineal del material en cada una de las fibras individuales en las cuales se ha subdividido la sección, de forma tal que se tiene en cuenta la propagación de la inelasticidad a lo largo de la longitud del miembro y en la altura de la sección.

La formulación basada en desplazamientos sigue la metodología FE estándar [p. ej. Hellesland y Scordelis 1981; Mari y Scordelis 1984], donde las deformaciones delos elementos son interpoladas de un campo de desplazamientos aproximado, antes de que el PVD se use para formar las relaciones de equilibrio en el elemento. Esta formulación DB tiene dos secciones de integración por elementos, y la cuadratura de Gauss se usa para obtener precisión mayor.

Para obtener la respuesta no lineal de un elemento, una deformación axial constante y una distribución de curvatura lineal son forzadas a los largo de la longitud del elemento, la cual es exacta solo para elementos prismáticos lineales elásticos. Consecuentemente, *infrmDB* debe ser utilizado en elemento de longitud corta, lo cual obliga el uso del refinamiento de la malla, para poder obtener buena precisión en caso de distribución de deformaciones de orden superior. Típicamente, 4 a 6 elementos por miembro estructural deben definirse, por tanto los usuarios necesitan un pos procesamiento nodal de los desplazamientos/deformaciones para estimar las rotaciones de cuerda [p. ej. Mpampatsikos et al. 2008].

De forma similar la formulación basada en fuerza, el número de fibras de sección usadas en los cálculos de equilibrio que se llevan a cabo en las secciones de integración del elemento debe ser definido. Los usuarios pueden hacer clic en el botón de *Ver Discretización* para poder visualizar la triangulación de la sección (ver la figura abajo).



Definición de un nuevo elemento infrmDB y la Discretización de su sección

Similar a los casos de infrmFB e infrmFBPH, los cambios en el detallado del refuerzo en un mismo miembro pueden hacerse con el uso de múltiples secciones por elemento. También es posible definir amortiguamiento específico para el elemento, de manera distinta al amortiguamiento global definido en *General>Ajustes de Proyecto> Amortiguamiento,* como está descrito en las secciones en infrmFB e infrmFBPH.

Ejes locales y el output se definen igual que para los otros tipos de elementos de marco.

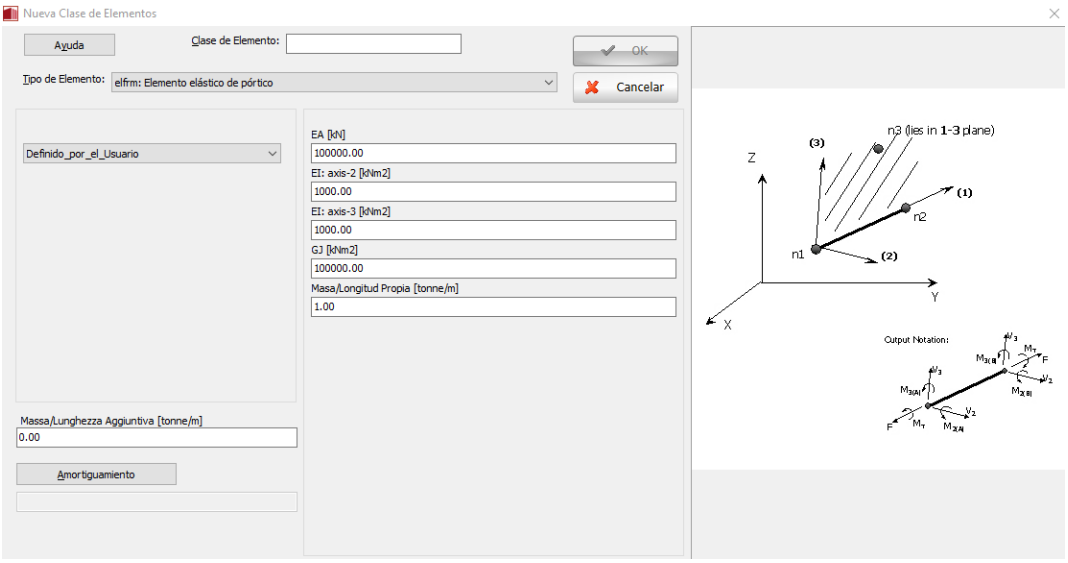
Elemento elástico de pórtico - elfrm

Existen casos en los cuales el uso de un elemento de pórtico (viga, columna) inelástico no es necesario (por ej., análisis de eigenvalores, estructuras sometidas a bajos niveles de excitación y, por lo tanto, que responden dentro de su rango elástico, respuesta dinámica del tablero de un puente, etc.). Para estos casos, puede ser preferible la utilización de elementos de pórtico elásticos lineales, por cuya razón el elemento tipo *elfrm* ha sido desarrollado e implementado en SeismoStruct.

Con el fin de caracterizar completamente este tipo de elemento, se solicita a los usuarios especificar ya sea una sección ya creada (para la cual el programa calculará automáticamente todas las propiedades mecánicas elásticas necesarias) o los valores personalizados de EA, EI_2, EI_3 y GJ, donde E es el módulo de elasticidad, A es el área de la sección transversal e I_2 e I_3 son los momentos de inercia alrededor de los ejes locales (2) y (3). La constante torsional es representada mediante J (que no debe ser confundida con el momento de inercia polar), mientras que G representa el módulo de elasticidad transversal, calculado como $G=E/(2(1+\nu))$, donde ν es el coeficiente de Poisson [por ej., ver Pilkey, 1994].

La matriz de rigidez del elemento *elfrm*, definida en el sistema local, es:

$$\frac{1}{L}\begin{bmatrix} 4EI_2 & 0 & 2EI_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4EI_3 & 0 & 2EI_3 & 0 & 0 \\ 2EI_2 & 0 & 4EI_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2EI_3 & 0 & 4EI_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & EA & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & GJ \end{bmatrix}$$



Definición de un nuevo elemento elfrm

En la ventana de diálogo de este elemento es posible definir también un valor de amortiguamiento específico del elemento, en contraste con el amortiguamiento global descrito en *General>Ajustes de Proyecto>Amortiguamiento*. Para hacerlo, los usuarios deben simplemente hacer clic sobre el botón *Amortiguamiento* y luego seleccionar el tipo de amortiguamiento que mejor se adapta al elemento en cuestión (por mayores detalles respecto a los tipos de amortiguamiento disponibles y consejos respecto de cuáles pueden ser las mejores opciones, ver el menú Amortiguamiento).

IMPORTANTE: El amortiguamiento definido a nivel de los elementos prevalece por sobre el amortiguamiento global, es decir, los coeficientes de la matriz de amortiguamiento calculados "a nivel global" asociados a los grados de libertad de un elemento dado serán reemplazados por los coeficientes calculados a través del producto de la matriz de masa del elemento y un parámetro proporcional a la masa, o a través del producto de la matriz de rigidez del elemento y un parámetro proporcional a la rigidez, o mediante el cálculo de una matriz de amortiguamiento de Rayleigh del elemento.

NOTA 1: En el elemento elfrm, los efectos de segundo orden (P-delta) así como también los efectos de grandes desplazamientos/rotaciones son debidamente tomados en cuenta.

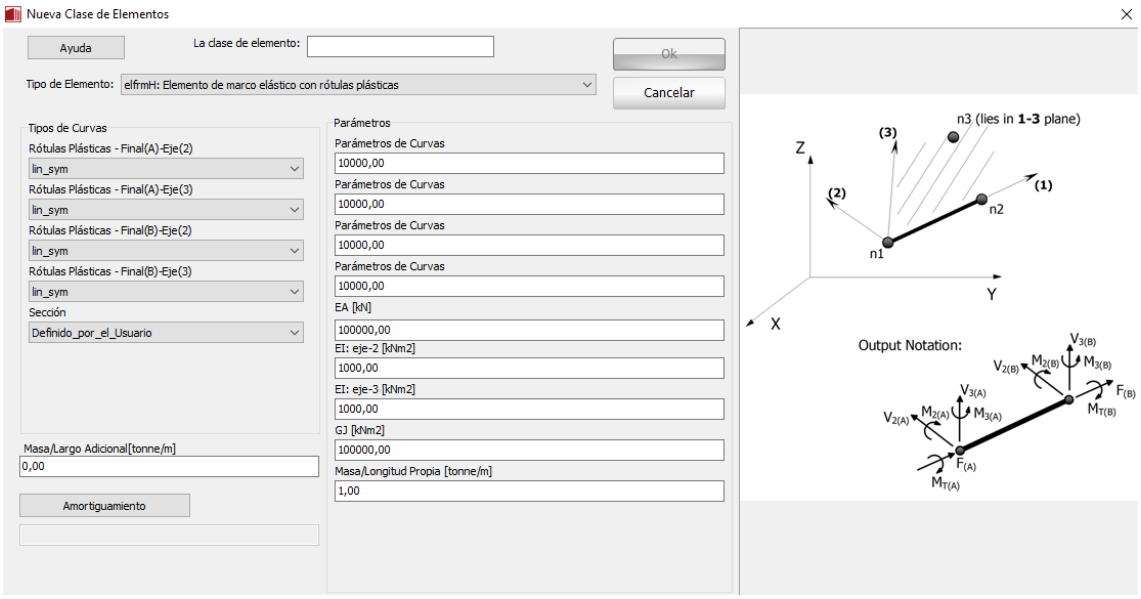
NOTA 2: Si se define amortiguamiento de Rayleigh a nivel del elemento utilizando coeficientes diferentes para distintos elementos o respecto de aquellos empleados en los ajustes de amortiguamiento global, entonces se está modelando un amortiguamiento de Rayleigh "no-clásico", ya que el amortiguamiento de Rayleigh "clásico" requiere la definición de coeficientes uniformes.

Los ejes locales y la notación utilizada en el output son iguales que para los elementos infrmDB e infrmFB.

Elemento de pórtico elástico con rótulas plásticas - elfrmH

Este es un elemento de pórtico lineal elástico con dos resortes rotacionales en los dos extremos. El comportamiento no lineal se modela a través de la plasticidad concentrada en los extremos del elemento, mientras que el resto del elemento es elástico. Las rotaciones plásticas alrededor de los ejes locales 2 y 3 se modelan utilizando curvas de respuesta momento-rotación.

El usuario necesita definir las curvas de respuesta que modelan la relación momento-rotación de los dos grados de libertad de rotación en los dos extremos del elemento.



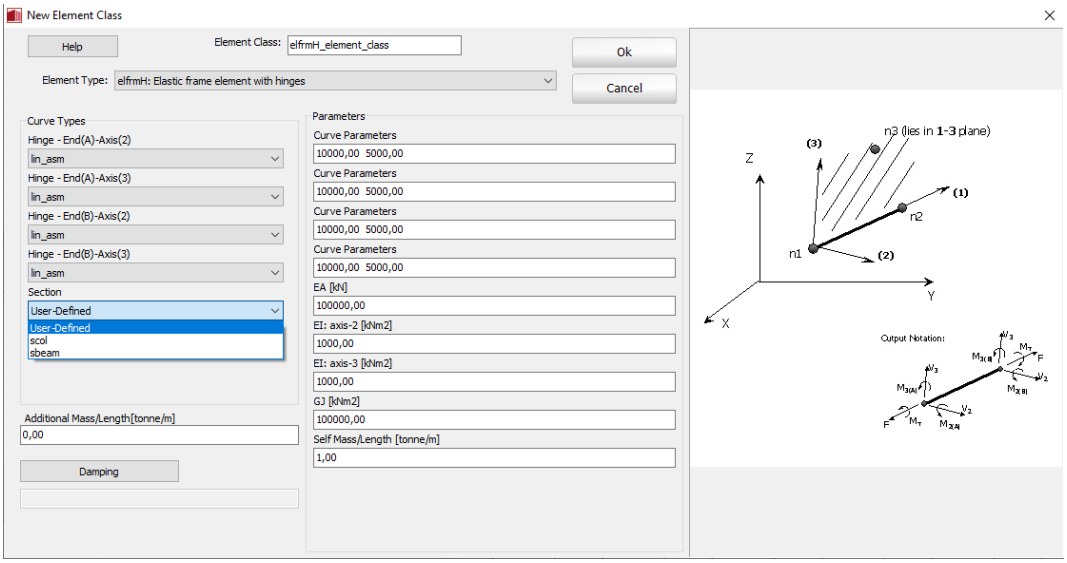
Definición de un nuevo elemento elfrmH (Fanis)

Actualmente, cuando se selecciona un elemento tipo elfrmh en la ventana de diálogo *Clases de Elementos*, es posible adjudicarle cualquiera de las veintinueve curvas de respuesta disponibles:

- Curva lineal simétrica - lin_sym
- Curva lineal asimétrica - lin_asm
- Curva bi-lineal simétrica - bl_sym
- Curva bi-lineal asimétrica - bl_asm
- Curva bi-lineal con endurecimiento cinemático - bl_kin
- Curva tri-lineal simétrica - trl_sym
- Curva tri-lineal asimétrica - trl_asm
- Curva simétrica cuadrilínea- quad_sym
- Curva asimétrica cuadrilínea - quad_asm
- Curva asimétrica con pinch - pinched_asm
- Curva de Respuesta Histerética con Deterioro de Ibarra-Medina-Krawinkler Modificada - MIMK_bilin
- Curva de Respuesta Histerética con Deterioro de Ibarra-Medina-Krawinkler Modificada con Respuesta Histerética Orientada al Pico - MIMK_peak
- Curva de Respuesta Histerética con Deterioro de Ibarra-Medina-Krawinkler Modificada con Respuesta Histerética y Pinch - MIMK_peak
- Curva elástica no lineal –Non_lin_Elast
- Curva plástica - plst
- Curva de Takeda bi-lineal simplificada – Takeda
- Curva de Takeda bi-lineal asimétrica – Takeda_asm
- Curva de Ramberg-Osgood –Ramberg_Osgood
- Curva deRichard-Abbott modificada –Richard_Abbot
- Curva de interacción suelo-estructura - ssi_py
- Curva gap-hook - gap_hk
- Curva multi-lineal - multi_lin
- Curva smooth – smooth
- Amortiguador viscoso - vsc_dmp
- Curva de Bouc Wen - Bouc_Wen

- Curva de separación elástica- perfectamente plástica: gap_elpl
- Curva de respuesta al impacto - pound_hz
- Curva de respuesta de la riostra autocentrante - scb
- Curva genérica de respuesta histerética - gen_hyst

Para obtener una descripción completa de las curvas de respuesta disponibles asociadas al elemento de pórtico elástico con dos resortes rotacionales, consulte el Apéndice G.Con el fin de caracterizar completamente este tipo de elemento, se solicita a los usuarios especificar ya sea una sección ya creada (para la cual el programa calculará automáticamente todas las propiedades mecánicas elásticas necesarias) o los valores personalizados de *EA*, *EI2*, *EI3* y *GJ*, donde *E* es el módulo de elasticidad, *A* es el área de la sección transversal e *I2* e *I3* son los momentos de inercia alrededor de los ejes locales (2) y (3). La constante torsional es representada mediante *J* (que no debe ser confundida con el momento de inercia polar), mientras que *G* representa el módulo de elasticidad transversal, calculado como $G=E/(2(1+\nu))$, donde ν es el coeficiente de Poisson [por ej., ver Pilkey, 1994].

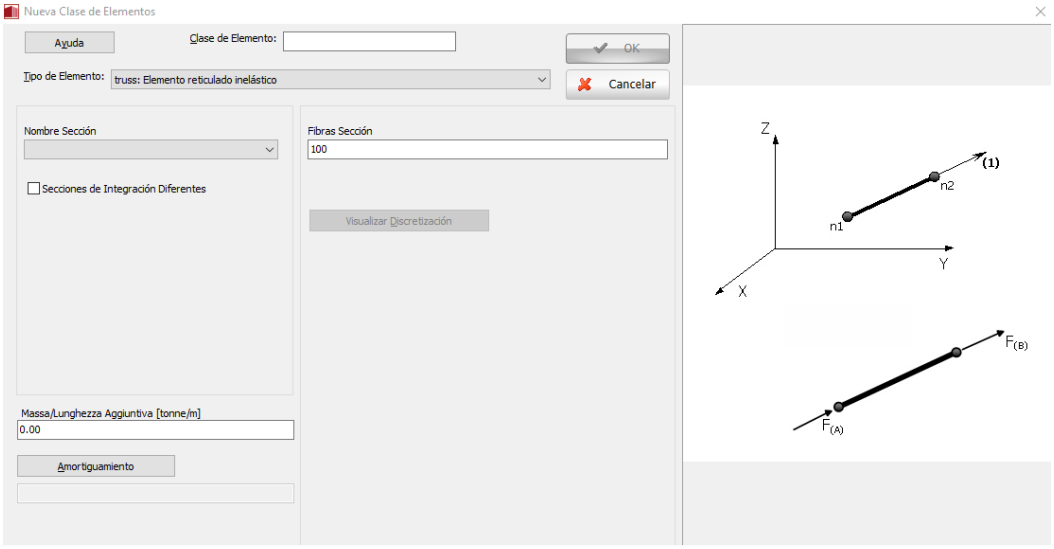


Definición de la sección de un nuevo elemento elfrmH (Fanis)

En la ventana de diálogo de este elemento es posible definir también un valor de amortiguamiento específico del elemento, en contraste con el amortiguamiento global descrito en *General>Ajustes de Proyecto>Amortiguamiento* como se describe en la sección de elfrm. Finalmente, los ejes locales y la notación de salida son los mismos con el elemento elfrm.

Elemento inelástico reticulado - truss

El *elemento inelástico reticulado* puede resultar particularmente útil cuando es necesario introducir miembros que sólo trabajan en su dirección axial (por ej., diagonalizados horizontales o verticales, reticulados de acero, etc.). Para caracterizar por completo este tipo de elementos, el usuario sólo debe seleccionar una sección transversal y especificar el número de fibras en que ésta debe ser subdividida. La matriz de rigidez de este elemento se compone de un sólo termino EA, que es actualizado en cada incremento del análisis.



Definición de un nuevo elemento truss

En la ventana de diálogo de este elemento es posible definir también un valor de amortiguamiento específico del elemento, en contraste con el amortiguamiento global descrito en *General>Ajustes de Proyecto>Amortiguamiento*. Para hacerlo, los usuarios deben simplemente hacer clic sobre el botón *Amortiguamiento* y luego seleccionar el tipo de amortiguamiento que mejor se adapta al elemento en cuestión (por mayores detalles respecto a los tipos de amortiguamiento disponibles y consejos respecto de cuáles pueden ser las mejores opciones, ver el menú Amortiguamiento).

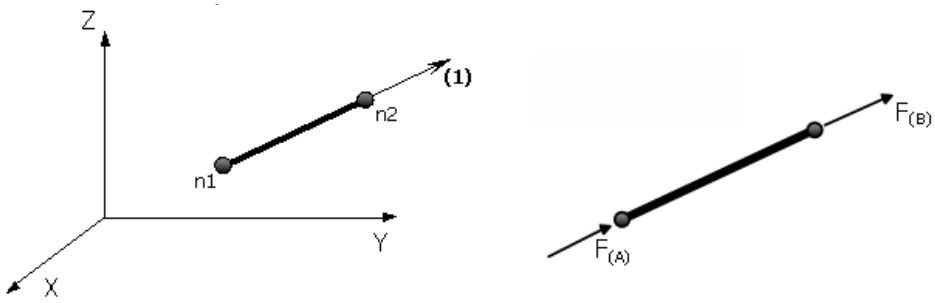
IMPORTANTE: El amortiguamiento definido a nivel de los elementos prevalece por sobre el amortiguamiento global, es decir, los coeficientes de la matriz de amortiguamiento calculados "a nivel global" asociados a los grados de libertad de un elemento dado serán reemplazados por los coeficientes calculados a través del producto de la matriz de masa del elemento y un parámetro proporcional a la masa, o a través del producto de la matriz de rigidez del elemento y un parámetro proporcional a la rigidez, o mediante el cálculo de una matriz de amortiguamiento de Rayleigh del elemento.

NOTA 1: Dado que el elemento no será sometido a flexión, es posible utilizar un número mucho más reducido de fibras que para el caso de los elementos infrm a fin de garantizar la precisión de los resultados.

NOTA 2: El modelado de un diafragma rígido utilizando puntales cruzados puede generar fuerzas axiales irreales excesivamente elevadas en las vigas. Con el fin de evitar esto, se puede pensar en introducir un elemento elfrm coincidente que tenga infinita rigidez axial y se encuentre conectado mediante elementos link que sólo transmitan carga axial. De esta forma, el elemento muy rígido absorbería la carga axial, mientras que las rotaciones (y, por ende, los momentos) serían transmitidos a las vigas "reales".

NOTA 3: Si se define amortiguamiento de Rayleigh a nivel del elemento utilizando coeficientesdiferentes para distintos elementos o respecto de aquellos empleados en los ajustes de amortiguamiento global, entonces se está modelando un amortiguamiento de Rayleigh "no-clásico", ya que el amortiguamiento de Rayleigh "clásico" requiere la definición de coeficientes uniformes.

La figura siguiente ilustra la definición de los ejes locales y la notación utilizada en el output:

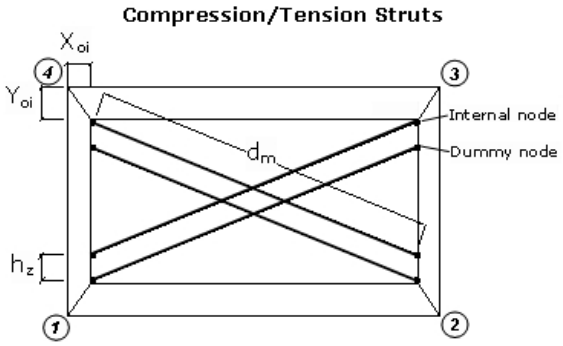


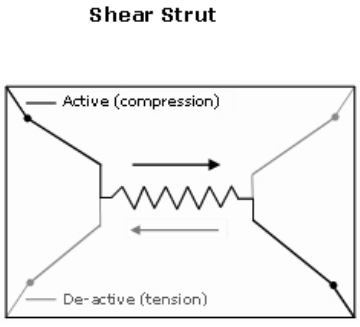
Ejes Locales y Notación del Output

Elemento inelástico infill - infill

Se trata de un elemento de mampostería definido por cuatro nodos, desarrollado y programado inicialmente por Crisafulli [1997] e implementado en SeismoStruct por Blandon [2005], para el modelado de la respuesta no lineal de los paneles divisorios o de cerramiento (infill panels) en estructuras tipo pórtico. Cada panel es representado por seis bielas; cada dirección diagonal está caracterizada por dos bielas paralelas que transmiten la carga a través de dos esquinas opuestas en diagonal, y por una tercera que transmite el corte desde la parte superior hacia la parte inferior del panel. Esta última biela sólo actúa a través de la diagonal que está en compresión, por lo que su "activación" depende de la deformación del panel. Las bielas con carga axial utilizan el modelo histerético para bielas de mampostería, mientras que la biela de corte utiliza un modelo histerético bi-lineal dedicado.

Como puede observarse en la figura, cuatro nodos internos son utilizados para representar los puntos efectivos de contacto entre el pórtico y el panel infill (es decir, para tener en cuenta el ancho y la altura de las columnas y vigas, respectivamente), mientras que cuatro nodos ficticios son introducidos con el objeto de tener en cuenta la longitud de contacto entre ambos. Todas las fuerzas internas son transformadas en fuerzas aplicadas sobre los cuatro nodos exteriores (los cuales, como se indicaenConectividad de Elementos, deben ser definidos en secuencia anti-horaria), donde el elemento se conecta con el pórtico.





NOTA: Si bien los elementos inelásticos tipo infill panel han sido creados para el modelado de la respuesta no lineal de los paneles divisorios/de cerramiento de estructuras aporticadas (como se mencionó anteriormente), pueden ser empleados también para el modelado de losas con una determinada contribución a la rigidez y tipo de comportamiento inelástico (ubicando estratégicamente estos elementos y/o elementos reticulados inelásticos con propiedades ajustadas para reproducir el comportamiento deseado, como se sugiere en el Foro de Seismosoft).

Para caracterizar por completo este tipo de elemento, es necesario definir los siguientes parámetros:

Parámetros de la Curva de la Biela

Son empleados en la definición del modelo histerético para bielas de mampostería, el cual es definido con la *curva de respuesta inf_strut*.

Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Módulo de elasticidad inicial – $\mathbf{E_m}$	$400f_m\theta$ - $1000\ f_m\theta$ (kPa)	1600000 (kPa)
Resistencia a compresión – $\mathbf{f_m\theta}$	(ver Sistema de Ayuda)	1000 (kPa)
Resistencia a tracción – $\mathbf{f_t}$	-	0 (kPa)
Deformación correspondiente al esfuerzo máximo – ε_m	0.001 - 0.005 (m/m)	0.0012 (m/m)
Deformación última – ε_u	-	0.024 (m/m)
Deformación de cerramiento – ε_{cl}	0 - 0.003 (m/m)	0.004 (m/m)
Deformación de reducción del área de la biela – ε_1	0.0003 - 0.0008 (m/m)	0.0006 (m/m)
Deformación residual del área de la biela – ε_2	0.0006 - 0.016 (m/m)	0.001 (m/m)
Factor de rigidez del inicio de descarga – γ_{un}	1.5 - 2.5 (-)	1.5 (-)
Factor de deformación de recarga – α_{re}	0.2 - 0.4 (-)	0.2 (-)
Factor de deformación de inflexión – α_{ch}	0.1 - 0.7 (-)	0.7 (-)
Factor de deformación de descarga completa – β_a	1.5 - 2.0 (-)	1.5 (-)
Factor de esfuerzo de inflexión – β_{ch}	0.5 - 0.9 (-)	0.9 (-)
Factor de rigidez para esfuerzo nulo – γ_{plu}		1 (-)
Factor de rigidez de recarga – γ_{pr}		1.5 (-)
Factor de rigidez de descarga plástica – e_{x1}		3 (-)
Factor de deformación por ciclo repetido – e_{x2}		1.4 (-)

Parámetros de la Curva de Corte

Son empleados en la definición del modelo histerético para bielas de mampostería, el cual es definido con la *curva de respuesta inf_shear*.

Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Resistencia a corte por adherencia – τ_0	300 - 600 (kPa) (Hendry, 1990) 100 - 1500 (kPa) (Paulay and Priestley, 1992) 100 - 700 (kPa) (Shrive, 1991)	300 (kPa)
Coeficiente de fricción – μ	0.1 - 1.2 (-)	0.7 (-)
Máxima resistencia a corte – τ_{MAX}	-	600 (kPa)
Factor de reducción de corte – α_S	1.4 - 1.65 (-)	1.5 (-)

Espesor del Panel (t)

Puede ser considerado igual al ancho de los ladrillos/unidades de mampostería solos (por ej., 12 cm), o incluir también la contribución del revoque/enlucido (por ej., 12+2x1.5=15 cm).

Deriva de colapso fuera del plano

Se introduce como un porcentaje de la altura de piso y gobierna la desactivación del elemento, lo cual significa que, una vez que el panel (no el pórtico) alcanza una deriva fuera del plano determinada, el panel no contribuye más a la resistencia ni a la rigidez de la estructura, ya que se asume que ha colapsado mediante un mecanismo de falla fuera del plano.

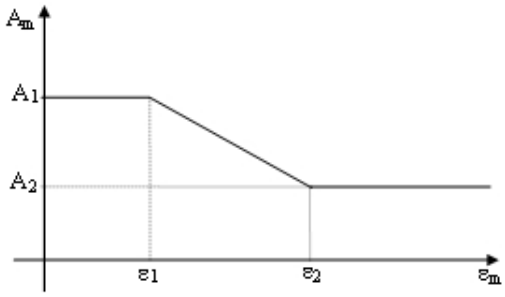
NOTA: No se ha introducido una desactivación asociada a la aceleración, debido a que podría resultar demasiado sensible a altas frecuencias y/o modos de aceleración espurios. Sin embargo, se sugiere una posible solución a continuación, en la nota 4.

Área de la Biela 1 (A1)

Es definida por el producto entre el espesor del panel y el ancho equivalente de la biela (b_w), que normalmente varía entre el 10% y el 40% de la longitud de la diagonal del panel (d_m), como han concluido numerosos investigadores basados en datos experimentales y resultados analíticos. De hecho, existen numerosas expresiones numéricas con distintos niveles de complejidad, que han sido propuestas por diversos autores (por ej.Holmes, 1961; Stafford-Smith, 1962; Stafford-Smith and Carter, 1969; Mainstone and Weeks, 1970; Mainstone, 1971; Liauw and Kwan, 1984; Decanini and Fantin, 1986; Paulay and Priestley, 1992), a las cuales los usuarios pueden referirse. Éstas han sido resumidas en el trabajo de Smyrou [2006], donde se sugiere que la propuesta pragmática de Holmes [1961] o Paulay and Priestley [1992] de asumir simplemente un valor de b_w igual a 1/3 o 1/4 (respectivamente) de d_m es una forma expeditiva y no necesariamente inexacta de estimar el valor de este parámetro.

Área de la Biela 2 (A2)

Se introduce como un porcentaje de A_1, y tiene como objetivo representar el hecho de que, debido a la fisuración del panel, la longitud de contacto entre el pórtico y éste disminuye cuando el desplazamiento lateral y, consecuentemente, horizontal aumentan, lo cual afecta el área equivalente de la biela. Se asume que el área varia linealmente en función de la deformación axial (ver figura abajo), y las deformaciones que definen el comienzo y final de esta variación son parámetros de input del modelo histerético para bielas de mampostería.



Longitud equivalente de contacto (h_z)

Se introduce como porcentaje de la altura vertical del panel, proporciona efectivamente la distancia entre los nodos ficticios internos y es utilizada como forma de representar la longitud de contacto entre el pórtico y el panel infill. Aparentemente, es posible obtener resultados razonables utilizando valores entre 1/3 y 1/2 de la longitud de contacto efectiva (z), definida por Stafford-Smith [1966] como $0.5\pi\lambda^{-1}$, donde λ es un parámetro adimensional de rigidez relativa que se calcula con la ecuación descrita a continuación, en la cual E_m es el Módulo Elástico de la mampostería, t_w es el espesor del panel, Qes el ángulo de la biela diagonal con respecto a las vigas, E_cI_c es la rigidez a flexión de las columnas, y h_w es la altura del panel.

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{E_m t_w \sin(2\theta)}{4E_c I_c h_w}}$$

Offsets horizontales y verticales (X_{oi} e Y_{oi})

Se introducen como porcentajes de la dimensión horizontal y vertical del panel y representan, naturalmente, la reducción de éste debido a las dimensiones de los elementos del pórtico. En otras palabras, estos parámetros indican la distancia entre los nodos de las esquinas exteriores e interiores.

Proporción de la rigidez asignada al corte (γS)

Representa la proporción de la rigidez del panel (calculada internamente por el programa) que debe ser asignada al resorte de corte (típicamente, se adopta un valor entre 0.20 y 0.60). En otras palabras, la rigidez de la biela (K_A) y la rigidez a corte (K_S) se calculan de la siguiente manera:

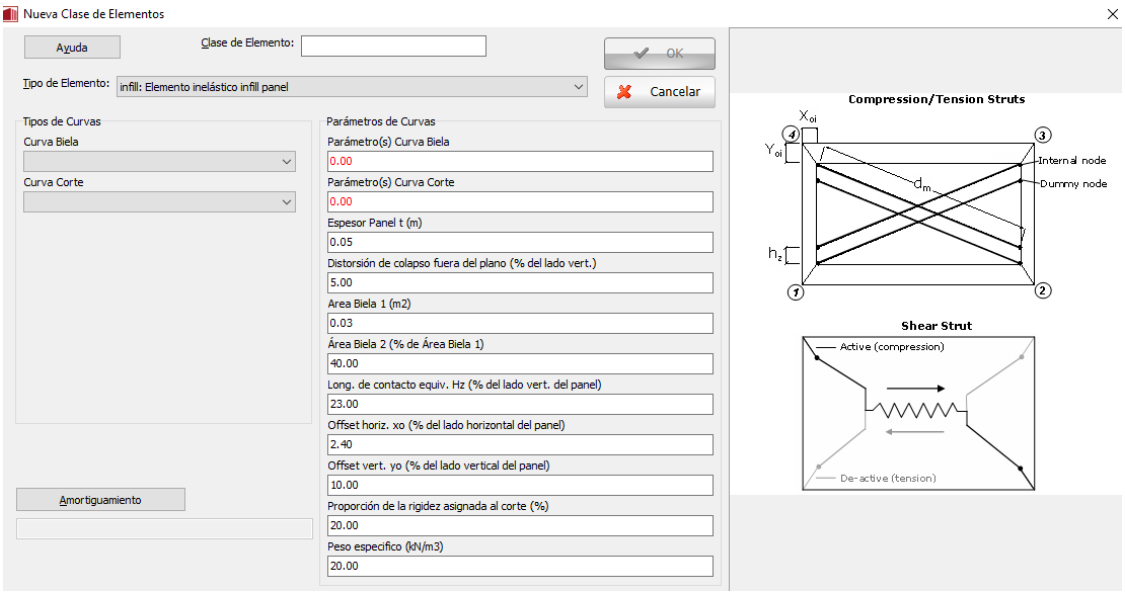
$$K_A = (1-\gamma_s)\frac{A_{ms}E_m}{2d_m} \qquad y \qquad K_S = (\gamma_s)\frac{A_{ms}E_m}{d_m}cos^2\theta$$

Peso específico (γ)

Representa el peso volumétrico del panel (debe recordarse que a este tipo de elemento no se le asigna ni sección ni material, por lo cual su peso propio debe ser definido aquí). El valor por defecto es 10 kN/m3.

En la ventana de diálogo de este elemento es posible definir también un valor de amortiguamiento específico del elemento, en contraste con el amortiguamiento global descrito en *General>Ajustes de Proyecto>Amortiguamiento*. Para hacerlo, los usuarios deben simplemente hacer clic sobre el botón *Amortiguamiento* y luego seleccionar el tipo de amortiguamiento que mejor se adapta al elemento en cuestión (por mayores detalles respecto a los tipos de amortiguamiento disponibles y consejos respecto de cuáles pueden ser las mejores opciones, ver el menú Amortiguamiento).

IMPORTANTE: El amortiguamiento definido a nivel de los elementos prevalece por sobre el amortiguamiento global, es decir, los coeficientes de la matriz de amortiguamiento calculados "a nivel global" asociados a los grados de libertad de un elemento dado serán reemplazados por los coeficientes calculados a través del producto de la matriz de masa del elemento y un parámetro proporcional a la masa, o a través del producto de la matriz de rigidez del elemento y un parámetro proporcional a la rigidez, o mediante el cálculo de una matriz de amortiguamiento de Rayleigh del elemento.



Definición de un nuevo elemento infill

NOTA 1: Este modelo (con sus configuraciones de bielas) es capaz de describir sólo los modos de falla más comunes, dado que un modelo que pudiera describir todos los tipos de falla de la mampostería no sería práctico, debido al nivel apreciable de complejidad e incertidumbre que tendría. Se recomienda enfáticamente a los usuarios consultar las publicaciones de Crisafulli et al. [2000] y Smyrou et al. [2006] por mayores detalles sobre este modelo.

NOTA 2: La resistencia y rigidez de los paneles es introducida luego de la aplicación de las cargas iniciales, de modo que éstos no deban resistir las cargas gravitatorias (que son habitualmente resistidas por la estructura a su alrededor, erigida en una fase constructiva anterior). Si los usuarios desean que los elementos tipo infill resistan cargas gravitatorias, entonces éstas deben ser definidas como cargas no-iniciales.

NOTA 3: En modelos muy refinados, los usuarios pueden desear introducir elementos tipo link entre el pórtico y los nodos del panel, con el fin de tener en cuenta el hecho de que, habitualmente, los paneles no se encuentran conectados rígidamente al pórtico circundante.

NOTA 4: Los usuarios pueden querer también verificar la presencia de valores de aceleración por encima de un cierto límite, que puedan inducir la falla del panel fuera del plano (luego pueden establecer la desactivación del elemento para el tiempo en el cual se alcanza dicho nivel de aceleración).

NOTA 5: La presencia de aberturas en los paneles constituye una incertidumbre importante en la evaluación del comportamiento de los pórticos con paneles divisorios/de cerramiento. Numerosos investigadores [por ej., Benjamin and Williams, 1958; Fiorato *et al.*, 1970; Mallick and Garg, 1971; Liauw and Lee, 1977; Utku, 1980; Dawe and Young, 1985; Thiruvengadam, 1985; Giannakas *et al.*, 1987; Papia, 1988; Dawe and Seah, 1989; Hamburger, 1993; Bertoldi *et al.*, 1994; CEB, 1996; Mosalam *et al.*, 1997; Gostic and Zarnic, 1999; De Sortis *et al.*, 1999; Asteris, 2003] han investigado la influencia que diferentes configuraciones de aberturas (en términos de tamaño y ubicación) pueden tener sobre la resistencia y la rigidez. Desafortunadamente, aunque de alguna forma comprensible, dado el gran número de variables e incertidumbres involucradas, no se ha alcanzado aún un acuerdo respecto a este tema; todas las publicaciones enumeradas anteriormente han llegado a conclusiones diferentes, ya sea en términos cuantitativos o de recomendaciones. Por lo tanto, los usuarios deberán recurrir a su propio juicio y experiencia ingenieril, así como también a una exhaustiva consulta de la literatura sobre el tema (sólo un pequeño porcentaje ha sido citado anteriormente), para poder decidir cómo se debe tener en cuenta la presencia de aberturas en la estructura estudiada. Como recomendación expeditiva, podemos quizás sugerir que el efecto de las aberturas en la respuesta de un panel puede ser tenido en cuenta mediante la reducción del valor del Área de la Biela *(A1)* y, por ende, de la rigidez del panel, en proporción al área de la abertura respecto al área del panel. Como muestra Smyrou *et al.* [2006], si un panel dado presenta aberturas de entre el 15% y 30% del área del panel, pueden obtenerse buenas estimaciones de su respuesta mediante una reducción del valor de A1 (y, consecuentemente, su rigidez) por un valor que varía entre el 30% y el 50%. En lo que se refiere a la resistencia del panel, y dada la extremadamente variada naturaleza de las observaciones realizadas al respecto por los distintos investigadores, podríamos sugerir, quizás, que en ausencia de evidencia en contrario los usuarios no modifiquen su valor debido a la presencia de aberturas (sólo si las aberturas no representan más del 30% del área del panel).

NOTA 6: Se invita cordialmente a los usuarios a leer la publicación de Celarec and Dolšek [2012], en la cual se han investigado los efectos de los paneles divisorios/de cerramiento ("infill panels") sobre la demanda y rotura por corte de columnas, para los casos en los que los pórticos de hormigón armado con dichos paneles son modelados mediante métodos no lineales simplificados que no son capaces de llevar a cabo una simulación directa de estos efectos.

Elemento de mampostería - masonry

Este elemento es una combinación de un tipo de elemento de rótula plástica en 3D y de formulación basada en la fuerza, empleado en el modelado principalmente del comportamiento de flexión del miembro de mampostería (mencionado aquí como el 'subelemento interno') con dos links en los dos extremos que se emplean para simular el comportamiento de corte del miembro (denominados "links externos" o "subelementos de link").El subelemento interno y los links externos están conectados en serie, asegurando el equilibrio en el momento flector y la fuerza de corte. Los únicos grados de libertad 'activos' de los subelementos de link son los dos traslacionales en las direcciones de corte (en el plano y fuera del plano), mientras que los otros cuatro DOF (axial y 3 rotacional) permanecen perfectamente links rígidos. Los muros de mampostería y los antepechos se pueden modelar con precisión con esta configuración.

Los DOF de corte de los subelementos de tipo link presentan una curva histerética que se basa en la curva no lineal MIMK_bilin incorporada de SeismoStruct (curva de deterioro modificada Ibarra-Medina-Krawinkler con bilineales reglas de histéresis), de acuerdo con una ley que describe el comportamiento de corte de todo el miembro Simultáneamente, en el subelemento interno, el modelado de la sección de fibra permite una descripción relativamente precisa del comportamiento de flexión axial acoplada.El estado de tensión-deformación seccional se obtiene a través de la integración de la respuesta de material uniaxial no lineal de las fibras individuales, en las que la sección se ha subdividido, lo que explica completamente la propagación de la inelasticidad a lo largo de la longitud del miembro y a través de la profundidad de la sección (como se describe en la sección de la Inelasticidad de Material).

La determinación de la resistencia al corte del miembro es crucial en la precisión del modelo, y el modelo la lleva a cabo automáticamente, en función de las propiedades del material de mampostería, las dimensiones del miembro y el Código estructural seleccionado. Las siguientes expresiones se emplean para el cálculo de la capacidad de corte del miembro (se observa que se emplean diferentes ecuaciones en los diferentes estándares).

- En el Eurocódigo 8, se emplea el mecanismo de falla del deslizamiento de la junta horizontal:

  $V_f = f_{vd} D' t$ (C.2) EC8: Part 3

- En ASCE 41-23 y para muros URM de mampostería no reforzadas, se utiliza el valor más bajo de la resistencia al deslizamiento de la junta horizontal y la resistencia a la tensión diagonal, de acuerdo con las siguientes expresiones:

  $Q_{CE} = V_{bjs1} = v_{me} A_n$ (11-9) ASCE 41-23

  $Q_{CL} = V_{dt} = f'_{dt} A_n \beta \sqrt{1 + \frac{f_\alpha}{f'_{dt}}}$ (11-12) ASCE 41-23

- En ASCE 41-23 y para los antepechos URM de mampostería no reforzada, se utiliza el valor más bajo de la resistencia de la junta de la cama y la resistencia a la tensión diagonal, de acuerdo con las siguientes expresiones:

  $V_{s1} = \frac{2}{3}\left(c_{bj} + \mu_f p_{sp}\right) h_{sp} b_{sp}$ (11-17) ASCE 41-23

  $V_{s2} = \frac{f'_{dt}}{2.3\left(1+\frac{l_{sp}}{2h_{sp}}\right)} 2 \sqrt{1 + \frac{p_{sp}}{f'_{dt} f_{dt}}} h_{sp} b_{sp}$ (11-18) ASCE 41-23

- En ASCE 41-23 y para muros de mampostería o antepechos con refuerzo, se emplea la siguiente expresión:

$V_n = (V_{nm} + V_{ns})\gamma_g$ (Equation 9-21) TMS 402

- En NTC-18 y para los antepechos URM de mampostería no reforzada se utilizan diferentes expresiones para los diferentes tipos de materiales: (i) para mampostería con bloques se emplea el criterio de Mohr-Coulomb, (ii) para mampostería con ladrillos o piedras regulares, la resistencia es igual al valor más bajo de los criterios de Turnšek y Čačovič y de Mann y Müller y (iii) para mampostería con piedras irregulares se emplea la expresión de Turnšek y Čačovič.

  Mohr-Coulomb(§7.8.2.2.2 NTC-18 y §6.2 EC6): $V_t = f_{vd} l' t$

  Turnšek-Čačovič(§C8.7.1.3.1.1 Comentario de NTC-18):

  $$V_t = \frac{1.5\tau_{0d} lt}{b}\sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1.5\tau_{0d}}} = \frac{f_{td} lt}{b}\sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{f_{td}}}$$

  Mann-Müller(§C8.7.1.3.1.1 Comentario de NTC-18): $V_t = \frac{lt}{b}\left(\frac{f_{v0d}}{1+\mu\phi} + \frac{\mu}{1+\mu\phi}\sigma_0\right) \leq V_{t,lim}$

- En NTC-18 y para mampostería reforzada RM, la capacidad de corte se calcula de acuerdo con §7.8.3.2.2 NTC2018:

  $V_t = V_{t,M} + V_{t,S}$ (7.8.7) NTC-18

  where:

  $V_{t,M} = d \cdot t \cdot f_{vd}$ (7.8.8) NTC-18

  and

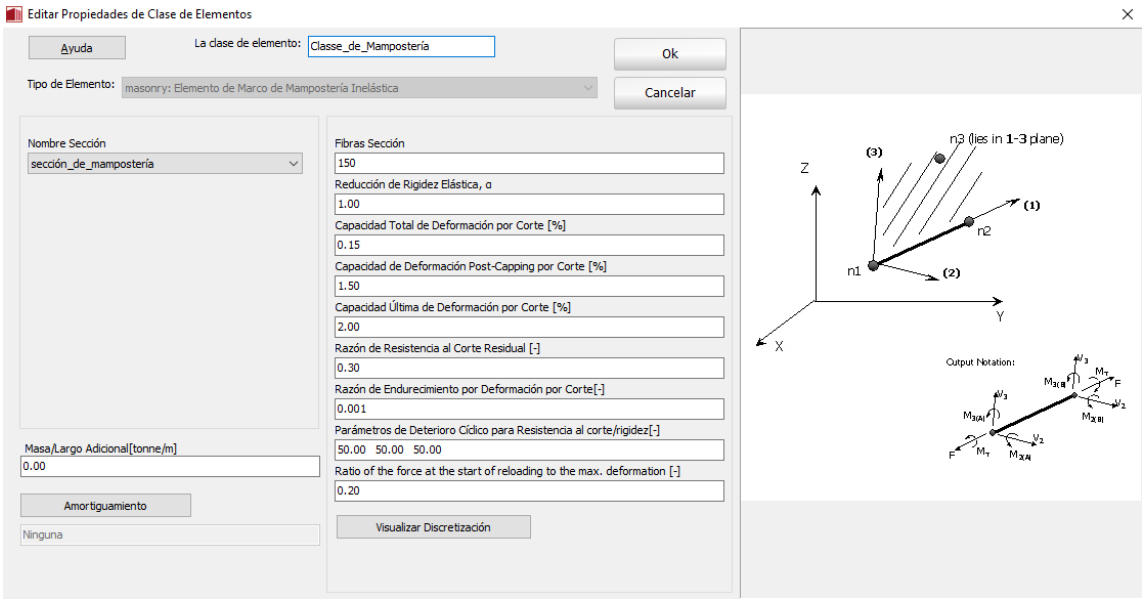
  $V_{t,S} = (0{,}6 \cdot d \cdot A_{sw} \cdot f_{yd})/s$ (7.8.9) NTC-18

Debe notarse que en las revisiones de acuerdo con KANEPE se emplean las expresiones de EC8. De manera similar, con TBDY se usan las ecuaciones ASCE 41. Para obtener una descripción completa de las expresiones empleadas en cada Norma, los usuarios pueden consultar los Apéndices H1 a H6.

Se pueden usar dos modelos especiales de material de mampostería con el tipo de elemento de mampostería, mas_par y mas_tl. El primero se basa en el modelo de material de hormigón con_ma, mientras que el segundo es un modelo multilineal más simple con degradación y resistencia residual. Ambos modelos presentan parámetros, tales como la resistencia a la compresión, la resistencia al corte y la resistencia a la tracción, que se emplean en la determinación de la resistencia al corte del miembro. Del mismo modo, hay dos tipos de secciones específicas de mampostería en SeismoStruct, la mws para muros de mampostería y la mss para antepechos. Tanto los miembros de mampostería URM no reforzada como los miembros de mampostería RM reforzada se pueden modelar efectivamente con las características propuestas.

NOTA: El tipo de elemento de mampostería solo se puede usar con los modelos de material mas_par y mas_tl. De manera similar, solo se pueden emplear los tipos de secciones especiales de mampostería mws y mss. La razón de esto es que pueden almacenar parámetros que se utilizan para el cálculo automático de la resistencia al corte del miembro.

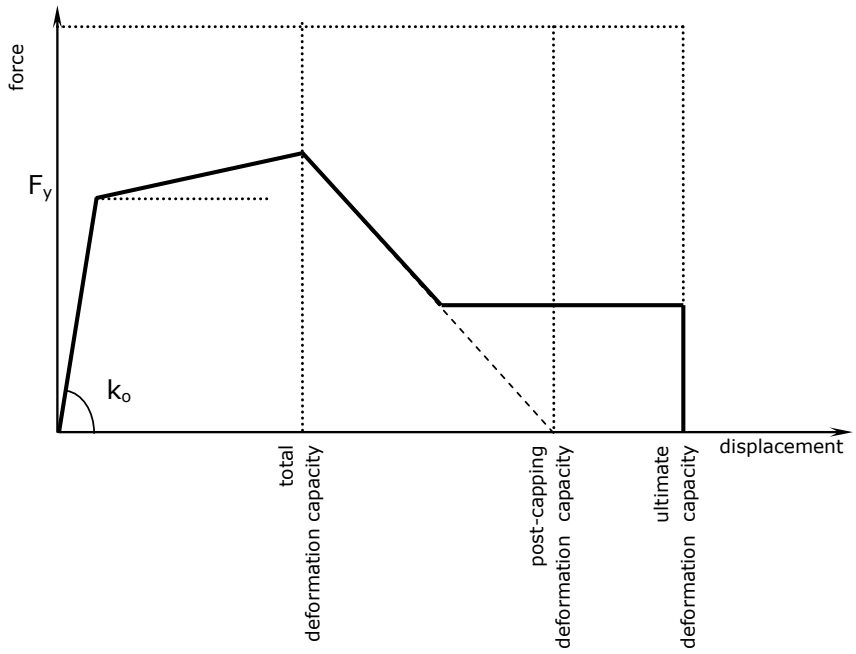
Los usuarios pueden elegir si calcular la resistencia al corte de la mampostería (i) solo en el paso inicial, (ii) en todos los pasos hasta la fluencia del corte o (iii) en cada paso, es decir, incluso después de alcanzar la capacidad máxima del miembro. La opción predeterminada es la segunda, que es actualizar la resistencia al corte hasta el rendimiento, que es la mejor combinación de precisión y estabilidad, ya que actualizar la resistencia al corte en la rama descendente de la curva de capacidad puede conducir a dificultades de convergencia sin mejorar significativamente la precisión de la solución



Definición de un nuevo elemento de mampostería

Los parámetros necesarios para la definición completa de las propiedades del elemento son los siguientes (ver figura anterior):

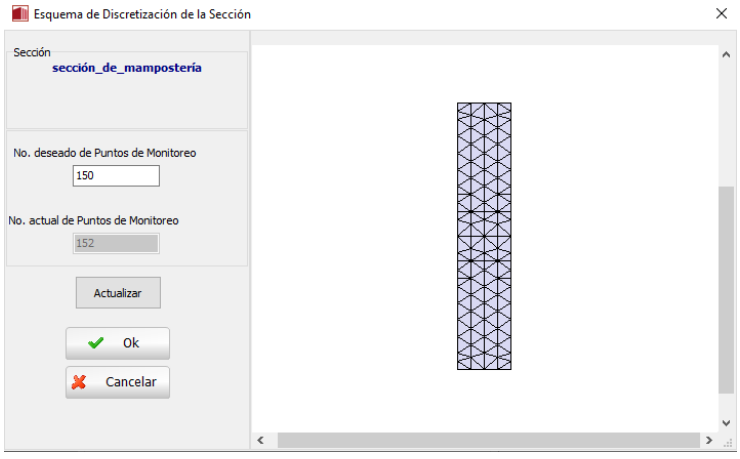
- El número de fibras de la sección utilizadas en los cálculos de equilibrio realizados en cada una de las secciones de integración del subelemento interno.
- La reducción de la rigidez elástica α es la reducción de la rigidez elástica no agrietada de la curva de deformación por fuerza de corte que se emplea en los cálculos
- La capacidad total de deformación por corte, que es la capacidad de deformación final del miembro $d_{tot} = d_{yield} + d_{plastic}$. Se observa que la deformación de fluencia d_{yield} se calcula directamente por el programa a partir de la rigidez al corte elástico y la resistencia a la deformación.
- La capacidad de deformación post-capping por corte: este es el nivel de deformación, en el cual la extrapolación de la rama descendente de la curva de deformación por fuerza de corte alcanza el eje cero.
- La capacidad de deformación de corte última: este es el nivel de deformación, después del cual no hay resistencia residual
- La razón de resistencia al corte residual es la relación entre la resistencia máxima (en el nivel de capacidad de deformación total) y la resistencia residual
- La razón de endurecimiento por deformación por corte es la relación entre las ramas elástica y plástica de la curva de fuerza-deformación por corte
- Los parámetros de deterioro cíclico para la resistencia al corte y la rigidez son los siguientes tres parámetros: (i) el parámetro de deterioro cíclico para el deterioro de la resistencia - Λs, (ii) el parámetro de deterioro cíclico para el deterioro de la rigidez de descarga - ΛK, y (iii) el parámetro cíclico de deterioro para el deterioro de la resistencia post-capping - Λc. Para todos los parámetros, cuanto menor es el factor, mayor es el deterioro impuesto en la curva, sin embargo, debe notarse que un valor cero no conduce a ningún deterioro. Para obtener una descripción completa de los parámetros, consulte la documentación de la curva MIMK_bilin
- Razón entre la fuerza al inicio de la recarga y la fuerza correspondiente a la deformación máxima experimentada para las direcciones de carga positiva y negativa.



Curva de deformación por fuerza cortante empleada en el modelo de mampostería

Con respecto a las fibras de sección, el número ideal, suficiente para garantizar una reproducción adecuada de la distribución de tensión-deformación a través de la sección del elemento, varía con la forma y las características del material de el elemento, y el grado de inelasticidad a la que el elemento será forzado a. Como regla general, los usuarios pueden considerar que generalmente 100 fibras deberían ser adecuadas.

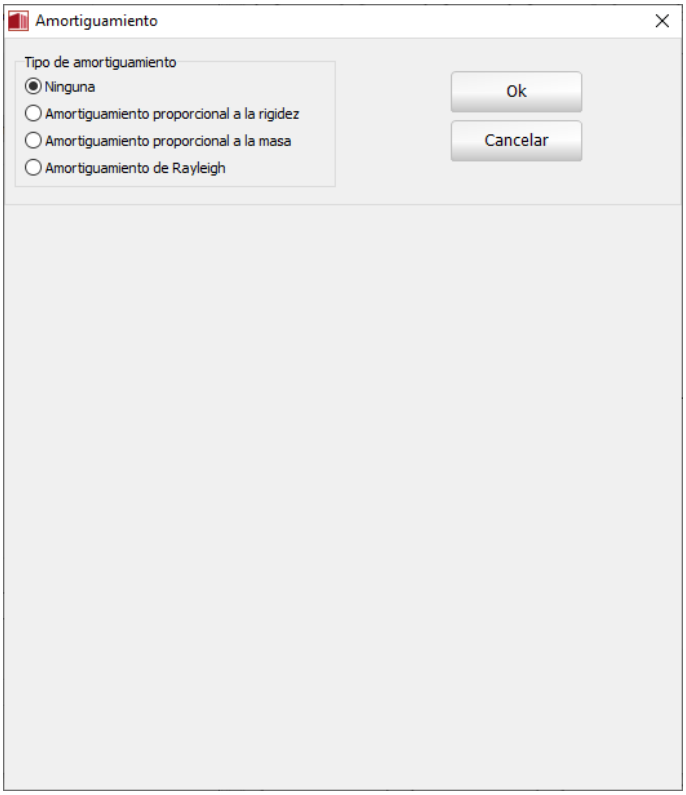
En el cuadro de diálogo *Esquema de Discretización de la Sección*, el software proporciona el número deseado y real (después de que se haya realizado la discretización de sección, empleando procedimientos de triangulación) de puntos de monitoreo que se emplearán en el análisis. Al hacer clic en el botón Actualizar, es posible actualizar la vista de la sección de discretización.



Sección de discretización con fibras

En la ventana de diálogo de este elemento es posible definir también un valor de amortiguamiento específico del elemento, en contraste con el amortiguamiento global descrito en *General>Ajustes de Proyecto>Amortiguamiento*. Para hacerlo, los usuarios deben simplemente hacer clic sobre el botón *Amortiguamiento* y luego seleccionar el tipo de amortiguamiento que mejor se adapta al elemento en

cuestión (por mayores detalles respecto a los tipos de amortiguamiento disponibles y consejos respecto de cuáles pueden ser las mejores opciones, ver el menú Amortiguamiento).

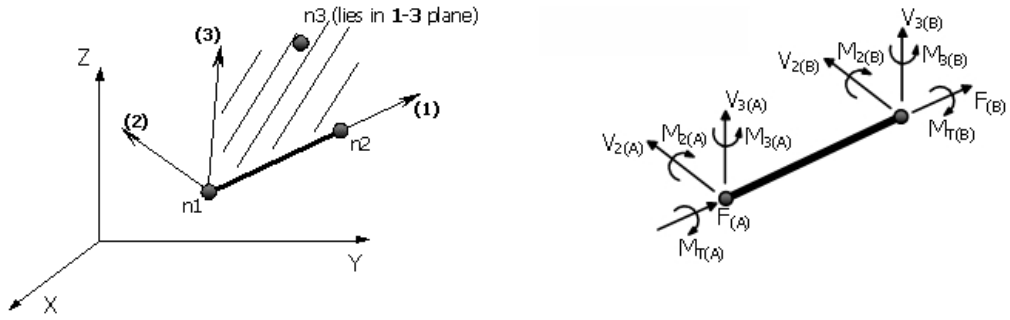


Definición de amortiguamiento especifico de un elemento

IMPORTANTE: El amortiguamiento definido a nivel de los elementos prevalece por sobre el amortiguamiento global, es decir, los coeficientes de la matriz de amortiguamiento calculados "a nivel global" asociados a los grados de libertad de un elemento dado serán reemplazados por los coeficientes calculados a través del producto de la matriz de masa del elemento y un parámetro proporcional a la masa, o a través del producto de la matriz de rigidez del elemento y un parámetro proporcional a la rigidez, o mediante el cálculo de una matriz de amortiguamiento de Rayleigh del elemento.

NOTA: Si se define amortiguamiento de Rayleigh a nivel del elemento utilizando coeficientes diferentes para distintos elementos o respecto de aquellos empleados en los ajustes de amortiguamiento global, entonces se está modelando un amortiguamiento de Rayleigh "no-clásico", ya que el amortiguamiento de Rayleigh "clásico" requiere la definición de coeficientes uniformes.

Los ejes locales y la notación de salida se definen en la figura a continuación. Consulte la discusión sobre los ejes de trama global y local en el Apéndice A para obtener una descripción detallada sobre la determinación de la orientación del sistema de eje del elemento local.

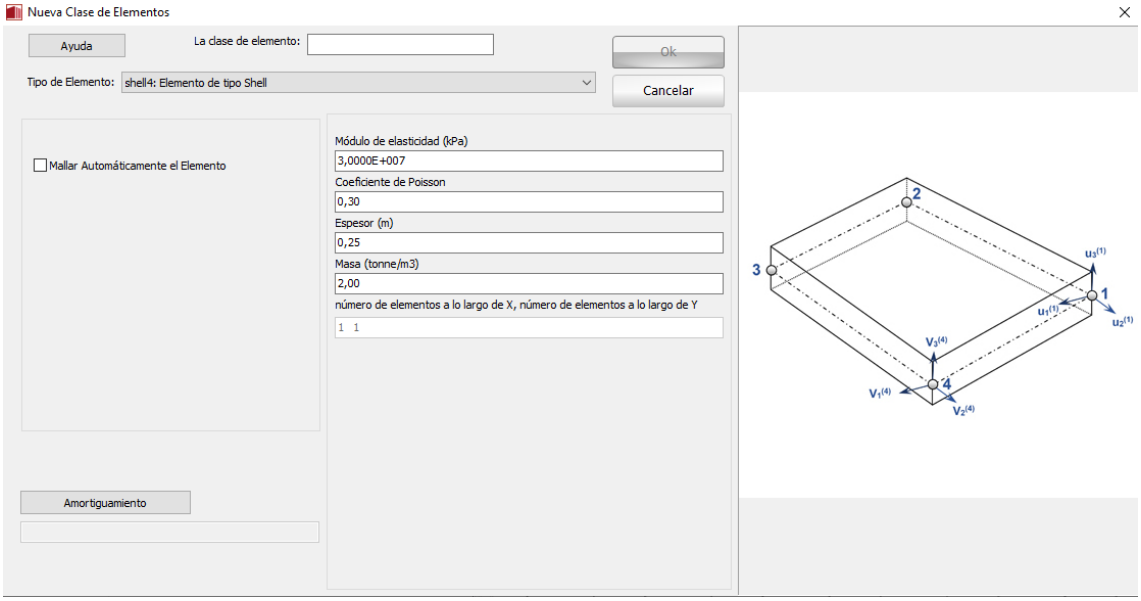


Ejes Locales y Notación del Output por elementos de mampostería

Elemento shell – shell4

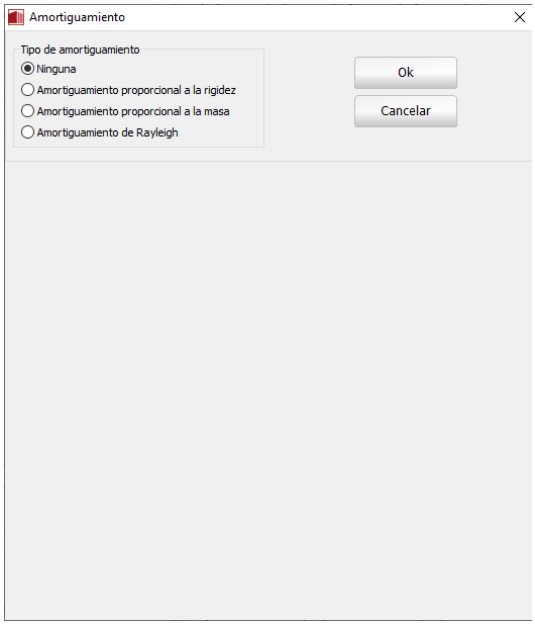
Este elemento es un elemento Shell 3D con 4 nodos (elemento shell cuadrilátero). Sigue la formulación del elemento de componentes tensoriales interpolados mixtos (MITC) como se describe por Dvorkin y Bathe (1984). El elemento combina la flexión de las placas y el comportamiento de la membrana. El elemento shell se puede utilizar para el modelado de elementos estructurales como pisos/placas (aplicables tanto para placas delgadas como gruesas) y paredes y, en general, superficies que soportan cargas en el plano y fuera del plano. El elemento es elástico con seis grados de libertad por nodo.

Para definir completamente el elemento shell4n, el usuario debe especificar el módulo de elasticidad, el coeficiente de Poisson, el espesor y la masa distribuida del elemento. También existe la opción de discretizar un elemento marcando la opción correspondiente y definiendo en cuántos subelementos se discretizará el elemento en cada dirección.



Definición de un nuevo elemento shell4

En la ventana de diálogo de este elemento es posible definir también un valor de amortiguamiento específico del elemento, en contraste con el amortiguamiento global descrito en *General>Ajustes de Proyecto>Amortiguamiento*. Para hacerlo, los usuarios deben simplemente hacer clic sobre el botón *Amortiguamiento* y luego seleccionar el tipo de amortiguamiento que mejor se adapta al elemento en cuestión (por mayores detalles respecto a los tipos de amortiguamiento disponibles y consejos respecto de cuáles pueden ser las mejores opciones, ver el menú Amortiguamiento).



Definición de amortiguamiento especifico de un elemento

IMPORTANTE: El amortiguamiento definido a nivel de los elementos prevalece por sobre el amortiguamiento global, es decir, los coeficientes de la matriz de amortiguamiento calculados "a nivel global" asociados a los grados de libertad de un elemento dado serán reemplazados por los coeficientes calculados a través del producto de la matriz de masa del elemento y un parámetro proporcional a la masa, o a través del producto de la matriz de rigidez del elemento y un parámetro proporcional a la rigidez, o mediante el cálculo de una matriz de amortiguamiento de Rayleigh del elemento.

NOTA: Si se define amortiguamiento de Rayleigh a nivel del elemento utilizando coeficientes diferentes para distintos elementos o respecto de aquellos empleados en los ajustes de amortiguamiento global, entonces se está modelando un amortiguamiento de Rayleigh "no-clásico", ya que el amortiguamiento de Rayleigh "clásico" requiere la definición de coeficientes uniformes.

Los ejes locales y la notación de salida se definen en la siguiente figura. En general, el eje local (1) está alineado con la dirección definida por nodo 1 y nodo 2, el eje local (2) es perpendicular al eje (1) en el plano del elemento y el eje local (3) es perpendicular al plano definido por el eje (1).) y el eje (2).

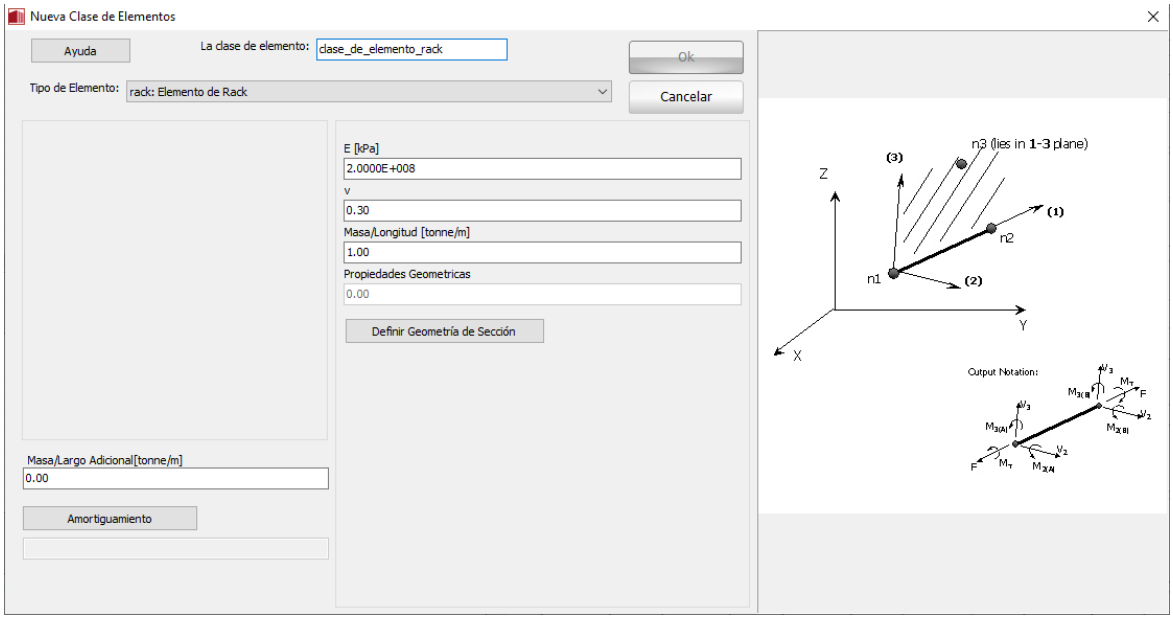
Elemento tipo rack - rack

Este elemento es un elemento de viga 3D con secciones abiertas y de pared delgada. El elemento se caracteriza por siete grados de libertad por nodo, para estimar correctamente los desplazamientos y las tensiones internas, incluidos los desplazamientos de deformación y las tensiones de dos momentos, y para predecir correctamente el pandeo de flexión-torsión y lateral-torsión, derivado por el acoplamiento entre flexión y torsión. Además, el modelo explica la excentricidad del centro de corte del centroide de la sección, y considera todos los coeficientes de Wagner, lo que lo hace adecuado para su uso con secciones no simétricas.

A consecuencia, la formulación es ideal para el modelado de racks de paletas de almacenamiento de acero, así como para andamios, que generalmente están compuestos por montantes de secciones de canal labio mono-simétricas.

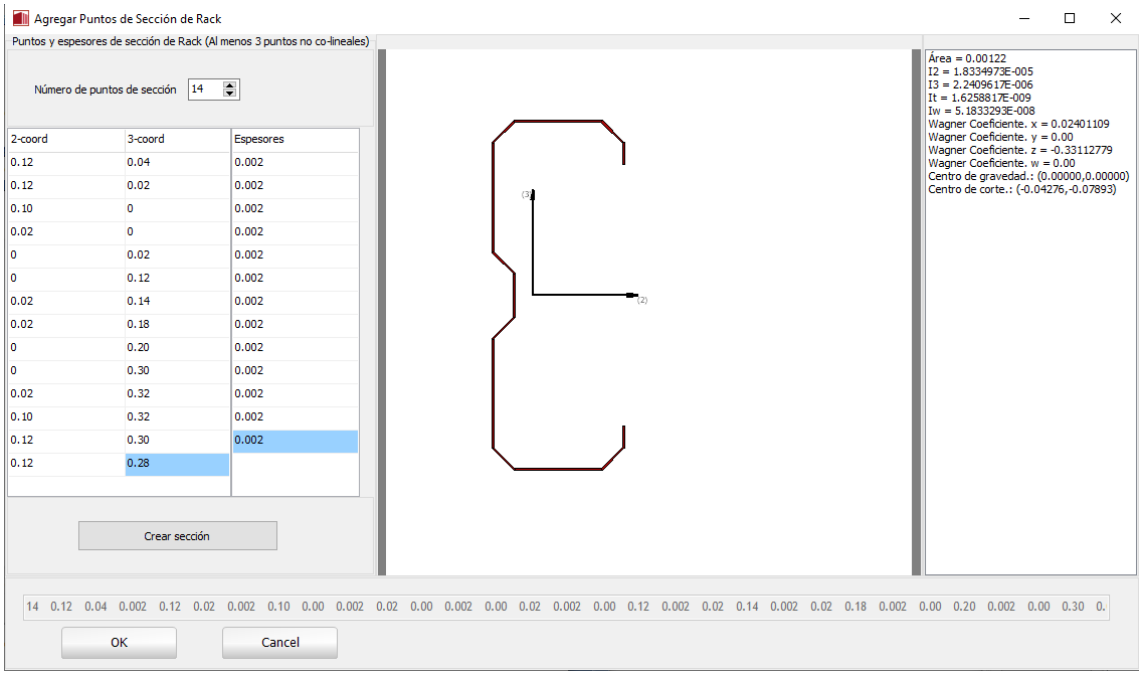
El elemento tipo rack se puede definir completamente si se proporcionan las propiedades del material (elástico) (el módulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson) y la configuración de la sección. Los

primeros se muestran en el cuadro de diálogo principal de la clase de elemento de rack (consulte la siguente).



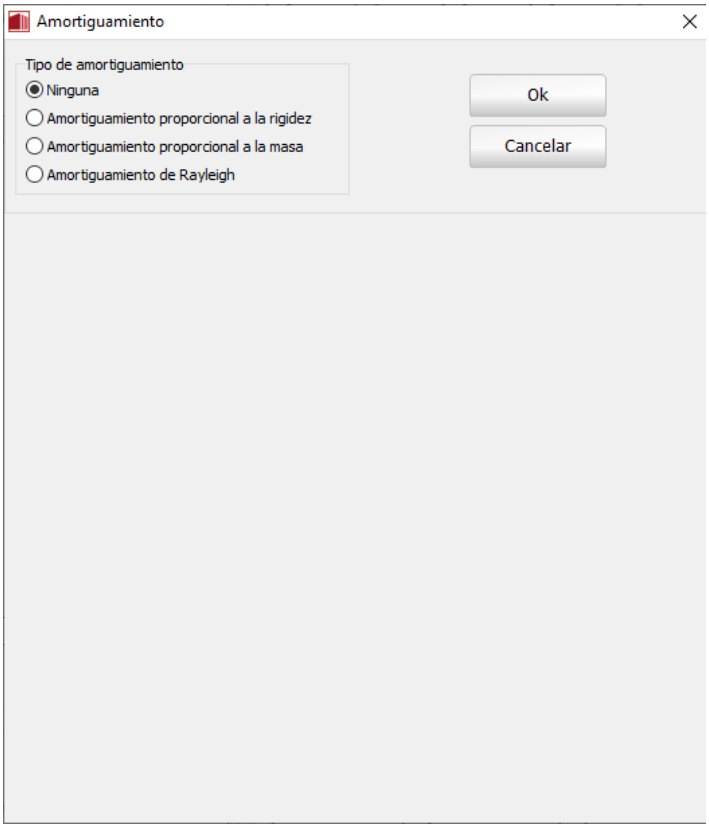
Definición de un nuevo elemento de rack

La geometría de la sección se puede definir en un cuadro de diálogo. Se puede modelar cualquier configuración de sección abierta de pared delgada, y se puede asignar diferentes espesores en las diferentes partes de la sección. Después de que el usuario define las coordenadas de los puntos de esquina de la sección y hace clic en el botón Crear Sección, la sección se muestra en la pantalla y las propiedades de la sección elástica, los coeficientes de Wagner y la posición del centro de corte se calculan automáticamente.



Definición de la configuración de sección para el elemento Rack

En el cuadro de diálogo de este elemento también es posible definir una amortiguación específica del elemento, en oposición a la amortiguación global definida en General> Configuración del proyecto> Amortiguación. Para hacerlo, los usuarios simplemente tienen que presionar el botón Amortiguación y luego seleccionar el tipo de amortiguación que mejor se adapte al elemento en cuestión (los usuarios deben consultar el menú Amortiguación para una discusión sobre los diferentes tipos de amortiguación disponibles y sugerencias sobre cuáles podrían mejores opciones).

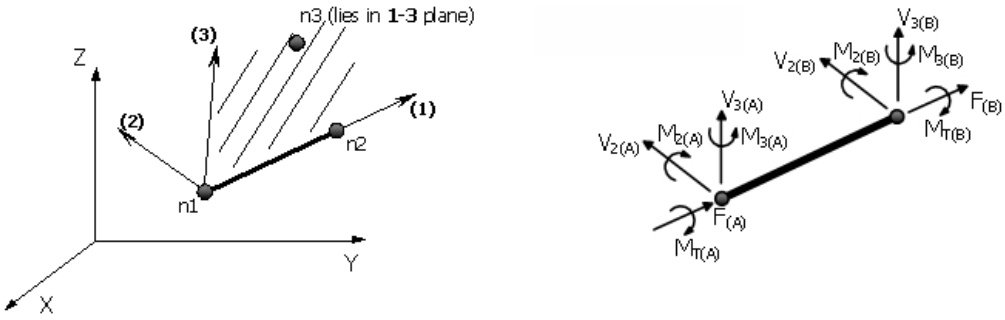


Definición de amortiguamiento especifico de un elemento

IMPORTANTE: El amortiguamiento definido a nivel de los elementos prevalece por sobre el amortiguamiento global, es decir, los coeficientes de la matriz de amortiguamiento calculados "a nivel global" asociados a los grados de libertad de un elemento dado serán reemplazados por los coeficientes calculados a través del producto de la matriz de masa del elemento y un parámetro proporcional a la masa, o a través del producto de la matriz de rigidez del elemento y un parámetro proporcional a la rigidez, o mediante el cálculo de una matriz de amortiguamiento de Rayleigh del elemento.

NOTA: Si se define amortiguamiento de Rayleigh a nivel del elemento utilizando coeficientes diferentes para distintos elementos o respecto de aquellos empleados en los ajustes de amortiguamiento global, entonces se está modelando un amortiguamiento de Rayleigh "no-clásico", ya que el amortiguamiento de Rayleigh "clásico" requiere la definición de coeficientes uniformes.

Los ejes locales y la notación de salida se definen en la figura a continuación. Consulte la discusión sobre los ejes de trama global y local en el Apéndice A para obtener una descripción detallada sobre la determinación de la orientación del sistema de eje del elemento local.



Ejes Locales y Notación del Output por elementos de rack

Elemento Rack con rótulas plásticas - rackH

Este elemento es un elemento de viga 3D con secciones abiertas y de pared delgada. El elemento se caracteriza por siete grados de libertad por nodo, para estimar correctamente los desplazamientos y las tensiones internas, incluidos los desplazamientos de deformación y las tensiones de dos momentos, y para predecir correctamente el pandeo de flexión-torsión y lateral-torsión, derivado por el acoplamiento entre flexión y torsión. Además, el modelo permite modelar el comportamiento inelástico a través de resortes no lineales en los dos extremos del elemento. Durante la definición del elemento, se requiere una curva de respuesta que describa la relación momento-rotación para cada uno de los dos grados de libertad de rotación de cada borde del elemento.

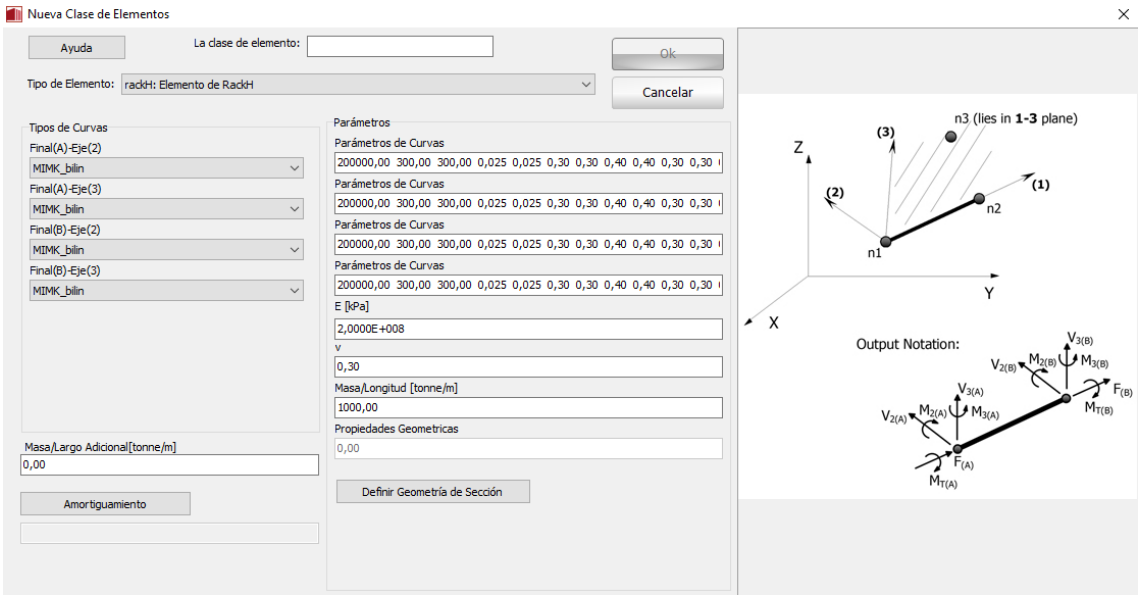
Actualmente, cuando se selecciona un elemento tipo rackh en la ventana de diálogo *Clases de Elementos*, es posible adjudicarle cualquiera de las veintinueve curvas de respuesta disponibles:

- Curva lineal simétrica - lin_sym
- Curva lineal asimétrica - lin_asm
- Curva bi-lineal simétrica - bl_sym
- Curva bi-lineal asimétrica - bl_asm
- Curva bi-lineal con endurecimiento cinemático - bl_kin
- Curva tri-lineal simétrica - trl_sym
- Curva tri-lineal asimétrica - trl_asm
- Curva simétrica cuadrilínea- quad_sym
- Curva asimétrica cuadrilínea - quad_asm
- Curva asimétrica con pinch - pinched_asm
- Curva de Respuesta Histerética con Deterioro de Ibarra-Medina-Krawinkler Modificada - MIMK_bilin
- Curva de Respuesta Histerética con Deterioro de Ibarra-Medina-Krawinkler Modificada con Respuesta Histerética Orientada al Pico - MIMK_peak
- Curva de Respuesta Histerética con Deterioro de Ibarra-Medina-Krawinkler Modificada con Respuesta Histerética y Pinch - MIMK_peak
- Curva elástica no lineal –Non_lin_Elast
- Curva plástica - plst
- Curva de Takeda bi-lineal simplificada – Takeda
- Curva de Takeda bi-lineal asimétrica – Takeda_asm
- Curva de Ramberg-Osgood –Ramberg_Osgood
- Curva deRichard-Abbott modificada –Richard_Abbot
- Curva de interacción suelo-estructura - ssi_py
- Curva gap-hook - gap_hk
- Curva multi-lineal - multi_lin
- Curva smooth – smooth
- Amortiguador viscoso - vsc_dmp
- Curva de Bouc Wen - Bouc_Wen
- Curva de separación elástica- perfectamente plástica: gap_elpl

- Curva de respuesta al impacto - pound_hz
- Curva de respuesta de la riostra autocentrante - scb
- Curva genérica de respuesta histerética - gen_hyst

Para obtener una descripción completa de las curvas de respuesta disponibles asociadas al elemento de rack con dos resortes rotacionales, consulte el Apéndice G.Además, como en el caso del elemento rack simple, el modelo explica la excentricidad del centro de corte del centroide de la sección, y considera todos los coeficientes de Wagner, lo que lo hace adecuado para su uso con secciones no simétricas.

El elemento rackH se puede definir completamente, si se proporcionan las curvas de respuesta DOF rotacional, las propiedades (elásticas) del material (módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson) y la configuración de la sección. Los primeros se dan en la ventana principal de la clase de elemento rack (ver la figura a continuación). Finalmente, se debe definir la geometría de la sección del elemento rackH. La geometría de la sección se define de manera similar al elemento rack.



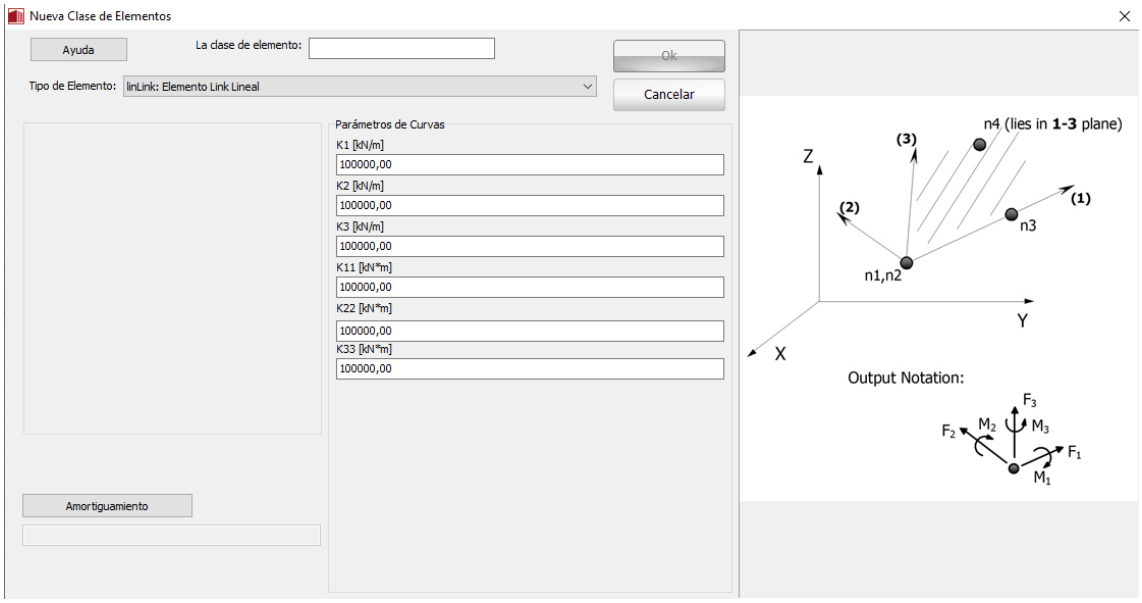
Definición de un nuevo elemento rackh

La posibilidad de definir *amortiguamiento a nivel del elemento*, a diferencia de la amortiguación global definida en General>Configuración del proyecto>Amortiguación, como se describe en las secciones del elemento rack. Finalmente, los ejes locales y la notación de salida son los mismos con el elemento rack.

ELEMENTOS TIPO LINK

Elemento tipo link lineal - linlink

Estos son los elementos link 3D con acciones axiales, de corte y de momento desacopladas. Los seis Grados de Libertad locales del elemento (F1, F2, F3, M1, M2, M3) siguen un comportamiento lineal. Como resultado, el usuario solo necesita definir la rigidez elástica K para cada uno de los seis grados de libertad locales.



Definición de un nuevo elemento linlink

Los elementos linLink conectan dos nodos estructurales inicialmente coincidentes.

También es posible definir también un valor de amortiguamiento específico del elemento, en contraste de la amortiguación global definida en General>Configuración del proyecto>Amortiguación, como se describe en las secciones del elemento NLLink. Finalmente, los ejes locales y la notación de salida son los mismos con el elemento NLLink.

Elemento tipo link no lineal - NLlink

Se trata de un elemento tipo link tridimensional, con acción axial, de corte y momento desacopladas, que puede ser utilizado para modelar, por ejemplo, uniones viga-columna articuladas o flexibles, separación/golpeteo estructural, dispositivos de disipación de energía, dispositivos de apoyo para puentes, apoyos inclinados, aislamiento sísmico, fundaciones flexibles, etc.

Los elementos tipo link conectan dos nodos estructurales inicialmente coincidentes y requieren la definición de una curva de respuesta fuerza-desplazamiento (o momento-rotación) para cada uno de sus seis grados de libertad locales (F_1, F_2, F_3, M_1, M_2, M_3), indicados a continuación.

Actualmente, cuando se selecciona un elemento tipo link no lineal en la ventana de diálogo *Clases de Elementos*, es posible adjudicarle cualquiera de las veintinuevecurvas de respuesta disponibles:

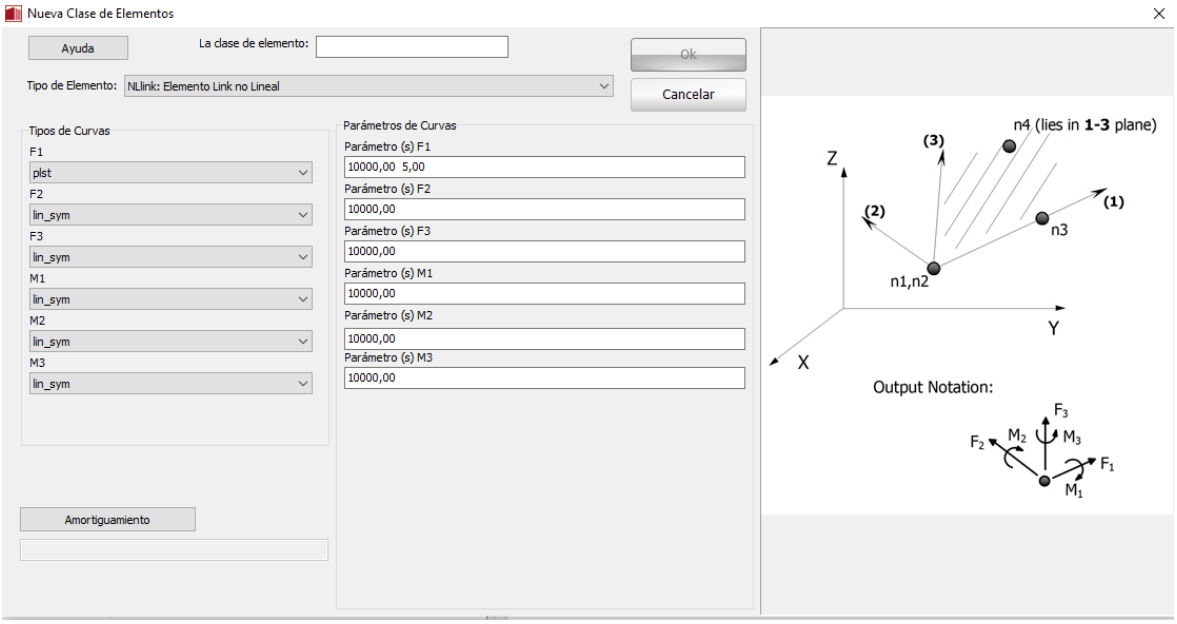
- Curva lineal simétrica - lin_sym
- Curva lineal asimétrica - lin_asm
- Curva bi-lineal simétrica - bl_sym
- Curva bi-lineal asimétrica - bl_asm
- Curva bi-lineal con endurecimiento cinemático - bl_kin
- Curva tri-lineal simétrica - trl_sym
- Curva tri-lineal asimétrica - trl_asm
- Curva simétrica cuadrilínea- quad_sym
- Curva asimétrica cuadrilínea - quad_asm
- Curva asimétrica con pinch - pinched_asm
- Curva de Respuesta Histerética con Deterioro de Ibarra-Medina-Krawinkler Modificada - MIMK_bilin
- Curva de Respuesta Histerética con Deterioro de Ibarra-Medina-Krawinkler Modificada con Respuesta Histerética Orientada al Pico - MIMK_peak

- Curva de Respuesta Histerética con Deterioro de Ibarra-Medina-Krawinkler Modificada con Respuesta Histerética y Pinch - MIMK_peak
- Curva elástica no lineal –Non_lin_Elast
- Curva plástica - plst
- Curva de Takeda bi-lineal simplificada – Takeda
- Curva de Takeda bi-lineal asimétrica – Takeda_asm
- Curva de Ramberg-Osgood –Ramberg_Osgood
- Curva deRichard-Abbott modificada –Richard_Abbot
- Curva de interacción suelo-estructura - ssi_py
- Curva gap-hook - gap_hk
- Curva multi-lineal - multi_lin
- Curva smooth – smooth
- Amortiguador viscoso - vsc_dmp
- Curva de Bouc Wen - Bouc_Wen
- Curva de separación elástica- perfectamente plástica: gap_elpl
- Curva de respuesta al impacto - pound_hz
- Curva de respuesta de la riostra autocentrante - scb
- Curva genérica de respuesta histerética - gen_hyst

Para obtener una descripción completa de las curvas de respuesta disponibles asociadas al elemento link no lineal, consulte el Apéndice G.En la ventana de diálogo del elemento link no lineal es posible definir también un valor de amortiguamiento específico del elemento, en contraste con el amortiguamiento global descrito en *General>Ajustes de Proyecto>Amortiguamiento*. Para hacerlo, los usuarios deben simplemente hacer clic sobre el botón *Amortiguamiento* y luego seleccionar el tipo de amortiguamiento que mejor se adapta al elemento en cuestión (por mayores detalles respecto a los tipos de amortiguamiento disponibles y consejos respecto de cuáles pueden ser las mejores opciones, ver el menú Amortiguamiento).

IMPORTANTE: El amortiguamiento definido a nivel de los elementos prevalece por sobre el amortiguamiento global, es decir, los coeficientes de la matriz de amortiguamiento calculados "a nivel global" asociados a los grados de libertad de un elemento dado serán reemplazados por los coeficientes calculados a través del producto de la matriz de masa del elemento y un parámetro proporcional a la masa, o a través del producto de la matriz de rigidez del elemento y un parámetro proporcional a la rigidez, o mediante el cálculo de una matriz de amortiguamiento de Rayleigh del elemento.

La posibilidad de definir *amortiguamiento a nivel del elemento* es típicamente utilizada aquí para modelar el amortiguamiento por radiación en los resortes que representan la interacción suelo-estructura (caracterizados por modelos fuerza-desplazamiento diversos, tales como ssi_py o cualquier otra curva de respuesta), evitando así la necesidad de introducir disipadores viscosos en paralelo.



Definición de un nuevo elemento NLlink

NOTA 1: Sólo las curvas de respuesta que han sido activadas anteriormente en la ventana Modelos Constitutivos (*Herramientas > Ajustes de Proyecto > Modelos Constitutivos*) pueden ser seleccionadas en el menú desplegable asociado al elemento link.

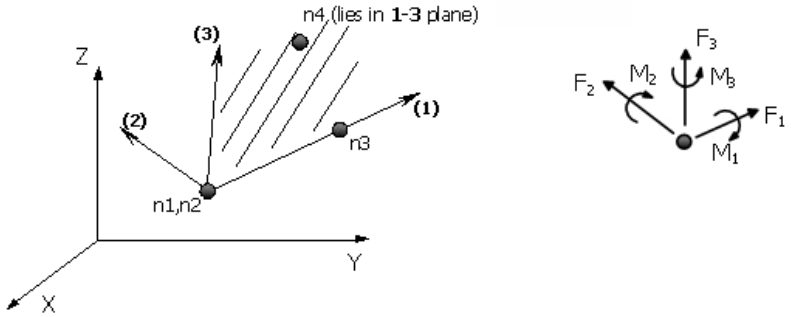
NOTA 2: Cuando se introduce un elemento tipo link entre dos nodos inicialmente coincidentes, resulta obligatorio definir relaciones fuerza-desplazamiento para los seis grados de libertad, incluso de aquellos para los cuales la respuesta de los dos nodos es idéntica. Este caso es habitualmente modelado mediante la adopción de curvas de respuesta lineales con valores muy elevados de rigidez, de forma tal de garantizar que no exista desplazamiento relativo entre los dos nodos para ese grado de libertad en particular. El valor de la rigidez a adoptar en dichos casos depende en gran medida del tipo de análisis que se desea ejecutar y del orden de magnitud de los resultados a obtener. Valores demasiado reducidos no podrán reproducir conexiones efectivamente rígidas, mientras que valores demasiado elevados pueden ocasionar dificultades numéricas, especialmente cuando se adopta un criterio de convergencia basado en fuerzas. Habitualmente, y como regla general, los usuarios pueden utilizar un valor de rigidez 100 a 250 veces mayor que aquel de los elementos adyacentes, aunque debe notarse que sólo un estudio de sensibilidad puede permitir la definición del valor óptimo.

NOTA 3: En algunos análisis, la utilización de K_0=0 para modelar uniones articuladas puede generar dificultades de convergencia. Generalmente, esto puede resolverse mediante la adopción de un valor de rigidez distinto de cero, pero suficientemente pequeño (por ej., 0.001). Si el usuario desea optimizar el modelo (es decir, encontrar el valor más bajo de rigidez que no causa inestabilidades numéricas acentuadas), se recomienda entonces realizar un estudio de sensibilidad para cada caso en particular.

NOTA 4: Si se define amortiguamiento de Rayleigh a nivel del elemento utilizando coeficientes diferentes para distintos elementos o respecto de aquellos empleados en los ajustes de amortiguamiento global, entonces se está modelando un amortiguamiento de Rayleigh "no-clásico", ya que el amortiguamiento de Rayleigh "clásico" requiere la definición de coeficientes uniformes.

NOTA 5: Habitualmente se acopla el amortiguamiento con los elementos tipo link para la introducción de resortes que representen la interacción suelo-estructura, con el fin de realizar un análisis dinámico adecuado (ver detalles sobre la curva de respuesta ssi_py).

La figura siguiente ilustra la definición de los ejes locales y la notación utilizada en el output:



Ejes Locales y Notación del Output

Macroelemento SSI para Cimentaciiones Superficiales – ssilink1

Este elemento es un modelo de macroelementos no lineal para la interacción entre la estructura y el suelo para las zapatas superficiales, basado en el trabajo de Correia y Paolucci (2019). Este enfoque de macroelementos reduce significativamente el tamaño del problema, ya que la base y el suelo se consideran un macroelemento único caracterizado por seis grados de libertad (6 DOF), en el caso 3D, cuya formulación se basa en el fuerzas y desplazamientos resultantes. La geometría considerada aquí corresponde a una zapata rígida rectangular, con acoplamiento entre todos los DOF de macroelementos y su definición como un único elemento de link de longitud cero. Considerando una carga plana, por simplicidad de notación y visualización, la zapata esta sujeta a un momento de volteo y a las fuerzas verticales y horizontales (My, N y Hx respectivamente), como se muestra en la Figura 1.

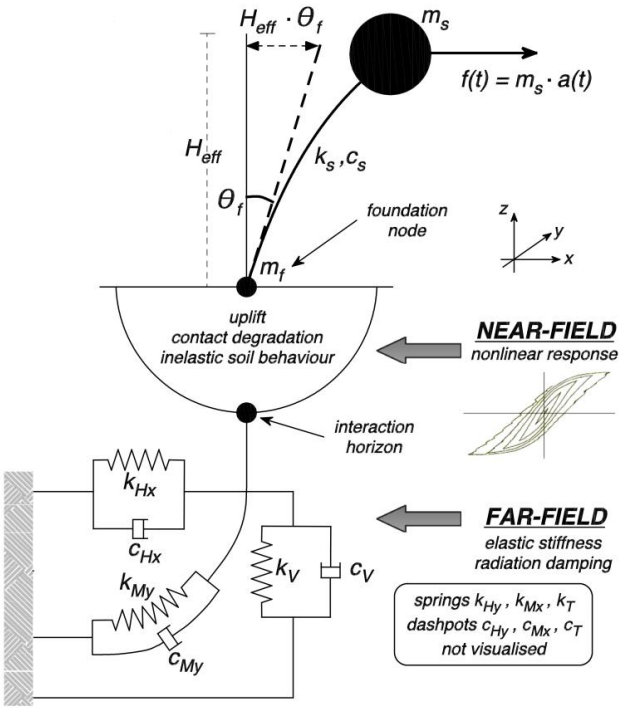


Figure 1. Macroelemento no lineal de cimentación superficial

Se adopta un modelo de levantamiento que se basa en una respuesta de levantamiento elástica no lineal que también considera degradación del contacto en la interfaz suelo/zapata debido a cambios irrecuperables en su geometría. También se utiliza un modelo de plasticidad de la superficie delimitadora que tiene en cuenta correctamente la respuestas simultáneas de levantamiento elástico y plástico no lineal. Finalmente, esta formulación de macroelementos es totalmente aplicable a casos de carga tridimensional. La Figura 2 representa esquemáticamente el tipo de fenómenos que se pretende modelar con el macroelemento.

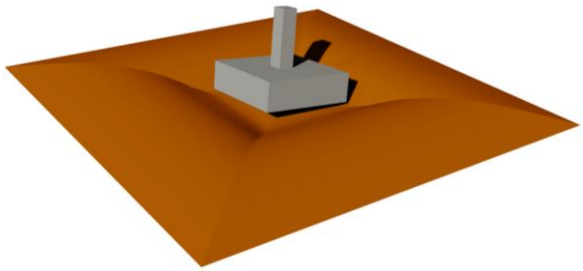


Figura 2. Respuesta esquemática de la base en un caso 3D, que representa el levantamiento, la inelasticidad y la degradación del contacto.

El modelo de macroelemento de zapata representa el comportamiento dinámico de zapatas rígidas únicas, sometidas a una carga inercial tridimensional, desde las etapas iniciales de carga hasta llegar a la falla. El macroelemento se basa en las tres características principales de la respuesta de zapatas, a saber:

i) Respuesta elástica inicial,
ii) levantamiento en la respuesta de volteo,
iii) Condiciones de carga de falla.

El modelo de plasticidad de la superficie delimitadora se usa para representar una transición continua entre la respuesta elástica inicial y el flujo de plástico en caso de falla, para condiciones de carga monotónicas, cíclicas y dinámicas. El fenómeno de levantamiento está representado por un modelo elástico no lineal que, sin embargo, tiene en cuenta y está influenciado por el estado de deformación plástica en el suelo subyacente.

La superficie delimitadora adoptada en este macroelemento depende del tipo de suelo y su condiciones de drenaje durante un evento sísmico. Por lo tanto, se consideran diferentes superficies de falla 3D para condiciones de drenaje y sin drenaje. La superficie final adoptada para describir el comportamiento drenado corresponde a la forma de "pelota de rugby", mientras que para la carga no drenada, la superficie final corresponde a la forma denominada "escalope", que se representa en la Figura 3 en términos de su intersección en los planos de carga H-N y M-N. La forma de "pelota de rugby" corresponde a tener la superficie final representada por la línea continua en ambos planos de carga.

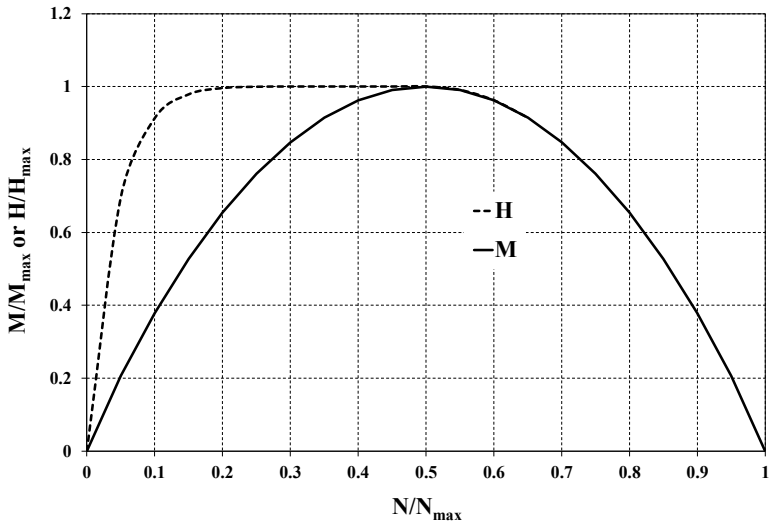


Figure 2. Superficie de falla en forma de escalope para condiciones sin drenaje

El modelo de macroelemento requiere la definición de 25 parámetros, de los cuales solo 3 deben calibrarse. Los parámetros del modelo junto con su definición y valores sugeridos se dan en la Tabla 1 y corresponden a:

Dos parámetros geométricos

Las dimensiones de la zapata (longitud, L y ancho, B).

Doce parámetros de impedancias elásticas

Seis componentes de rigidez inicial de la zapata, indicados como KN1, KH2, KH3, KM2, KM3, KM2, KTT para direcciones vertical, horizontal y rotacional, respectivamente. Los componentes pueden evaluarse mediante el uso de fórmulas de la literatura (por ejemplo, [Gazetas, 1991]), o calibrarse en resultados de pruebas. Lo mismo se aplica a los seis coeficientes de dashpot equivalentes correspondientes para la representación de amortiguación de radiación.

Seis parámetros de resistencia que caracterizan la superficie de falla y son los siguentes:

- la capacidad portante vertical centrada máxima Nmax que corresponde a la capacidad portante estática final de la zapata y puede evaluarse con fórmulas de superposición estándar (por ejemplo, [Brinch-Hansen, 1970]);

- las capacidades máximas de corte de la zapata Hmax2 y Hmax3 y las capacidades máximas de momento la zapata Mmax2, Mmax3, Tmax, que pueden calibrarse en función de las propiedades del material (por ejemplo, ángulo de fricción del suelo) o de valores teoréticas.

Cinco parámetros específicos del modelo caracterizados de la siguiente manera:

- el parámetro de inicio del levantamiento, α, solo depende de la distribución de los esfuerzos verticales debajo de la zapata y puede determinarse a partir de consideraciones estáticas simples, como se muestra en la Tabla 2. El parámetro no afecta mucho los resultados, y generalmente se toma igual a 3, que corresponde a asumir una distribución lineal de esfuerzos para el suelo al comienzo del análisis;

- el exponente para la historia de carga en descarga/recarga, nUR, suele ser igual a 1, y esta relacionado con diferentes valores de módulo de plástico para descarga/recarga en comparación con la carga virgen;

- el parámetro de degradación del contacto entre el suelo y la zapata, dθ, tiene en cuenta la disminución del área de contacto debido al volteo inelástico acumulativo en el modelo de daños y puede evaluarse en función de los resultados experimentales;

- el módulo plástico de referencia normalizado, H_0^{pl} que esta calibrado a base de resultados experimentales

- y el parámetro de superficie de potencial plástico, χg, también calibrado a base de resultados experimentales

De lo anterior, resulta que, cuando se conocen los parámetros clásicos de elasticidad y resistencia para el sistema de cimentación y del suelo, queda un pequeño número de 3 parámetros libres para ser calibrados en el proceso de validación, estos parámetros son: H_0^{pl} el módulo plástico de referencia normalizado, χg, el parámetro de superficie de potencial plástico, y dθ, el parámetro del modelo de daño.

NOTA 1 : Dado que el macroelemento SSI presenta una respuesta no lineal desde el comienzo del análisis, es muy importante aplicar la carga inicial en varios pasos para evitar la falta de convergencia o resultados erróneos.Por lo general, un nùmero de pasos entre 50 y 100 debería ser suficiente, aunque en casos más exigentes de análisis podría ser necesario.

NOTA 2 : Se debe tener cuidado con el movimiento de tierra de entrada cuando se realiza un análisis dinámico 'time-history' con el macroelemento SSI. De hecho, dado que los dos nodos del macroelemento deben tener el mismo movimiento sin interacción inercial está presente, la forma mejor de realizar el análisis es imponiendo las fuerzas de inercia correspondientes en las masas estructurales de arriba y no imponiendo el historial de aceleración del movimiento del suelo en el nodo base.

	Símbolo	Definición	Valores Sugeridos	
Parámetro geométrico/elástico	L, B	Dimenciones de la zapata	Geometría	
	KN	Rigidez Vertical Inicial de la zapata	Valor estimado basado en la literatura (por ejemplo, Gazetas, 1991) o calibrado a base de resultados experimentales (cuando estén disponibles)	
	KHH	Rigidez Horizontal Inicial de la Zapata en los direcciones *xey*		
	KMM	Rigidez Rotacional Inicial de la Zapata en los direcciones *xey*		
parámetros de resistencia	N_{max}	Capacidad PortanteVertical Centrada	Brinch-Hansen (1970) Vesic (1973) Eurocódigo8 Butterfield y Gottardi (1994)	
	H_{max}	Capacidad de Corte Basal Máxima a lo largo de las direcciones *xey*		
	M_{max}	Capacidad de Momento Basal Máxima a lo largo de las direcciones *xey*		
	BS	Tipo de Superficie Delimitadora	Forma de Pelota de Rugby o Forma de Escalope o de Forma Elipsoide	
Parámetro específico	α	Parámetro de inicio de levantamiento	Estática	3 (2 to 10)

	n_{ur}	Exponente para historia de carga	Fijo	1
	d_θ	Degradación del contacto entre suelo y zapata	Calibrado a través de resultados experimentales	0.1 (0.1 to 10)
	HI_0^{pl}	Módulo plástico de referencia normalizado		0.2 to 0.4
	χ_g	Parámetro potencial plástico		0.5 to 2

Tabla 1.Parámetros de macroelemento relacionados con: (i) parámetros geométricos y elásticos; (ii) parámetros de resistencia; (iii) parámetros específicos del modelo

Distribución de esfuerzo debajo de la zapata				
α	2	3	4	+∞

Tabla 2. Distribución de tensión debajo de la zapata y el valor correspondiente del parámetro de inicio de elevación α

Contexto teórico sobre el análisis de SSI

El análisis de SSI puede llevarse a cabo mediante el empleo de un modelo de elementos finitos sólidos no lineales (por ejemplo, bloque de suelo), o mediante un contexto de subestructura más simple y, por lo tanto, más práctico, que es el que se puede adoptar en SeismoStruct.

En principio, cuando se modela SSI utilizando el método de subestructura, primero se debe analizar la interacción cinemática con el modelo completo del suelo y la estructura, con la rigidez estructural pero sin masa estructural. En dicho procedimiento, la propagación de la acción sísmica en el suelo se modela explícitamente, típicamente en el dominio de la frecuencia (aunque no necesariamente), y el resultado final es el movimiento del suelo de input (FIM), es decir, el movimiento de la zapata si no tuviera masa. Sin embargo, este paso inicial a menudo se evita asumiendo que la interacción cinemática puede descuidarse y, por lo tanto, utilizando el movimiento del suelo como FIM (este movimiento del suelo también se supone a menudo como resultado de la propagación vertical de las ondas de corte a través de capas del suelohorizontales).

Un paso segundo en el modelado de SSI usando el método de la subestructura sería el cálculo de las impedancias de la zapata (es decir, las propiedades de respuesta dinámica de la zapata), típicamente representadas por un conjunto de resortes, dashpots (y posiblemente masas ficticias para obtener la frecuencia correcta - dependencia de las impedancias). Este segundo paso puede simplificarse determinando las impedancias de las expresiones existentes en la literatura.

El paso final es el análisis de la estructura, con su rigidez y masa, apoyada en las impedancias de los cimientos y sometida a la FIM. Esto es lo que se puede hacer en SeismoStruct, que presenta la ventaja adicional de poder, a través del empleo del macroelemento SSI, considerar también la respuesta no lineal del sistema base. En otras palabras, un análisis SSI llevado a cabo utilizando este macroelemento corresponde a un enfoque híbrido entre el análisis de interacción inercial del enfoque de subestructura, que es estrictamente válido solo para respuesta lineal, y un modelado de elementos finitos sólidos no lineales de efectos SSI .

Por lo tanto, dentro del contexto definido anteriormente, el usuario debe tener en cuenta los siguientes:

A. El método de subestructura solo es teóricamente correcto si la respuesta es lineal, es decir, sin deslizamiento o elevación de una zapata, separación de una pila, degradación de la rigidez, comportamiento plástico y desplazamientos irrecuperables; en presencia de no linealidades, por lo tanto, este tipo de análisis inevitablemente implica cierto grado de aproximación.

B. Como ya se señaló, el FIM es el movimiento sísmico de input que tendría la zapata solo si no tuviera masa (así como el resto de la estructura) y si se comportara linealmente. De hecho, y por ejemplo, si el modelo de una zapata simula su resistencia al deslizamiento, y si hay una masa estructural, el movimiento de la zapata ya no será el FIM debido a las fuerzas de inercia provenientes de arriba y de un posible deslizamiento de la Fundación. Además, incluso en el caso de una respuesta lineal y solo una zapata base con su masa (sin estructura arriba), el movimiento de la zapata no será exactamente el FIM debido a las fuerzas de inercia generadas por la masa de la zapata.

C. Laacción sísmica de input para el análisis de SSI utilizando el enfoque de subestructura (como se hace en SeismoStruct) puede consistir en uno de los siguientes:

• historial de aceleración en el nodo base fijo del macroelemento (este debería ser el FIM, a menudo se supone que es equivalente al movimiento de suelo, como ya se discutió), que luego se propagará a través del macroelemento y excitará las masas estructurales (incluida la massa de la zapata);

• Historiales de tiempo de fuerzas de inercia, calculadas como el producto de masas estructurales (incluidas las de la zapata) por la FIM, aplicadas a cada una de las masas de la estructura.

Se supone que estos dos enfoques de definición de input sísmico conducen a resultados de análisis idénticos en términos de desplazamientos relativos nodales (y, por lo tanto, deformaciones / esfuerzos materiales y fuerzas internas de los miembros). El primer enfoque es más fácil de aplicar porque solo se necesita definir un movimiento de base en los nodos fijos. Sin embargo, pueden aparecer problemas numéricos en casos especiales cuando las rigideces del macroelemento son muy grandes. El segundo enfoque es más difícil de aplicar, ya que uno tiene que aplicar un historial de tiempo de fuerza dinámica en todos los nodos con masas agrupadas y se vuelve engorroso cuando se usan masas distribuidas. Pero este método funciona en todos los casos.

Macroelemento SSI para Pilas de Cimentación – ssilink2

Este elemento extiende la aplicaciónde macroelementos no lineal para el análisis de pilas flexibles cargadas lateralmente y de la interacción de la estructura con la pila y del suelo. Se basa en el trabajo de Correia y Pecker [2019b]. La respuesta lateral de todo el sistema de la pila y del suelo a las acciones sísmicas se condensa en la parte superior de la pila, representada por un elemento con longitud igual a cero ubicado en la base de las columnas y sujeto al movimiento de la base, como se muestra en la Figura 4.

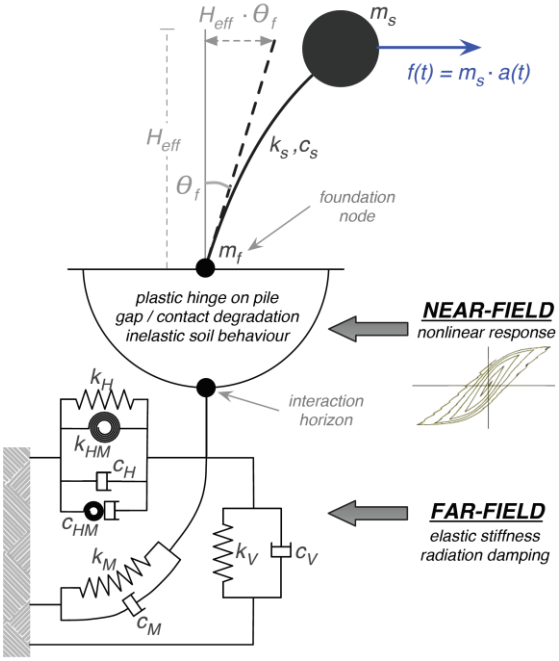


Figura 4. Macroelemento no lineal para la parte superior de la pila

El modelo de macroelemento de la parte superior de la pila representa el comportamiento lateral de las pilas verticales individuales, sometidas a una carga horizontal y un momento, desde las etapas iniciales de carga hasta llegar a la falla. Los efectos de la carga vertical no se consideran directamente en este modelo, excepto por la influencia de la carga vertical en el momento plástico de la sección dela pila. De lo contrario, se considera que la zona superior del perfil del suelo, hasta la profundidad a la que se formará la rótula plástica, solo contribuye a la resistencia de carga lateral. Se supone que la carga vertical se transfiere al suelo circundante por debajo de esa profundidad, donde no hay influencia de la profoundidad de la apertura.

Se considera un depósito de suelo saturado y, ante el movimiento sísmico, se supone que es impermeable. Por lo tanto, se considera que el suelo tiene un comportamiento no drenado ya que el objetivo del macroelemento es simular la respuesta de la pila bajo acciones sísmicas o cargas cíclicas duración corta, y se supone que el criterio de falla de Tresca es válido. La Figura 5a representa los dos escenarios geotécnicos simplificados considerados, en términos de distribución de resistencia al corte (Su) sin drenaje a lo largo de la profundidad del depósito del suelo: constante o lineal. La Figura 5b ilustra la respuesta característica del suelo para una pila larga cargada lateralmente, es decir: una falla en cuña pasiva del suelo a poca profundidad y una falla de tipo “flow around” a profundidades mayores, con una posible formación de apertura en la parte de atrás de la pila.

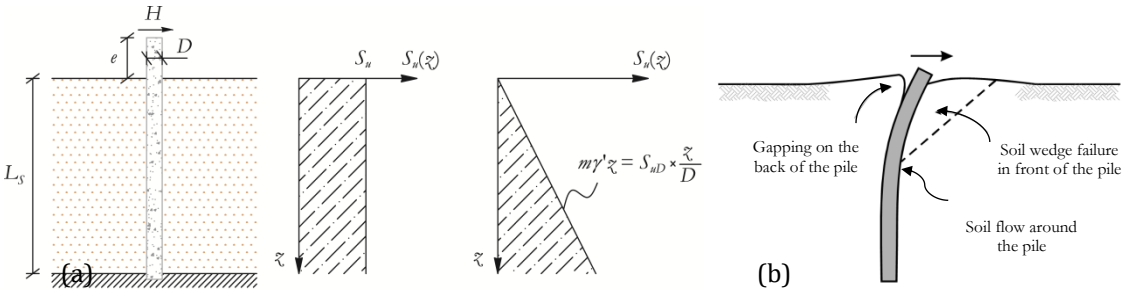


Figura 5. (a) escenarios geotécnicos simplificados y (b) respuesta del suelo simplificada para la carga lateral de la parte superior de la pila

El macroelemento propuesto se basa en las tres características principales del comportamiento de las pilas cargadas lateralmente, es decir:

i) Respuesta elástica inicial,

ii) apertura y clausura de la abertura

iii) Condiciones de carga de falla.

El modelo de plasticidad de la superficie delimitadora se utiliza para representar una transición continua entre la respuesta elástica inicial y el flujo plástico en caso de falla, para condiciones de carga monotónicay cíclica de la parte superior de la pila. El comportamiento de la abertura está representado por un modelo elástico no lineal que, sin embargo, tiene en cuenta y está influenciado por el estado de deformación plástica en el suelo circundante.

La superficie delimitadora en el modelo de macroelemento corresponde a la superficie de falla para pilas cargadas lateralmente. Dado que no hay evidencia que demuestre que se debe considerar un comportamiento no asociado, se usa la plasticidad asociada y la superficie límite actúa simultáneamente como la superficie plástica potencial. No se consideran efectos de carga axial en esta formulación de macroelementos y, en consecuencia, la superficie de falla se define en el espacio de carga de la fuerza horizontal y el momento de la parte superior de la pila solamente. Además, se supone una carga plana.

Una superficie de falla aproximada "redondeada" se propuso en Correia y Pecker [2019a], que se basa en el superelipse. Suponiendo un superelipse centrado en el punto de coordenadas (Hc, Mc), con una longitud de eje horizontal $H_{u,e=0}$ y una longitud de eje vertical My, que también se superpone a una distorsión de su forma, γ<0, esta superficie de falla aproximada se puede expresar como:

$$\left|\frac{\overline{H}-H_c}{H_{u,e=0}}-\gamma\frac{\overline{M}-M_c}{M_y}\right|^{n_H}+\left|\frac{\overline{M}-M_c}{M_y}\right|^{n_M}=1 \qquad (1)$$

Los exponentes positivos nH y nM controlan la curvatura de los lados del superelipse. La Figura 6representa la configuración de superrelipse distorsionada, centrada en el origen (Hc = Mc = 0), con sus parámetros calibrados para ajustar la superficie de falla para el perfil de suelo lineal de Su.

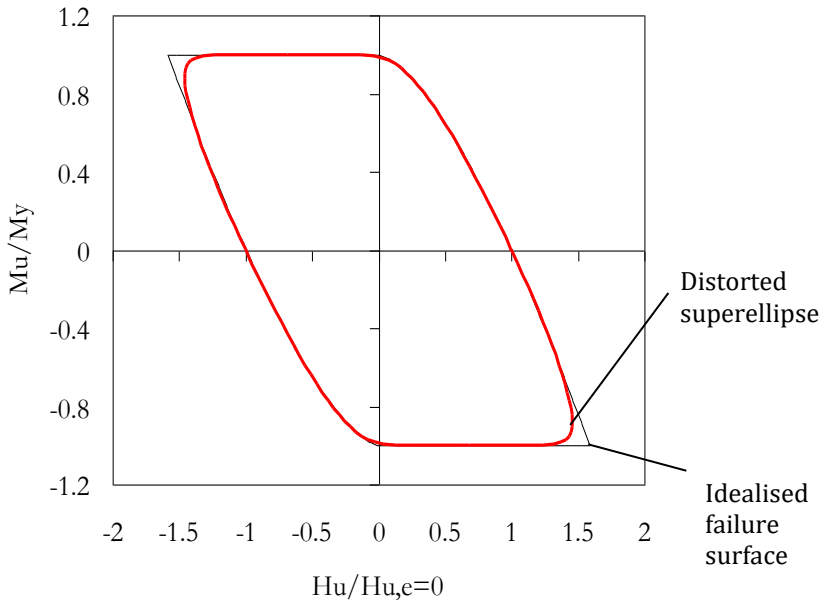


Figura 6. Configuración de superrellipse distorsionada para Su lineal

Este macroelemento requiere la definiciónde 23 parámetros de entrada: D, K_{VV}, K_{HH}, K_{MM}, K_{HM}, K_{TT}, C_{VV}, C_{HH}, C_{MM}, C_{HM}, C_{TT}, $H_{u,\,e=0}$, M_y, n_H, n_M, γ, z_w, $\left(E_p I_p\right)_{eff}$, β, η, $H_0^{p/}$, n_{UR} y δ_{Lim}. Solo los últimos 5 de estos parámetros deben calibrarse, ya que todos los restantes se calculan directamente a través de expresiones desarrolladas en la literatura.

La rigidez a la flexión de la pila, $(E_p I_p)_{eff}$, se puede calcular fácilmente, mientras que el momento de fluencia de la pila, My, se puede calcular utilizando cualquier herramienta de análisis de sección (y considerando la carga vertical estática en la pila). Por otro lado, las fórmulas para $H_{u,e} = 0$ y z_w, se derivan por Correia y Pecker [2019a].

Gazetas [1991] proporciona fórmulas para un cálculo directo de la rigidez lateral y axial de la parte superior de la pila y los coeficientes de amortiguación. Estos son válidos para perfiles de suelo con aumento constante, lineal o parabólico de la rigidez del suelo con profundidad, que son representativos de arcilla OC, arcilla NC y arena, respectivamente. La Figura 7representa la evolución de la rigidez del suelo con profundidad en tales perfiles de suelo idealizados. Las expresiones de Gazetas [1991] para las rigideces estáticas de la parte superior de la pila se han adoptado, con pocas modificaciones, en la versión actual de EC 8 - Parte 5 [2003]. Estos son válidos para pilas flexibles o largas y se resumen en la Tabla 3. En esas expresiones, D es el diámetro de la pila, ESD es el módulo de deformación del suelo a una profundidad igual al diámetro de la pila y Ep es el módulo de Young del material de la pila. Los componentes de la matriz de rigidez de la parte superior de la pila siguen la convención de signos expresada en la Figura 8. Gazetas [1991] también presenta los correspondientes coeficientes de amortiguamiento de la parte superior de la pila, que se calculan para cada frecuencia f de acuerdo con las expresiones de la Tabla 4.

Gazetas [1984] ha demostrado que los componentes dinámicos de las rigideces de la parte superior de la pila son aproximadamente iguales a uno, para el rango de frecuencia habitual de interés para la respuesta estructural. Por lo tanto, las rigideces estáticas de la parte superior de la pila se pueden usar aproximadamente como dinámicas, para pilas flexibles individuales. La variación de los componentes de la razón de amortiguamiento con la frecuencia es lineal, según lo predicho por las expresiones en la Tabla 4. Esto significa que el comportamiento de amortiguamiento de la radiación puede ser aproximado por dashpots con coeficiente de amortiguamiento constante C.

Los parámetros de la superficie delimitadora son fijos para cada uno de los perfiles de resistencia del suelo y se muestran en la Tabla 5. El valor límite δ_{Lim} es un parámetro relacionado con la convergencia numérica y varía entre 0.01 y 0.2, con un valor predeterminado de 0.1.

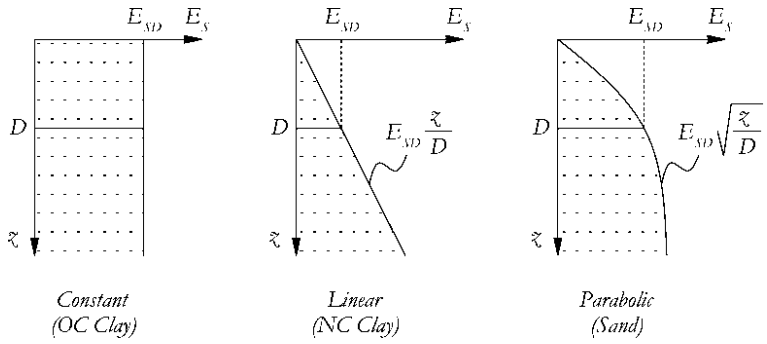


Figura 7. Perfiles de rigidez del suelo idealizados.

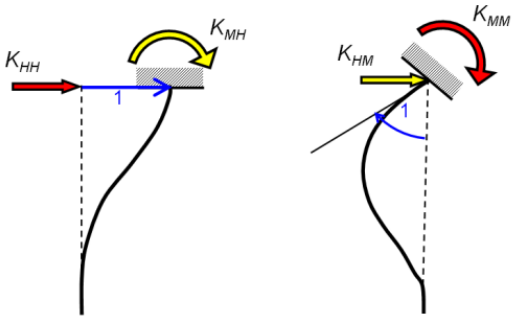


Figura 8. Convención de signos para la carga de las partes superiores de las pilas

Perfil de rigidez del suelo	$\frac{K_{HH}}{E_{SD}\,D}$	$\frac{K_{MM}}{E_{SD}\,D^3}$	$\frac{K_{HM}}{E_{SD}\,D^2}$
Constante $E_S = E_{SD}$	$1.08\left(\frac{E_p}{E_{SD}}\right)^{0.21}$	$0.16\left(\frac{E_p}{E_{SD}}\right)^{0.75}$	$-0.22\left(\frac{E_p}{E_{SD}}\right)^{0.50}$
Lineal $E_S = E_{SD}\,z/D$	$0.60\left(\frac{E_p}{E_{SD}}\right)^{0.35}$	$0.14\left(\frac{E_p}{E_{SD}}\right)^{0.80}$	$-0.17\left(\frac{E_p}{E_{SD}}\right)^{0.60}$
Parabólico $E_S = E_{SD}\sqrt{z/D}$	$0.79\left(\frac{E_p}{E_{SD}}\right)^{0.28}$	$0.15\left(\frac{E_p}{E_{SD}}\right)^{0.77}$	$-0.24\left(\frac{E_p}{E_{SD}}\right)^{0.53}$

Tabla 3. Coeficientes de rigidez estática de la parte superior de la pila para pilas flexibles (después de EC8 - Parte 5 [2003])

Finalmente, con respecto a los 4 parámetros de calibración restantes, 2 de ellos están relacionados con la respuesta monotónica –β yη, y los otros 2 están relacionados con el comportamiento cíclico –η y nUR. Alternativamente, 2 de los parámetros están relacionados con el comportamiento de la abertura –β y η, y los otros 2 están relacionados con el modelo de plasticidad– H_0^{pl} y nUR. Los parámetros b, – H_0^{pl} y nUR son siempre positivos, mientras que η también puede ser igual a cero si no se considera la profundidad de la abertura residual. Sus valores predeterminados y rangos de variación se presentan en la Tabla 6.

NOTA 1: Se debe tener cuidado con el movimiento de tierra de entrada cuando se realiza un análisis dinámico 'time-hostory' con el macroelemento SSI. De hecho, dado que los dos nodos del macroelemento deben tener el mismo movimiento sin interacción inercial está presente, la forma mejor de realizar el análisis es imponiendo las fuerzas de inercia correspondientes en las masas estructurales de arriba y no imponiendo la historia de aceleración del movimiento del suelo en el nodo base.

Perfil de rigidez del suelo	$\frac{\xi_{HH}\,V_{SD}}{f\,D}$	$\frac{\xi_{MM}\,V_{SD}}{f\,D}$	$\frac{\xi_{HM}\,V_{SD}}{f\,D}$

Constante $E_S = E_{SD}$	$1.10\left(\frac{E_p}{E_{SD}}\right)^{0.17}$	$0.35\left(\frac{E_p}{E_{SD}}\right)^{0.20}$	$0.85\left(\frac{E_p}{E_{SD}}\right)^{0.18}$
Lineal $E_S = E_{SD}\,z/D$	1.80	0.40	1.00
Parabólico $E_S = E_{SD}\sqrt{z/D}$	$1.20\left(\frac{E_p}{E_{SD}}\right)^{0.08}$	$0.35\left(\frac{E_p}{E_{SD}}\right)^{0.10}$	$0.70\left(\frac{E_p}{E_{SD}}\right)^{0.05}$

Tabla 4. Coeficientes de amortiguamiento de la radiación de la parte superior de las pilas flexibles y frecuencias fundamentales de corte de depósitos de suelo (después de Gazetas [1991])

Perfil de S_u	n_H	n_M	γ
S_u Constante	8.435	2.000	-0.597
S_u Lineal	7.040	2.000	-0.667

Tabla 5. Parámetros de superficie de falla predeterminados

β	η	$H_0^{p/}$	n_{UR}
1	1	0.4	1
0.1-10	0-100	0.1-10	0.5-2

Tabla 6. Valores predeterminados y rangos de valores para parámetros de calibración

Contexto teórico sobre el análisis de SSI

El análisis de SSI puede llevarse a cabo mediante el empleo de un modelo de elementos finitos sólidos no lineales (por ejemplo, bloque de suelo), o mediante un contexto de subestructura más simple y, por lo tanto, más práctico, que es el que se puede adoptar en SeismoStruct.

En principio, cuando se modela SSI utilizando el método de subestructura, primero se debe analizar la interacción cinemática con el modelo completo del suelo y la estructura, con la rigidez estructural pero sin masa estructural. En dicho procedimiento, la propagación de la acción sísmica en el suelo se modela explícitamente, típicamente en el dominio de la frecuencia (aunque no necesariamente), y el resultado final es el movimiento del suelo de input (FIM), es decir, el movimiento de la zapata si no tuviera masa. Sin embargo, este paso inicial a menudo se evita asumiendo que la interacción cinemática puede descuidarse y, por lo tanto, utilizando el movimiento del suelo como FIM (este movimiento del suelo también se supone a menudo como resultado de la propagación vertical de las ondas de corte a través de capas del suelohorizontales).

Un paso segundo en el modelado de SSI usando el método de la subestructura sería el cálculo de las impedancias de la zapata (es decir, las propiedades de respuesta dinámica de la zapata), típicamente representadas por un conjunto de resortes, dashpots (y posiblemente masas ficticias para obtener la frecuencia correcta - dependencia de las impedancias). Este segundo paso puede simplificarse determinando las impedancias de las expresiones existentes en la literatura.

El paso final es el análisis de la estructura, con su rigidez y masa, apoyada en las impedancias de los cimientos y sometida a la FIM. Esto es lo que se puede hacer en SeismoStruct, que presenta la ventaja adicional de poder, a través del empleo del macroelemento SSI, considerar también la respuesta no lineal del sistema base. En otras palabras, un análisis SSI llevado a cabo utilizando este macroelemento corresponde a un enfoque híbrido entre el análisis de interacción inercial del enfoque de subestructura,

que es estrictamente válido solo para respuesta lineal, y un modelado de elementos finitos sólidos no lineales de efectos SSI .

Por lo tanto, dentro del contexto definido anteriormente, el usuario debe tener en cuenta los siguientes:

A. El método de subestructura solo es teóricamente correcto si la respuesta es lineal, es decir, sin deslizamiento o elevación de una zapata, separación de una pila, degradación de la rigidez, comportamiento plástico y desplazamientos irrecuperables; en presencia de no linealidades, por lo tanto, este tipo de análisis inevitablemente implica cierto grado de aproximación.

B. Como ya se señaló, el FIM es el movimiento sísmico de input que tendría la zapata solo si no tuviera masa (así como el resto de la estructura) y si se comportara linealmente. De hecho, y por ejemplo, si el modelo de una zapata simula su resistencia al deslizamiento, y si hay una masa estructural, el movimiento de la zapata ya no será el FIM debido a las fuerzas de inercia provenientes de arriba y de un posible deslizamiento de la Fundación. Además, incluso en el caso de una respuesta lineal y solo una zapata base con su masa (sin estructura arriba), el movimiento de la zapata no será exactamente el FIM debido a las fuerzas de inercia generadas por la masa de la zapata.

C. Laacción sísmica de input para el análisis de SSI utilizando el enfoque de subestructura (como se hace en SeismoStruct) puede consistir en uno de los siguientes:

• historial de aceleración en el nodo base fijo del macroelemento (este debería ser el FIM, a menudo se supone que es equivalente al movimiento de suelo, como ya se discutió), que luego se propagará a través del macroelemento y excitará las masas estructurales (incluida la massa de la zapata);

• Historiales de tiempo de fuerzas de inercia, calculadas como el producto de masas estructurales (incluidas las de la zapata) por la FIM, aplicadas a cada una de las masas de la estructura.

• Se supone que estos dos enfoques de definición de input sísmico conducen a resultados de análisis idénticos en términos de desplazamientos relativos nodales (y, por lo tanto, deformaciones / esfuerzos materiales y fuerzas internas de los miembros). El primer enfoque es más fácil de aplicar porque solo se necesita definir un movimiento de base en los nodos fijos. Sin embargo, pueden aparecer problemas numéricos en casos especiales cuando las rigideces del macroelemento son muy grandes. El segundo enfoque es más difícil de aplicar, ya que uno tiene que aplicar un historial de tiempo de fuerza dinámica en todos los nodos con masas agrupadas y se vuelve engorroso cuando se usan masas distribuidas. Pero este método funciona en todos los casos.

Elemento de Aislador Elastomerico (Bouc Wen) – isolator 1

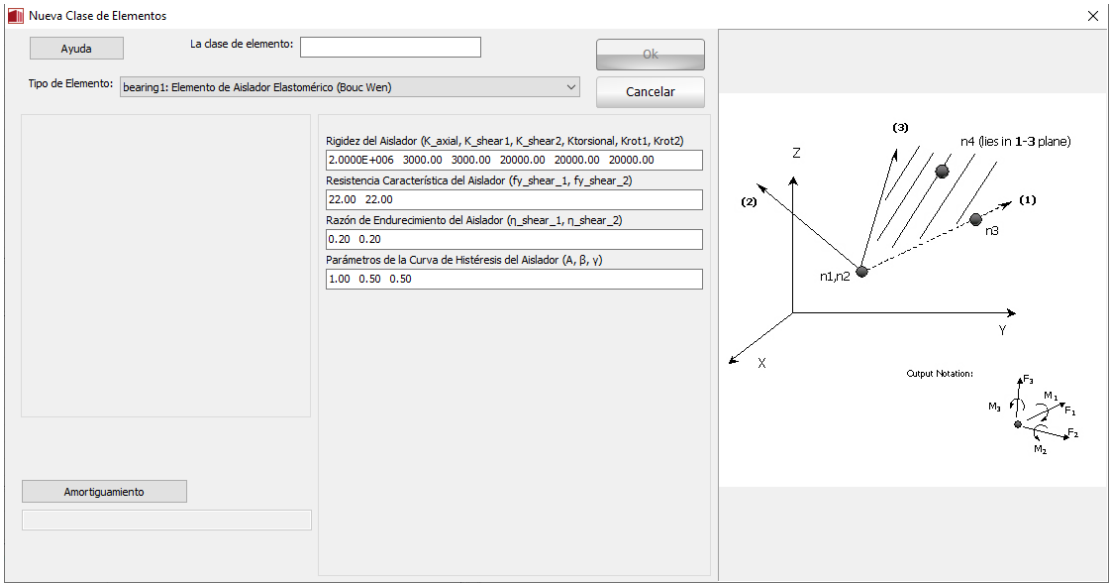
Los elementos de tipo isolator1 son elementos 3D con longitud egual a cero utilizados para modelar el comportamiento de los aisladores elastoméricos utilizados en aplicaciones de aislamiento sísmico. Los elementos isolator1 tienen propiedades de plasticidad acopladas para las dos direcciones de corte (ejes 2 y 3 en el sistema de coordenadas local del elemento), mientras que se caracterizan por un comportamiento elástico lineal para los cuatro tipos de deformación restantes. El comportamiento en las direcciones de corte se basa en el comportamiento histerético propuesto por Wen [1976] y Park et al. [1986]. En las direcciones de corte, las relaciones de fuerza y deformación siguen las ecuacionessiguientes:

$$f_2 = \eta_shear_2 \;\; K_Shear_2 \, u_2 + (1 - \; \eta_shear_2) Y_2 z_2$$

$$f_3 = \eta_shear_3 \;\; K_Shear_3 \, u_3 + (1 - \; \eta_shear_3) Y_3 z_3$$

donde η_shear_2 y η_shear_3 son las razonesentre la rigidez posterior de fluencia y la rigidez elástica (antes de fluencia) en cada dirección de corte (razonesde endurecimiento del elemento), K2 y K3 son las rigideces elásticas del elemento en cada dirección, Y2 y Y3 las deformaciones de fluencia en cada dirección de corte, mientras que z2 y z3 son variables histeréticas internas.

Se necesitan trece parámetros para describir el comportamiento del elemento isolator1:

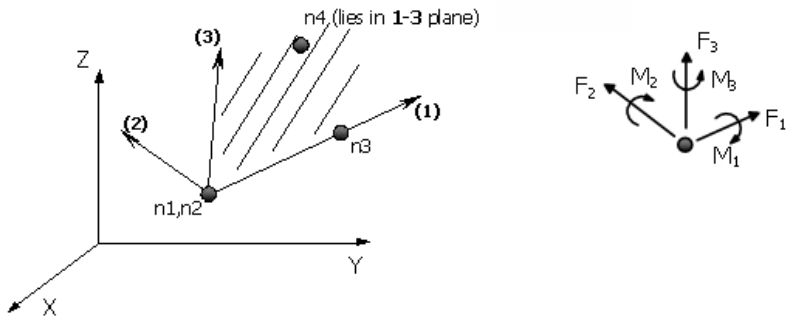


Propiedades del Elemento	Valores Típicos	Valores por Defecto
Rigideces elásticas en cada dirección de deformación – **K**		
Rigidez elástica en la dirección axial (eje local 1) - K_axial	2E+05 - 150E+05 [kN/m]	2E+06 [kN/m]
Rigideces elásticas en los grados de libertad de corte - K_shear_1, K_Shear_2	3000 – 40000 [kN/m]	3000 [kN/m]
Rigideces elásticas en los grados de libertad de torsión y rotación - Ktorsional, Krot1, Krot2	-	20000 [kN/m]
Resistencia característica para cada dirección de corte – fy_shear_1, fy_shear_2	20-600 [kN]	22 [kN]
Razón de endurecimiento para cada dirección de corte – η_shear_1, η_shear_2	0.1-0.8	0.2
Parámetros de curva de histéresis del aislador		
Variable que controla el Amplitud de la histéresis – A	1	1
Primera variable de forma histérica – β	0.1-0.9	0.5
Segunda variable de forma histérica – γ	0.1-0.9	0.5

NOTA: En general, se debe seguir la regla A / (β + γ) = 1.

En la ventana de diálogo de este elemento es posible definir también un valor de amortiguamiento específico del elemento, en contraste con el amortiguamiento global descrito en *General>Ajustes de Proyecto>Amortiguamiento*. Para hacerlo, los usuarios deben simplemente hacer clic sobre el botón *Amortiguamiento* y luego seleccionar el tipo de amortiguamiento que mejor se adapta al elemento en cuestión (por más detalles respecto a los tipos de amortiguamiento disponibles y consejos para elegir las mejores opciones, ver el menú Amortiguamiento). Los usuarios deben tener en cuenta que el amortiguamiento definido a nivel de los elementos prevalece sobre el amortiguamiento global, es decir, los coeficientes de la matriz de amortiguamiento calculados "a nivel global" asociados a los grados de libertad de un elemento dado serán reemplazados por los coeficientes calculados a través del producto de la matriz de masa del elemento y un parámetro proporcional a la masa, o a través del producto de la matriz de rigidez del elemento y un parámetro proporcional a la rigidez, o mediante el cálculo de una matriz de amortiguamiento de Rayleigh del elemento.

La figura siguiente ilustra la definición de los ejes locales y la notación utilizada en el output:



Ejes Locales y Notación del Output

Tipo de Elemento Aislador/Sistema de Péndulo Friccional – isolator2

Los elementos de tipo isolator2 son elementos 3D con longitud igual a cero utilizados para modelar el comportamiento de los aisladoresde tipo Péndulo Friccional utilizados en aplicaciones de aislamiento sísmico. Los elementos isolator2 tienen propiedades de plasticidad acopladas para las dos direcciones de corte (ejes 2 y 3 en el sistema de coordenadas local del elemento), mientras que se caracterizan por un comportamiento elástico lineal para los cuatro tipos de deformación restantes. El modelo de fricción descrito por Constantinou et al. [1999] se utiliza para calcular el coeficiente de fricción de la superficie deslizante del péndulo de friccional. El coeficiente de fricción se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\mu = ffast_1 - (ffast_1 - fslow_1)exp(-rate_1 \left| v \right|)$$

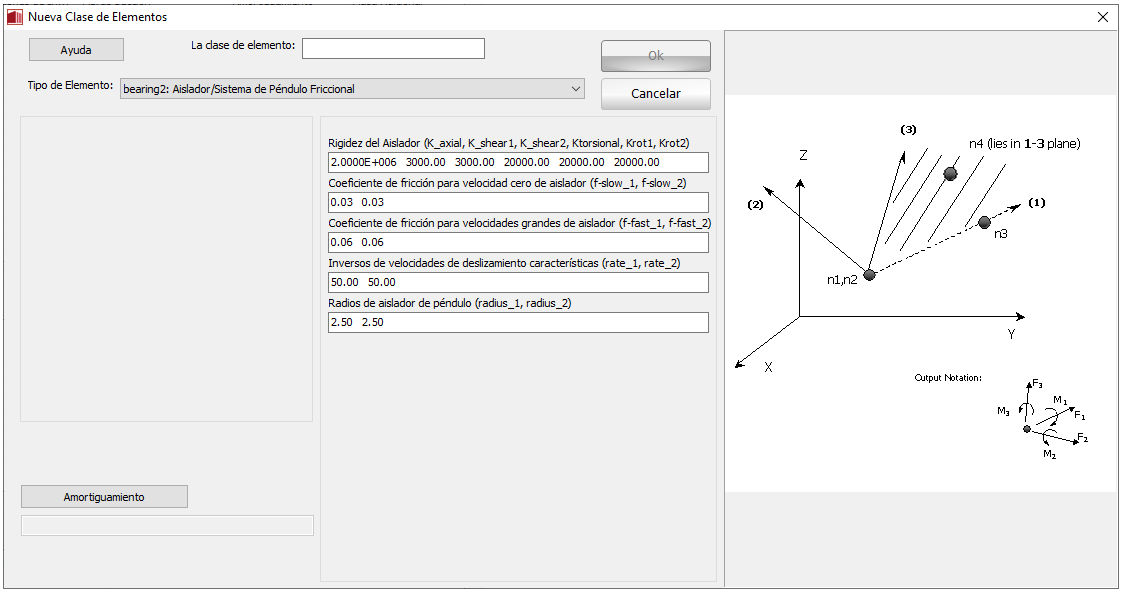
donde ffast_1 y fslow_1 son los coeficientes de fricción del aislador a velocidades grandes y lentas respectivamente, v es la velocidad del aislador y rate_1 es la razón que controla la transición de velocidades bajas a altas.

El elemento bearing2 se comporta elásticamente en las direcciones de corte, con una rigidez igual a la rigidez elástica proporcionada por el usuario, hasta el límite de elasticidad definido por el límite de fluencia que se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación

$$Q_{yield} = \mu P$$

donde P es la carga vertical total sobre el elemento. Las deformaciones plásticas después del punto de fluencia se calculan utilizando un algoritmo de mapeo de retorno como se describe para los modelos de endurecimiento de Simo y Hughes [1998]. La rigidez posterior de la flueancia es igual a P / R donde R es el radio de curvatura del péndulo de fricción y P es la carga vertical total sobre el elemento.

Se necesitan catorce parámetros para describir el comportamiento del elemento isolator2:

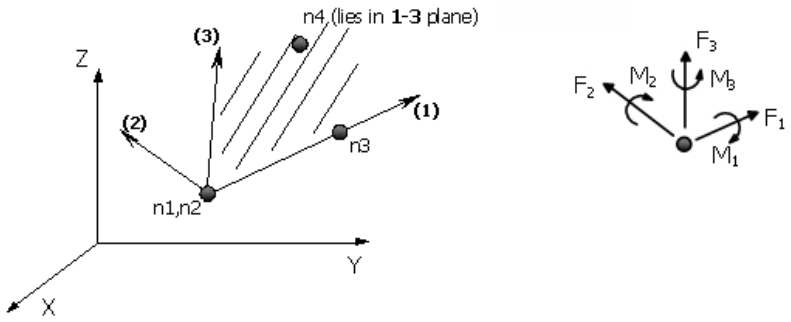


Propiedades del Elemento	Valores Típicos	Valores por Defecto
Rigideces elásticas en cada dirección de deformación – **K**		
Rigidez elástica en la dirección axial (eje local 1) - K_axial	1E+06 - 30E+06 [kN/m]	2E+06 [kN/m]
Rigideces elásticas en los grados de libertad de torsión y rotación - K_shear_1, K_Shear_2	500 – 20000 [kN/m]	3000 [kN/m]
Rigideces elásticas en los grados de libertad de torsión y rotación - Ktorsional, Krot1, Krot2	-	20000 [kN/m]
Coeficientes de fricción para velocidad cerca a cero de aislador –fslow_1, fslow_2	0.02-0.01	0.03
Coeficientes de fricción para velocidades grandes de aislador –ffast_1, ffast_2	0.05-0.015	0.06
Inversos de velocidades de deslizamiento características – rate_1, rate_2	50-100 [s/m]	50 [s/m]
Radios de curvatura de aislador de péndulo – radius_1, radius_2	2000-7000 [m]	2500 [m]

En la ventana de diálogo de este elemento es posible definir también un valor de amortiguamiento específico del elemento, en contraste con el amortiguamiento global descrito en *General>Ajustes de Proyecto>Amortiguamiento*. Para hacerlo, los usuarios deben simplemente hacer clic sobre el botón *Amortiguamiento* y luego seleccionar el tipo de amortiguamiento que mejor se adapta al elemento en cuestión (por mayores detalles respecto a los tipos de amortiguamiento disponibles y consejos respecto de cuáles pueden ser las mejores opciones, ver el menú Amortiguamiento). Los usuarios deben tener en cuenta que el amortiguamiento definido a nivel de los elementos prevalece por sobre el amortiguamiento global, es decir, los coeficientes de la matriz de amortiguamiento calculados "a nivel global" asociados a los grados de libertad de un elemento dado serán reemplazados por los coeficientes

calculados a través del producto de la matriz de masa del elemento y un parámetro proporcional a la masa, o a través del producto de la matriz de rigidez del elemento y un parámetro proporcional a la rigidez, o mediante el cálculo de una matriz de amortiguamiento de Rayleigh del elemento.

La figura siguiente ilustra la definición de los ejes locales y la notación utilizada en el output:



Ejes Locales y Notación del Output

ELEMENTOS DE MASA Y DISIPACIÓN

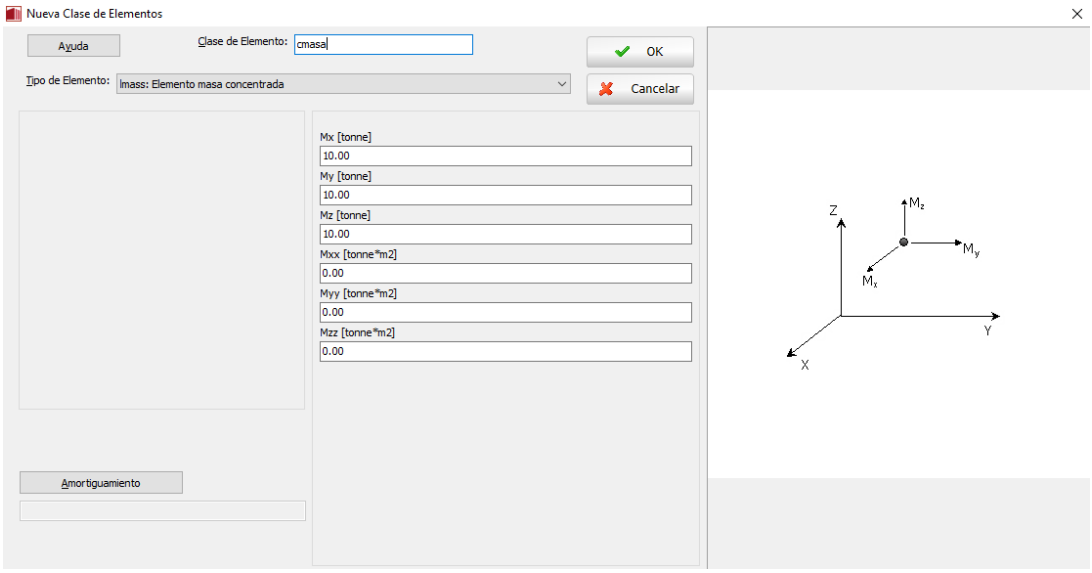
Elementos de masa - lmass & dmass

Como se indica en el módulo Materiales, los usuarios tienen la posibilidad de definir los pesos específicos de los materiales, con los cuales la masa distribuida propia de la estructura puede ser calculada. Además, en el módulo Secciones, es posible definir masa distribuida adicional, con el fin de representar cualquier otra masa no asociada con el peso propio de la estructura (por ej., losas, terminaciones, paneles divisorios, carga variable, etc.).

En el módulo Clases de Elementos, pueden definirse elementos que sólo poseen masa, ya sea *concentrada* (lmass) o *distribuida* (dmass), que se agregan a la estructura en el módulo Conectividad de Elementos, y tienen como fin modelar distribuciones de masa que no pueden ser representadas utilizando las herramientas previamente mencionadas en los módulos de **Materiales/Secciones** (por ej., la masa de un tanque de agua en la cima del edificio).

NOTA: Los análisis de grandes modelos con masas/cargas distribuidas resultan inevitablemente más largos que aquellos en los que se emplean masas concentradas y sus correspondientes cargas puntuales para modelar, en forma más simplificada, la masa/peso de la estructura. Si los usuarios no están interesados en obtener información sobre el estado de solicitaciones locales de los elementos estructurales (por ej., distribución de momentos en una viga), sino que desean enfocarse solamente en la estimación de la respuesta global de la estructura (por ej., desplazamiento de la cima y corte basal), entonces el uso de masas/fuerzas concentradas puede resultar una mejor opción, por sobre la alternativa de masas/fuerzas distribuidas.

El elemento *masa concentrada* (lmass) es un elemento de un solo nodo, caracterizado por tres valores traslacionales y tres rotacionales. Estos últimos son definidos mediante masas inerciales rotacionales (que no deben ser confundidas con el segundo momento de área, llamado habitualmente momento de inercia) y pueden ser calculados mediante las fórmulas disponibles en la literatura [por ej., Pilkey, 1994; Gere and Timoshenko, 1997]. Los valores de las masas inerciales deben ser definidos con respecto al sistema de referencia global (*X, Y* y *Z*), y producen una matriz de masa diagonal de 6x6.



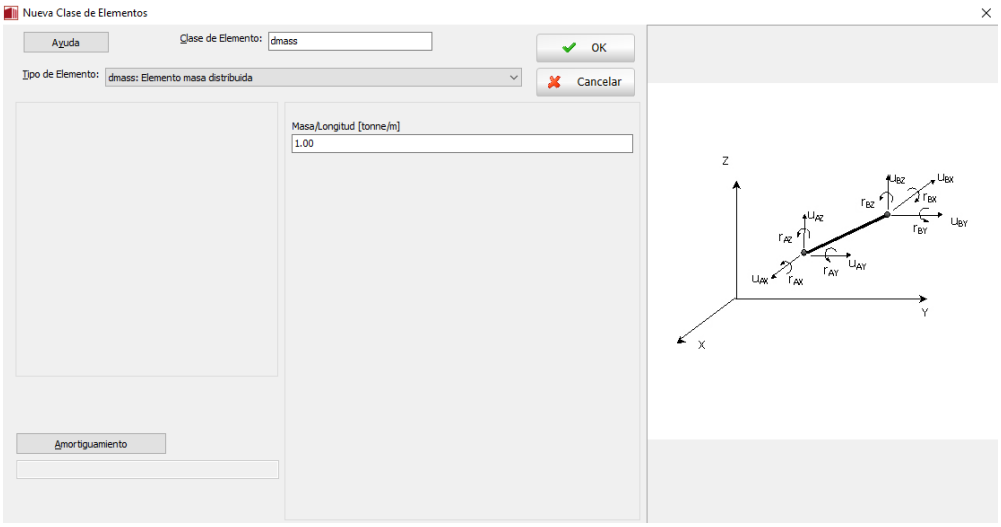
Definición de un nuevo elemento lmass

El elemento *masa distribuida* (dmass) es un elemento de dos nodos. Para su definición, el usuario sólo debe especificar el valor de masa unitaria (masa/longitud), a partir del cual el programa calcula internamente la masa total del elemento *M* y, luego, la respectiva *matriz diagonal de masa*, en referencia a los grados de libertad traslacionales del elemento en el sistema global.

NOTA 1: Cuando la estructura es sometida a deformaciones muy grandes (por ej., pandeo), se recomienda la utilización de dos o más elementos dmass por miembro, con el fin de mejorar la precisión en el modelado.

NOTA 2: Debe notarse que si la opción *Transformar Automáticamente las Masas en Cargas Gravitatorias* se encuentra activada, el programa calculará y aplicará automáticamente "cargas permanentes distribuidas", que de hecho consisten en fuerzas/momentos puntuales equivalentes aplicados en los nodos extremos del elemento (la función de recuperación de esfuerzos no tendrá ningún efecto en este caso).

NOTA 3: Las cargas distribuidas obtenidas a partir de los elementos dmass no son tenidas en cuenta en las operaciones de recuperación de los esfuerzos (dado que son elementos distintos de las vigas/columnas) y, por lo tanto, los valores de momento a lo largo de un elemento no son correctos. Los usuarios interesados en obtener la correcta distribución de momentos a lo largo del elemento deben definir la masa/carga distribuida utilizando el "peso específico del material" en el módulo Materiales y/o "masa adicional de la sección" en el módulo Secciones.

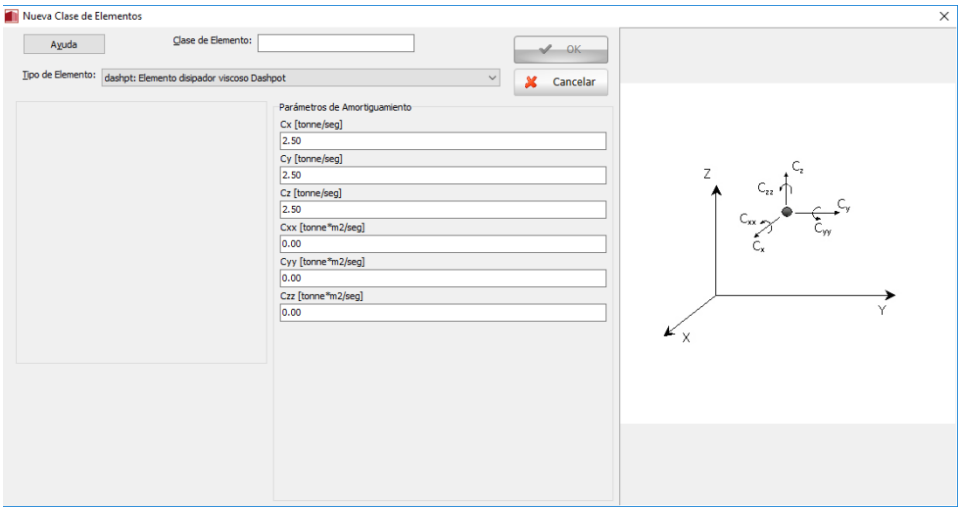


Definición de un nuevo elemento dmass

Elemento disipador viscoso (dashpot) - dashpt

IMPORTANTE: En SeismoStruct, los amortiguadores son habitualmente modelados mediante elementos tipo link con curvas de respuesta adecuadas que pueden representar la relación fuerza-desplazamiento independiente de la velocidad (al menos dentro del rango típico de velocidades sísmicas) de un amortiguador en particular. Sin embargo, en aquellos casos en los que la dependencia respecto de la velocidad es importante, es posible utilizar el elemento dashpt notando que, actualmente, sólo puede utilizar relaciones lineales entre fuerza y velocidad.

Se trata de un elemento disipativo de dos nodos, que puede ser utilizado para representar un disipador viscoso lineal. entre dos nodos dados, p. ej. se puede utilizar para representar un amortiguador instalado en una riostra de acero.Es posible definir coeficientes de amortiguamiento en los seis grados de libertad aunque, comúnmente, los disipadores suelen trabajar sólo en una o dos direcciones. El disipador viscoso cuentas parael movimiento relativo entre los dos nodos del elemento para calcular las fuerzas del disipador viscoco.



Definición de un nuevo elemento dashpt

NOTA: El elemento dashpt también puede ser utilizado cuando existe la necesidad de introducir un modelo de Maxwell (es decir, acoplamiento en serie de amortiguamiento y rigidez), colocando en serie un elemento link y un elemento dashpt. Para un modelo Kelvin-Voigt (es decir, acoplamiento en paralelo de amortiguamiento y rigidez), es posible utilizar nuevamente un elemento tipo link colocado en paralelo con un elemento dashpt, aunque en estos casos puede resultar más simple asignar directamente al elemento link un cierto valor de amortiguamiento viscoso.

Elemento disipador viscoso no lineal - NLdashpt

IMPORTANTE: En SeismoStruct, los amortiguadores son habitualmente modelados mediante elementos tipo link con curvas de respuesta adecuadas que pueden representar la relación fuerza-desplazamiento independiente de la velocidad (al menos dentro del rango típico de velocidades sísmicas) de un amortiguador en particular. Sin embargo, en aquellos casos en los que la dependencia respecto de la velocidad es importante, y en particular una relación no lineal entre fuerza y velocidad, este elemento NLdashpt puede emplearse..

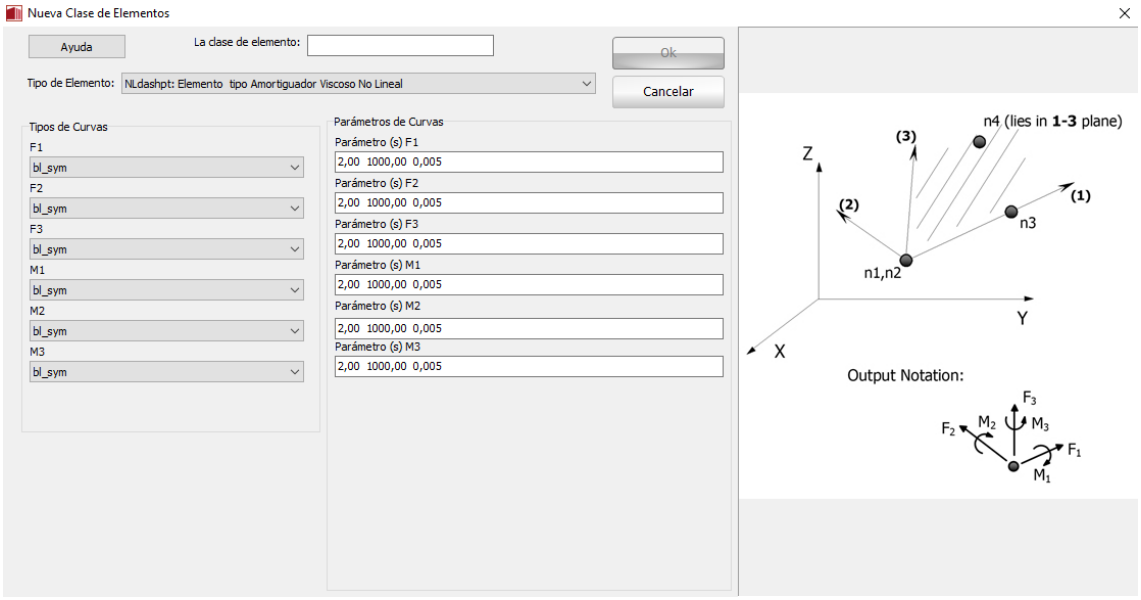
Este es un elemento disipativo de dos nodos, que puede ser utilizado para representar un disipador viscoso lineal. entre dos nodos dados, p. ej. se puede utilizar para representar un amortiguador instalado en una riostra de acero.Es posible definir coeficientes de amortiguamiento en los seis grados de libertad aunque, comúnmente, los disipadores suelen trabajar sólo en una o dos direcciones. El disipador viscoso cuentas parael movimiento relativo entre los dos nodos del elemento para calcular las fuerzas del disipador viscoco.

Actualmente, cuando se selecciona un elemento tipo NLdashpt en la ventana de diálogo *Clases de Elementos*, es posible adjudicarle cualquiera de las veintinuevecurvas de respuesta disponibles:

- Curva lineal simétrica - lin_sym
- Curva lineal asimétrica - lin_asm
- Curva bi-lineal simétrica - bl_sym
- Curva bi-lineal asimétrica - bl_asm
- Curva bi-lineal con endurecimiento cinemático - bl_kin
- Curva tri-lineal simétrica - trl_sym
- Curva tri-lineal asimétrica - trl_asm
- Curva simétrica cuadrilínea- quad_sym
- Curva asimétrica cuadrilínea - quad_asm
- Curva asimétrica con pinch - pinched_asm
- Curva de Respuesta Histerética con Deterioro de Ibarra-Medina-Krawinkler Modificada - MIMK_bilin
- Curva de Respuesta Histerética con Deterioro de Ibarra-Medina-Krawinkler Modificada con Respuesta Histerética Orientada al Pico - MIMK_peak
- Curva de Respuesta Histerética con Deterioro de Ibarra-Medina-Krawinkler Modificada con Respuesta Histerética y Pinch - MIMK_peak
- Curva elástica no lineal –Non_lin_Elast
- Curva plástica - plst
- Curva de Takeda bi-lineal simplificada – Takeda
- Curva de Takeda bi-lineal asimétrica – Takeda_asm
- Curva de Ramberg-Osgood –Ramberg_Osgood
- Curva deRichard-Abbott modificada –Richard_Abbot
- Curva de interacción suelo-estructura - ssi_py
- Curva gap-hook - gap_hk
- Curva multi-lineal - multi_lin
- Curva smooth – smooth
- Amortiguador viscoso - vsc_dmp

- Curva de Bouc Wen - Bouc_Wen
- Curva de separación elástica- perfectamente plástica: gap_elpl
- Curva de respuesta al impacto - pound_hz
- Curva de respuesta de la riostra autocentrante - scb
- Curva genérica de respuesta histerética - gen_hyst

Para obtener una descripción completa de las curvas de respuesta disponibles asociadas al elemento de disipador viscoso no lineal, consulte el Apéndice G.



Definición de un nuevo elemento NLdashpt

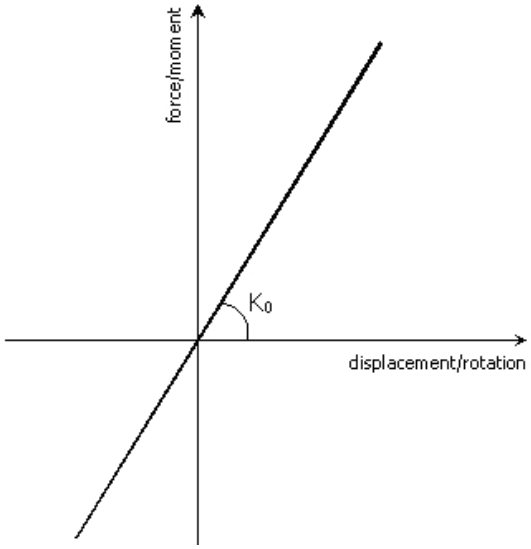
Apéndice G – Curvas de Respuesta

En este apéndice se describen en detalle las curvas de respuesta disponibles.

Curva lineal simétrica - lin_sym

IMPORTANTE: En versiones anteriores de SeismoStruct, elementos tipo link caracterizados con una curva de respuestalin_sym eran típicamente empleados para modelar uniones articuladas (con rigidez nula) y/o vínculos internos. Sin embargo, es posible utilizar ahora la herramienta *GDL enlazado* (ver Vínculos Externos) para el mismo fin; por ejemplo, una articulación puede ser modelada introduciendo una restricción *GDL enlazado* definida sólo para los grados de libertad traslacionales.

Esta curva es utilizada frecuentemente para modelar comportamiento lineal simétrico, flexibilidad del suelo/fundaciones, apoyos laminados de caucho (si se ignora su amortiguamiento viscoso, habitualmente pequeño), etc.

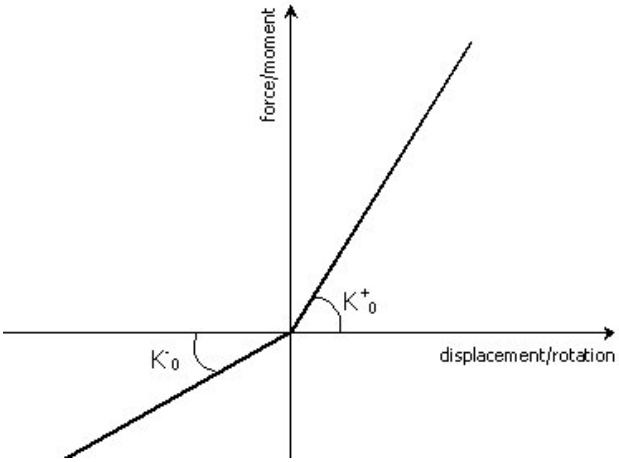


Para caracterizar esta curva de respuesta, sólo es necesario definir un parámetro:

Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Rigidez inicial – $\mathbf{K_0}$	-	10000 (-)

Curva lineal asimétrica - lin_asm

Esta curva es utilizada para modelar comportamiento lineal asimétrico, la flexibilidad del suelo/fundaciones, etc.

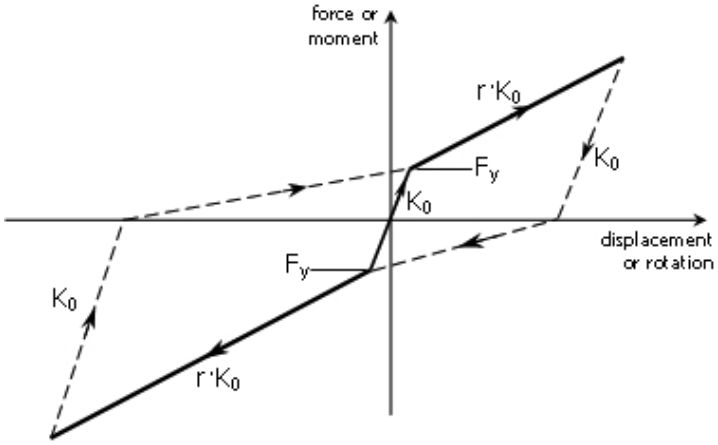


Para caracterizar esta curva de respuesta, es necesario definir dos parámetros:

Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Rigidez inicial en zona positiva – $K_{0(+)}$	-	10000 (-)
Rigidez inicial en zona negativa – $K_{0(-)}$	-	5000 (-)

Curva bi-lineal simétrica - bl_sym

Se trata de una curva que adopta una ley de endurecimiento isotrópico y es utilizada frecuentemente en el modelado del comportamiento elasto-plástico idealizado.



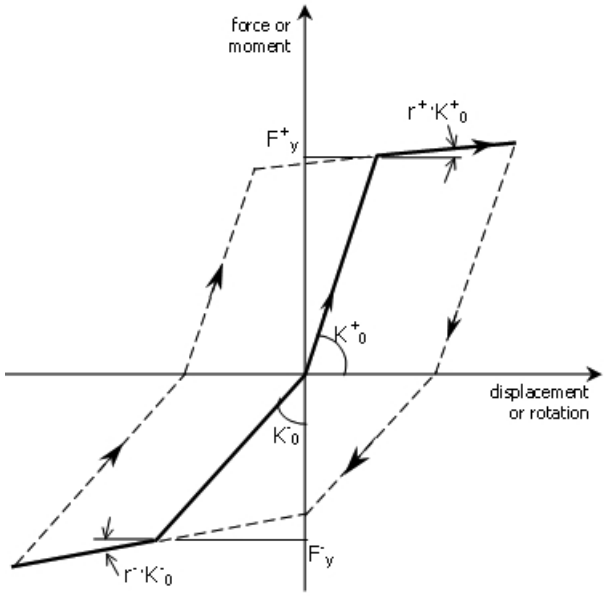
Para caracterizar esta curva de respuesta, es necesario definir tres parámetros:

Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Rigidez inicial – K_0	-	20000 (-)
Fuerza de fluencia – F_y	-	1000 (-)
Razón de endurecimiento post-fluencia – **r**	-	0.005 (-)

NOTA: Como resulta evidente, en aquellos casos (relativamente comunes) en los que la rigidez post-fluencia no es muy alta y, por lo tanto, la máxima fuerza no alcanza un valor próximo al doble de la fuerza de fluencia, esta curva de respuesta se comportará al igual que la curva bl_kin.

Curva bi-lineal asimétrica - bl_asm

Esta curva adopta una ley de endurecimiento isotrópico y es utilizada frecuentemente para modelar comportamiento elasto-plástico asimétrico idealizado.



Para caracterizar esta curva de respuesta, es necesario definir seis parámetros:

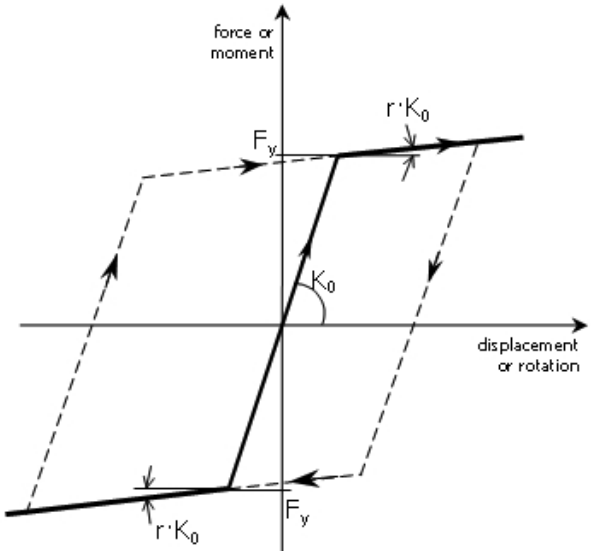
Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Rigidez inicial en zona positiva – $K_{0(+)}$	-	20000 (-)
Fuerza de fluencia en zona positiva – $F_{y(+)}$	-	1000 (-)
Razón de endurecimiento post-fluencia en zona positiva – $r_{(+)}$	-	0.005 (-)
Rigidez inicial en zona negativa – $K_{0(+)}$	-	10000 (-)
Fuerza de fluencia en zona negativa – $F_{y(+)}$	-	-1500 (-)
Razón de endurecimiento post-fluencia en zona negativa – $r_{(+)}$	-	0.01 (-)

NOTA 1: Los valores de rigidez K0(+) and K0(-) deben ser positivos.

NOTA 2: La imagen que se muestra aquí refleja los casos (relativamente comunes) en los que la rigidez post-fluencia no es muy alta y, por lo tanto, la máxima fuerza no alcanza un valor próximo al doble de la fuerza de fluencia, lo cual hace que el comportamiento de la curva sea semejante a aquel de una curva con endurecimiento cinemático, como la bl_kin. Este, sin embargo, no será siempre el caso, por lo que debe esperarse un tipo de respuesta con endurecimiento isotrópico.

Curva bi-lineal con endurecimiento cinemático - bl_ kin

Se trata de una curva bi-lineal simétrica con endurecimiento cinemático, utilizada frecuentemente en el modelado del comportamiento elasto-plástico idealizado, conexiones semi-rígidas, apoyos de plomo-caucho, disipadores histeréticos de acero, etc.

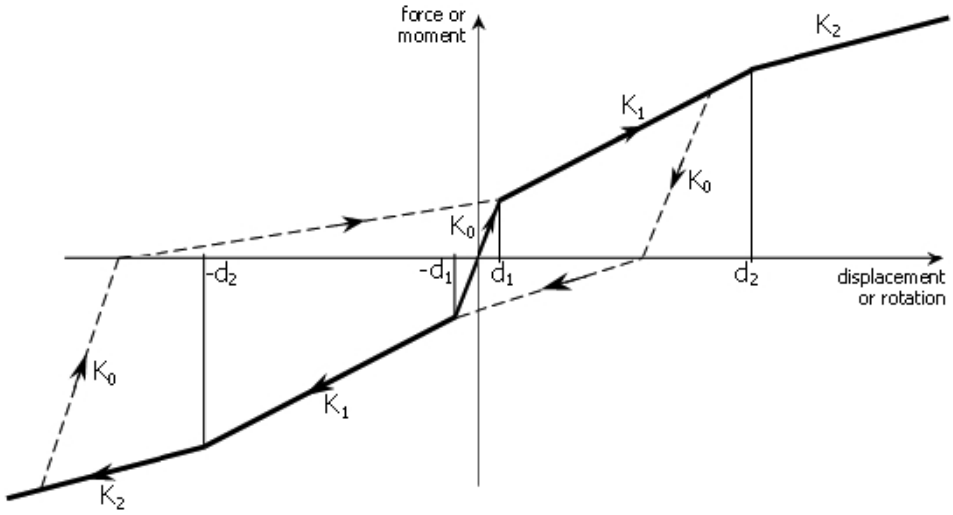


Para caracterizar esta curva de respuesta, es necesario definir tres parámetros:

Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Rigidez inicial – **K_0**	-	20000 (-)
Fuerza de fluencia – **F_y**	-	1000 (-)
Razón de endurecimiento post-fluencia – **r**	-	0.005 (-)

Curva tri-lineal simétrica - trl_sym

Esta curva, que adopta una ley de endurecimiento isotrópico, es utilizada frecuentemente para modelar comportamiento tri-lineal idealizado.



Para caracterizar esta curva de respuesta, es necesario definir cinco parámetros:

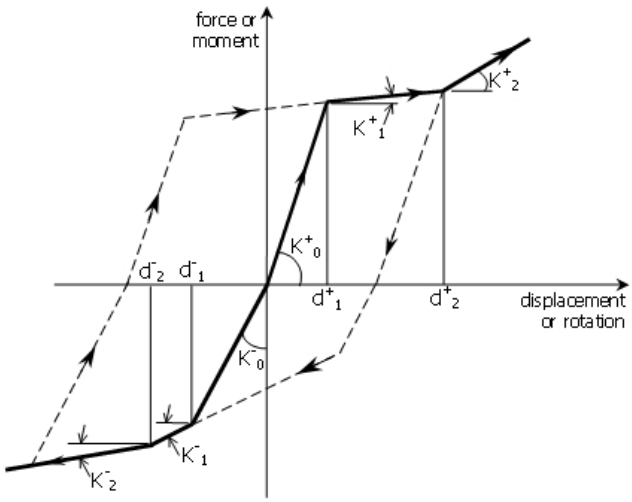
Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Rigidez inicial – **K_0**	-	1000 (-)
Desplazamiento límite de la primera rama – **d_1**	-	1 (-)
Rigidez de la segunda rama – **K_1**	-	10 (-)

Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Desplazamiento límite de la segunda rama – d_2	-	5 (-)
Rigidez de la tercera rama – K_2	-	100 (-)

NOTA: Los valores de rigidez*K0*, *K1*y*K2*deben ser positivos. Por otra parte, *K1*y*K2*deben ser siempre menores que K0.

Curva tri-lineal asimétrica - trl_asm

Esta curva, que adopta una ley de endurecimiento isotrópico, es utilizada frecuentemente para modelar comportamiento tri-lineal asimétrico idealizado.



Para caracterizar esta curva de respuesta, es necesario definir diez parámetros:

Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Rigidez inicial en zona positiva – $K_{0(+)}$	-	1000 (-)
Desplazamiento límite positivo de la primera rama – $d_{1(+)}$	-	1 (-)
Rigidez de la segunda rama en zona positiva – $K_{1(+)}$	-	50 (-)
Desplazamiento límite positivo de la segunda rama – $d_{2(+)}$	-	5 (-)
Rigidez de la tercera rama en zona positiva – $K_{2(+)}$	-	100 (-)
Rigidez inicial en zona negativa – $K_{0(-)}$	-	10000 (-)
Desplazamiento límite negativo de la primera rama – $d_{1(-)}$	-	-5 (-)
Rigidez de la segunda rama en zona negativa – $K_{1(-)}$	-	35 (-)
Desplazamiento límite negativo de la segunda rama – $d_{2(-)}$	-	-15 (-)
Rigidez de la tercera rama en zona negativa – $K_{2(-)}$	-	100 (-)

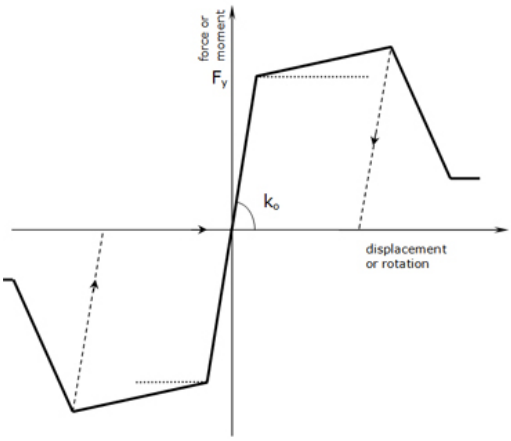
NOTA 1: Los valores de rigidez *K0(+)*, *K1(+)*, *K2(+)* y *K0(-)*, *K1(-)*, *K2(-)* deben ser positivos. Por otra parte, *K1* y *K2* deben ser siempre menores que *K0* tanto en la zona de desplazamientos positivos como negativos.

NOTA 2: Ejemplo. Para modelar el martilleo de dos edificios adyacentes separados por una junta de extensión de 20 mm, pueden adoptarse los siguientes parámetros de la curva trl_asm: K0(+)=1e12, d1(+)=0, K1(+)=0, d2(+)=1e10, K2(+)=0, K0(-)=1e12, d1(-)=0, K1(-)=0, d2(-)=-20,K2(-)=1e10. Sin embargo, para estos casos se recomienda la utilización de la curva de respuesta gap_hk.

NOTA 3: Por mayores indicaciones acerca de las reglas cíclicas empleadas en esta curva de respuesta, los usuarios pueden referirse a la figura correspondiente a la curva trl_sym. Por último, se recomienda siempre a los usuarios ejecutar análisis cíclicos simples (por ej., utilizando un solo elemento link conectado al suelo en uno de sus extremos, y luego imponiendo desplazamientos cíclicos en su nodo libre), con el fin de adquirir un entendimiento completo de esta relación histerética, antes de su uso dentro de modelos más elaborados.

Curva simétrica cuadrilínea - quad_sym

Esta es una curva simple utilizada para modelar el comportamiento cuadrilátero idealizado. Se adopta una regla de endurecimiento isotrópico.

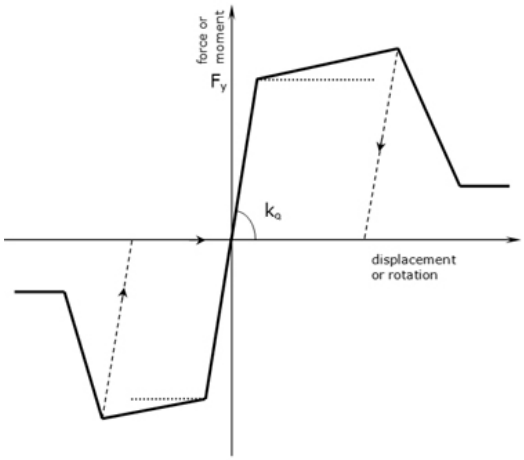


Five parameters need to be defined in order to fully characterise this response curve:

Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Límite de fluencia – F_y	-	500
Desplazamiento de Fluencia – d_y	-	0.005
Resistencia Última – F_u	-	550
Última Capacidad de Desplazamiento – d_u	-	0.02
Resistencia residual	-	200

Curva asimétrica cuadrilínea - quad_asm

Esta es una curva simple utilizada para modelar el comportamiento asimétrico cuadriilineal idealizado. Se adopta una regla de endurecimiento isotrópico.



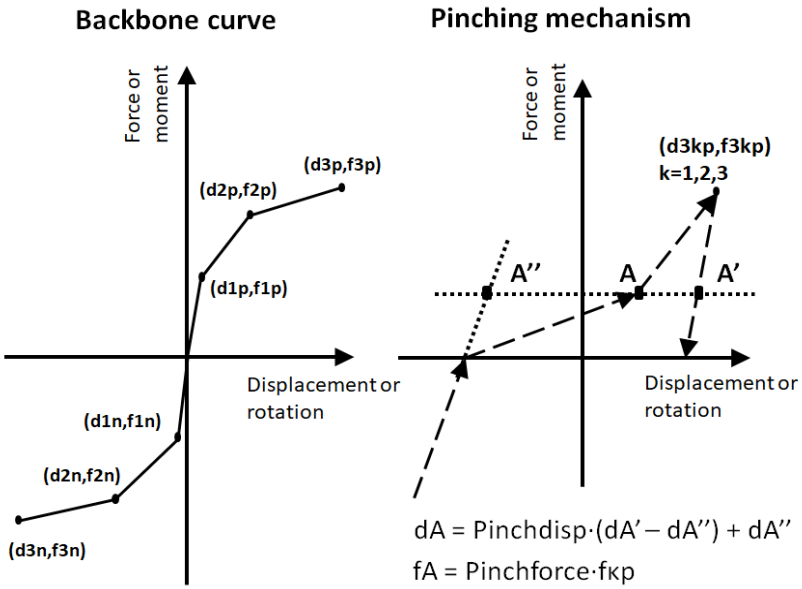
Deben definirse diez parámetros para caracterizar completamente esta curva de respuesta:

Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Límite de fluencia para dirección de carga positiva – $\mathbf{F_{y(+)}}$	-	500
Desplazamiento de Fluencia para dirección de carga positiva – $\mathbf{d_{y(+)}}$	-	0.005
Resistencia Última para dirección de carga positiva – $\mathbf{F_{u(+)}}$	-	550
Desplazamiento Último para dirección de carga positiva – $\mathbf{d_{u(+)}}$	-	0.02
Resistencia Última para dirección de carga positiva **(+)**	-	200
Límite de fluencia para dirección de carga negativa – $\mathbf{F_{y(-)}}$	-	400 (-)
Desplazamiento de Fluencia para dirección de carga negativa – $\mathbf{d_{y(-)}}$	-	0.005 (-)
Resistencia Última para dirección de carga negativa – $\mathbf{F_{u(-)}}$	-	450 (-)
Desplazamiento Último para dirección de carga negativa – $\mathbf{d_{u(-)}}$	-	0.02 (-)
Resistencia Última para dirección de carga negativa **(-)**	-	200 (-)

Curva asimétrica con pinch - pinched_asm

La curva Pinched_Asm es un modelo uniaxial de fuerza – desplazamiento caracterizado por reglas de deterioro no lineal de rigidez y capacidad y también por pellizco (pinch) de fuerzay desplazamiento. Puede agregarse deterioro debido al daño en la ductilidad y la energía. La envolvente de la curva del modelo está definida por el usuario al suministrar tres pares de fuerza-desplazamientopara la rama

positiva y negativa de la curva. La envolvente de la fuerza y desplazamientose deben dar en orden ascendente para la rama positiva y en orden descendente para la rama negativa.



Modelo Pinched_Asm

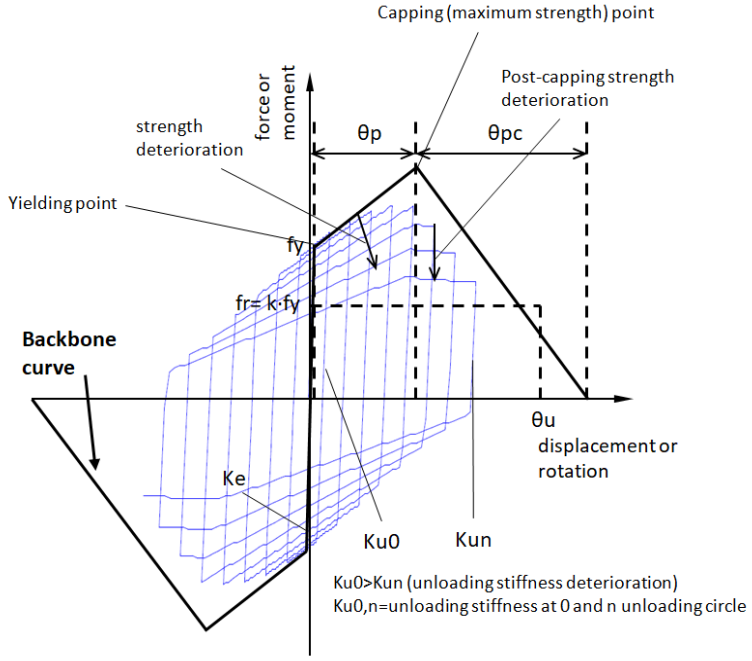
Se deben definir diecisiete parámetros para caracterizar completamente esta curva de respuesta:

Propiedades del Material	Valores típicos	Valores por defecto
Desplazamiento en el primer punto de la envolvente en la dirección positiva– $\mathbf{d_{1p(+)}}$	-	0.001
Fuerza en el primer punto de la envolvente en la dirección positiva– $\mathbf{f_{1p(+)}}$	-	100.00
Desplazamiento en el segundo punto de la envolvente en la dirección positiva– $\mathbf{d_{2p(+)}}$	-	0.115
Fuerza en el segundo punto de la envolvente en la dirección positiva– $\mathbf{f_{2p(+)}}$	-	150
Desplazamiento en el tercer punto de la envolvente en la dirección positiva– $\mathbf{d_{3p(+)}}$	-	0.2
Fuerza en el tercer punto de la envolvente en la dirección positiva– $\mathbf{f_{3p(+)}}$	-	145.00
Desplazamiento en el primer punto de la envolvente en la dirección negativa– $\mathbf{d_{1n(-)}}$	-	-0.001
Fuerza en el primer punto de la envolvente en la dirección negativa– $\mathbf{f_{1n(-)}}$	-	-100.00
Desplazamiento en el segundo punto de la envolvente en la dirección negativa– $\mathbf{d_{2n(-)}}$	-	-0.115
Fuerza en el segundo punto de la envolvente en la dirección negativa– $\mathbf{f_{2n(-)}}$	-	-150.00
Desplazamiento en el tercer punto de la envolvente en la dirección negativa– $\mathbf{d_{3n(-)}}$	-	-0.2
Fuerza en el tercer punto de la envolvente en la dirección negativa– $\mathbf{f_{3n(-)}}$	-	-145.00
Factor de pellizco para el desplazamientodurante la recarga– **pinchdisp**	0-1.0(-)	0.8

Propiedades del Material	Valores típicos	Valores por defecto
Factor de pellizco para la fuerza durante la recarga– **pinchforce**	0-1.0(-)	0.2
Daño por ductilidad– **dam1**	0-0.05(-)	0.0
Daño debido a la energía– **dam2**	0-0.5(-)	0.0
Potencia utilizada para determinar la rigidez de descarga degradada en función de la ductilidad– **mu**	0-0.5(-)	0.0

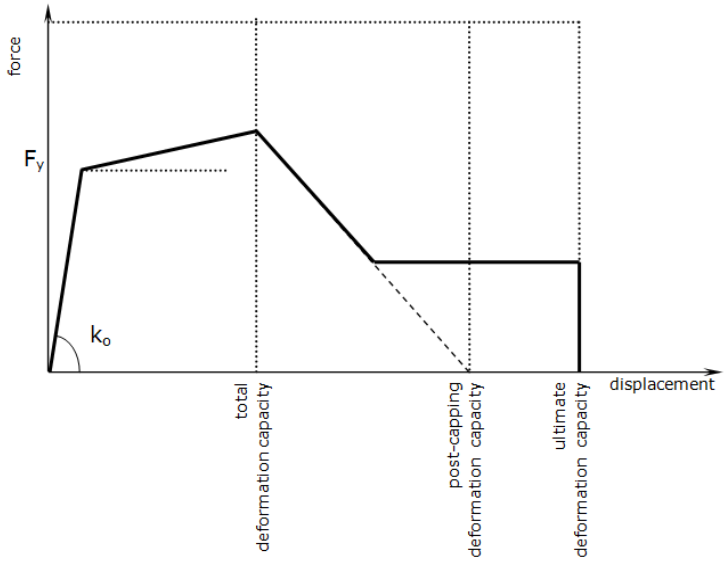
Curva de Respuesta Histerética con Deterioro de Ibarra-Medina-Krawinkler Modificada - MIMK_bilin

La Curva de Respuesta Histerética con Deterioro de Ibarra-Medina-Krawinkler Modificada (MIMK) se basa en el modelo inicialmente propuesto por Ibarra et al. [2005] y luego modificado por Lignos y Rawinkler [2011]. El MIMK se basa en una curva backbone que representa el comportamiento para carga monotónica y establece límites de esfuerzo y deformación, y un conjunto de reglas que definen las características básicas del comportamiento histerético entre los límites. La histéresis se modela mediante reglas histereticas bilineales estándar con endurecimiento por deformación cinemática. El modelo también incluye tres modos de deterioro cíclico, a saber: a.deterioro de la resistencia básica, b. deterioro de la resistencia después del recubrimiento y c. deterioro de rigidez por ciclo de carga. El modelo se puede utilizar para modelar la relación momento-rotación cíclica en áreas de rótulas plásticas de vigas y las variables modelo para el caso de vigas de acero se pueden definir mediante relaciones empíricas deducidas de datos experimentales, de más de 300 experimentos, por Lignos y Krawinkler [2011]. El modelo se puede aplicar a cualquier relación fuerza-deformación, aunque inicialmente se ha descrito en términos de cantidades de momento y rotación.



Curva de Respuesta Histerética con Deterioro de Ibarra-Medina-Krawinkler Modificada

Las deformaciones de capacidad se describen mejor en el siguiente gráfico:



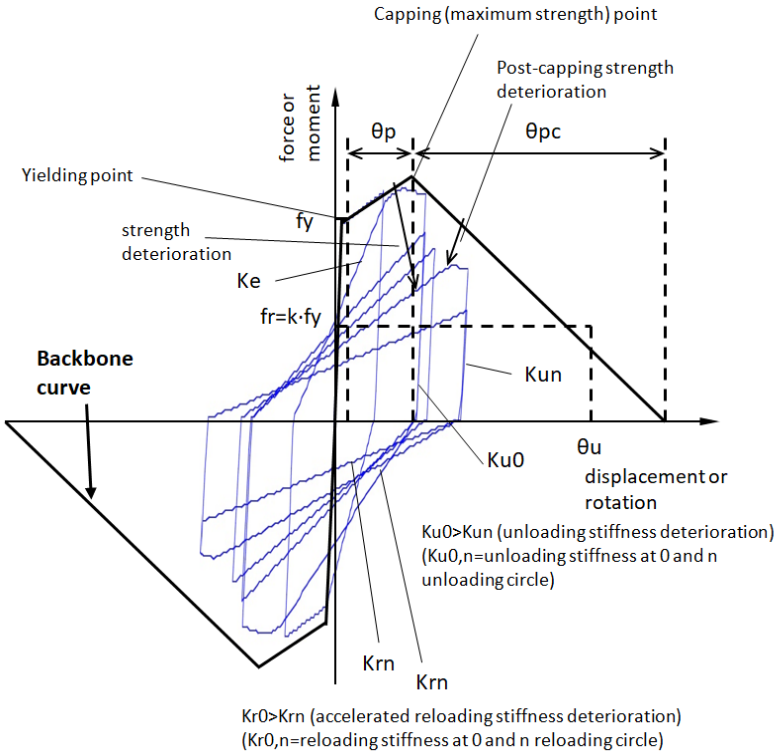
En total, se deben definir 22 variables para el modelo (una herramienta en línea para definir los parámetros del modelo en el caso de las vigas de acero se puede encontrar en http://dimitrios-lignos.research.mcgill.ca/databases/component/).

Propiedades de la curva	Valores típicos (para vigas de acero)	Valores por defecto
Rigidez elástica– **Ke**	-	200000
Límite de elasticidad efectivo para la dirección de carga positiva– $\mathbf{f_{y(+)}}$	-	300
Límite de elasticidad efectivo para la dirección de carga negativa– $\mathbf{f_{y(-)}}$	-	300
Capacidad de rotación plástica para dirección de carga positiva– $\mathbf{\theta_{p(+)}}$	-	0.025
Capacidad de rotación plástica para dirección de carga negativa– $\mathbf{\theta_{p(-)}}$	-	0.025
Capacidad de rotación post-tapado para una dirección de carga positiva– $\mathbf{\theta_{pc(+)}}$	-	0.3
Capacidad de rotación post-tapado para dirección de carga negativa – $\mathbf{\theta_{pc(-)}}$	-	0.3
Máxima capacidad de rotación para una dirección de carga positiva – $\mathbf{\theta_{u(+)}}$	-	0.4
Máxima capacidad de rotación para la dirección de carga negativa– $\mathbf{\theta_{u(-)}}$	-	0.4
Relación de resistencia residual para la dirección de carga positiva– $\mathbf{k_{(+)}}$	0.0 - 0.5	0.3
Relación de resistencia residual para la dirección de carga negativa– $k_{(-)}$	0.0 - 0.5	0.3
Coeficiente de endurecimiento por deformación para la dirección de carga positiva – $\mathbf{a_{s(+)}}$	0.0 - 0.5	0.005
Coeficiente de endurecimiento por deformación para la dirección de carga positiva– $\mathbf{a_{s(-)}}$	0.0 - 0.5	0.005
Parámetro de deterioro cíclico– Λ_s	0.0-1000.0 (Cero para despreciar el deterioro)	1000

Propiedades de la curva	Valores típicos (para vigas de acero)	Valores por defecto
Parámetro de deterioro cíclico para el deterioro de la rigidez de descarga– Λ_K	0.0-1000.0 (Cero para despreciar el deterioro)	1000
Parámetro de deterioro cíclico para el deterioro de la resistencia posterior al recubrimiento– Λ_c	0.0-1000.0 (Cero para despreciar el deterioro)	1000
Tasa de deterioro de la resistencia– C_s	Usualmente igual a 1.0 (1.0-2.0)	1.0
Tasa de deterioro de la rigidez de descarga– C_K	Usualmente igual a 1.0 (1.0-2.0)	1.0
Relación de deterioro de la resistencia después del recubrimiento– C_c	Usualmente igual a 1 (1.0-2.0)	1.0
Tasa de deterioro cíclico en la dirección de carga positiva– $D_{(+)}$	$0 \leq D^{+} \leq 1$	1.0
Tasa de deterioro cíclico en la dirección de carga negativa– $D_{(-)}$	$0 \leq D^{-} \leq 1$	1.0
Factor para la amplificación de la rigidez elástica– N	Cero para ninguna amplificación de rigidez elástica. Si se utiliza la amplificación de rigidez elástica, se debe usar un valor de n alrededor de 1000 para las Rótulas Plásticas Concentradas de acuerdo con Ribeiro et al. [2014]	0.0

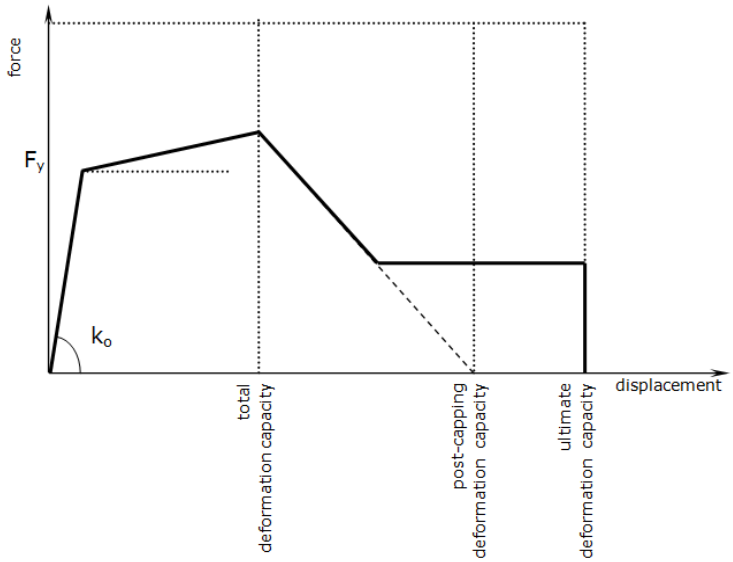
Curva de Respuesta Histerética con Deterioro de Ibarra-Medina-Krawinkler Modificada con Respuesta Orientada al Pico - MIMK_peak

La Curva de Respuesta Histerética con Deterioro de Ibarra-Medina-Krawinkler Modificada con Respuesta Histerética Orientada al Pico se basa en el modelo inicialmente propuesto por Ibarra et al. [2005] y luego modificado por Lignos y Krawinkler [2009]. El modelo se asemeja al Modelo de Deterioro Modificado de Ibarra-Medina-Krawinkler con Respuesta Histérica Bilineal ya que se basa en una curva que representa el comportamiento de la carga monotónica y establece límites de esfuerzo y deformación, pero utiliza un modelo histéresis orientado a pico para modelar histéresis de la curva back-bone. El modelo histéretico orientado a los picos sigue las reglas propuestas por Clough y Johnston [1966] y luego modificado por Mahin y Bertero [1976]. El modelo incluye cuatro modos de deterioro cíclico: a. deterioro de la resistencia básica, b. deterioro de la resistencia después del recubrimiento, c. el deterioro de la rigidez de descarga/recarga y d. deterioro acelerado de la rigidez por la recarga. El modelo modificado de deterioro Kbarinkler Ibarra-Medina con respuesta histéresis de pico orientado es capaz de simular el comportamiento de vigas de concreto reforzado que fallan principalmente en un modo de flexión y ha sido calibrado con más de 200 vigas por Lignos y Krawinkler [2012].



Curva de Respuesta Histerética con Deterioro de Ibarra-Medina-Krawinkler Modificada con Respuesta Orientada al Pico

Las deformaciones de capacidad se describen mejor en el siguiente gráfico:



Se deben definir veinticuatro parámetros para caracterizar completamente esta curva de respuesta:

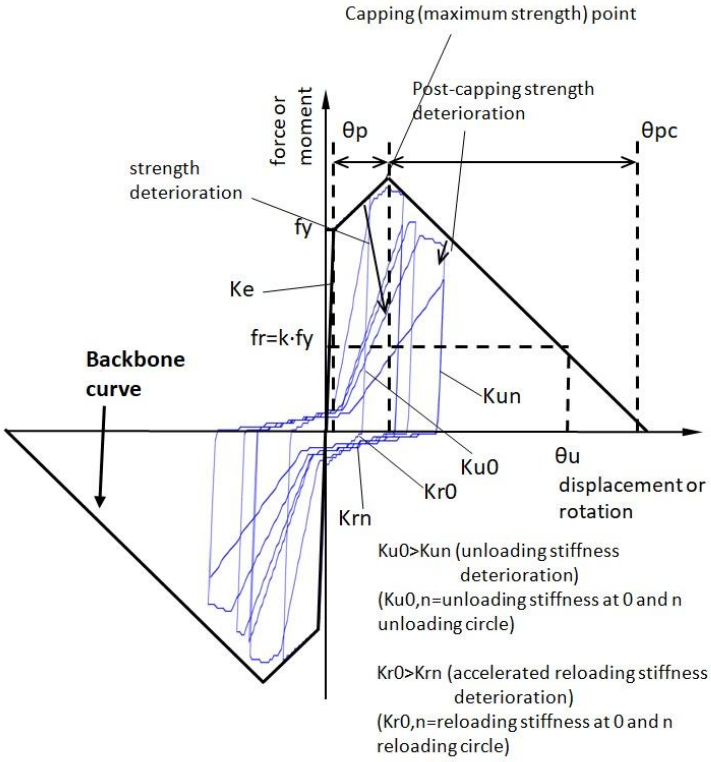
Propiedades de la curva	Valore típicos (para vigas de acero)	Valores por defecto
Rigidez elástica– **Ke**	-	200000
Límite de elasticidad efectivo para la dirección de carga positiva– $\mathbf{f_{y(+)}}$	-	300

Propiedades de la curva	Valore típicos (para vigas de acero)	Valores por defecto
Límite de elasticidad efectivo para la dirección de carga negativa – $\mathbf{f_{y(-)}}$	-	300
Capacidad de rotación plástica para dirección de carga positiva– $\boldsymbol{\theta_{p(+)}}$	-	0.025
Capacidad de rotación plástica para dirección de carga negativa– $\boldsymbol{\theta_{p(-)}}$	-	0.025
Capacidad de rotación post - tapado para una dirección de carga positiva– $\boldsymbol{\theta_{pc(+)}}$	-	0.3
Capacidad de rotación post-tapado para dirección de carga negativa– $\boldsymbol{\theta_{pc(-)}}$	-	0.3
Máxima capacidad de rotación para una dirección de carga positiva– $\boldsymbol{\theta_{u(+)}}$	-	0.4
Máxima capacidad de rotación para la dirección de carga negativa– $\boldsymbol{\theta_{u(-)}}$	-	0.4
Relación de resistencia residual para la dirección de carga positiva– $\mathbf{k_{(+)}}$	0.0 - 0.5	0.3
Relación de resistencia residual para la dirección de carga negativa – $k_{(-)}$	0.0 - 0.5	0.3
Coeficiente de endurecimiento por deformación para la dirección de carga positiva – $\mathbf{a_{s(+)}}$	0.0 - 0.5	0.005
Coeficiente de endurecimiento de deformación para la dirección de carga negativa– $\mathbf{a_{s(-)}}$	0.0 - 0.5	0.005
Parámetro de deterioro cíclico (s) de la resistencia– Λ_s	0.0-1000.0 (Cero para despreciar el deterioro)	1000
Parámetro de deterioro cíclico para el deterioro de la resistencia posterior al recubrimiento– Λ_c	0.0-1000.0 (Cero para despreciar el deterioro)	1000
Parámetro de deterioro cíclico para el deterioro acelerado de la recarga– Λ_a	0.0-1000.0 (Cero para despreciar el deterioro)	1000
Parámetro de deterioro cíclico para el deterioro de la rigidez de descarga– Λ_K	0.0-1000.0 (Cero para despreciar el deterioro)	1000
Tasa de deterioro de la resistencia	Usualmente igual a 1.0 (1.0-2.0)	1.0
Relación de deterioro de la resistencia después del recubrimiento– C_c	Usualmente igual a 1.0 (1.0-2.0)	1.0
Coeficiente de deterioro acelerado de recarga – C_a	Usualmente igual a 1.0 (1.0-2.0)	1.0
Tasa de deterioro de la rigidez de descarga– C_K	Usualmente igual a 1.0 (1.0-2.0)	1.0
Tasa de deterioro cíclico en la dirección de carga positiva– $D_{(+)}$	$0 \le D^+ \le 1$	1.0
Tasa de deterioro cíclico en la dirección de carga negativa– $D_{(-)}$	$0 \le D^- \le 1$	1.0
Factor para la amplificación de la rigidez elástica– N	Cero para ninguna amplificación de rigidez elástica. Si se utiliza la amplificación de rigidez elástica, se debe usar un valor de n alrededor de 1000 para las Rótulas Plásticas	0.0

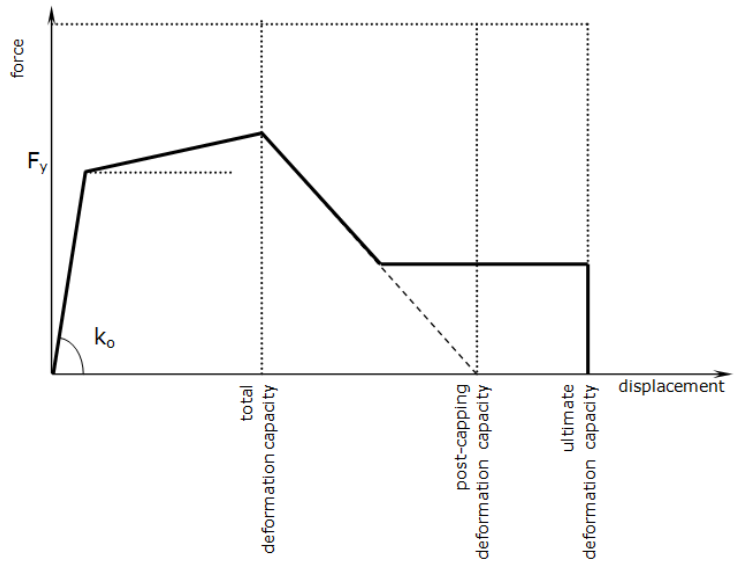
Propiedades de la curva	Valore típicos (para vigas de acero)	Valores por defecto
	Concentradas de acuerdo con Ribeiro et al. [2014]	

Curva de Respuesta Histerética con Deterioro de Ibarra-Medina-Krawinkler Modificada con Respuesta Histerética y Pinch - MIMK_Pinched

La Curva de Respuesta Histerética con Deterioro de Ibarra-Medina-Krawinkler Modificada con Respuesta Histerética y Pinch se basa en el modelo que fue propuesto principalmente por Ibarra et al. [2005] y luego modificado por Lignos y Rawinkler [2009]. El modelo se asemeja a los Modelos modificados de deterioro de Ibarra-Medina-Krawinkler con respuesta histéresica bilineal y de pico orientado, ya que se basa en una curva de estructura que representa el comportamiento de la carga monotónica y establece límites de esfuerzo y deformación, pero utiliza un modelo histerético pellizcado para el modelo de la curva de back-bone. El histerético pellizcado es similar al orientado al pico, excepto que la recarga consta de dos partes. Inicialmente, la ruta de recarga se dirige hacia un "punto de ruptura", que es una función de la máxima deformación permanente y la carga máxima experimentada en la dirección de carga (Ibarra et al. [2005]). El modelo incluye cuatro modos de deterioro cíclico: a) deterioro de la resistencia básica, b) deterioro de la resistencia posterior a la nivelación, c) deterioro de la rigidez de descarga/recarga y d) deterioro de la rigidez en la recarga. El modelo de deterioro modificado Ibarra-Medina Krawinkler con respuesta histéresis pellizcada simula el comportamiento de las vigas de concreto armado que falla principalmente en modo de corte. Este modelo también es capaz de simular el comportamiento histerético de las conexiones de cizallamiento, las conexiones de la placa de escuadra de viga a columna y los componentes de madera.



Las deformaciones de capacidad se describen mejor en el siguiente gráfico:



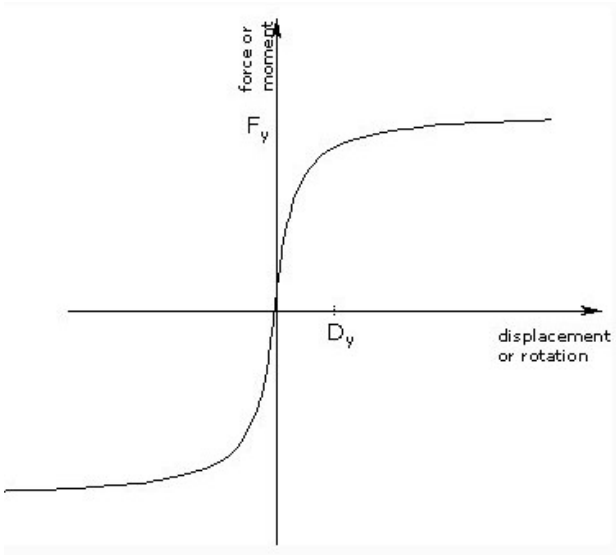
En total, se deben definir 27 variables para el modelo.

Propiedades de la curva	Valores típicos (para vigas de acero)	Valores por defecto
Rigidez elástica – **Ke**	-	200000
Límite de elasticidad efectivo para la dirección de carga positiva– $\mathbf{f_{y(+)}}$	-	300
Límite de elasticidad efectivo para la dirección de carga negativa– $\mathbf{f_{y(-)}}$	-	300
Capacidad de rotación plástica para dirección de carga positiva– $\mathbf{\theta_{p(+)}}$	-	0.025
Capacidad de rotación plástica para dirección de carga negativa– $\mathbf{\theta_{p(-)}}$	-	0.025
Capacidad de rotación post - tapado para una dirección de carga positiva– $\mathbf{\theta_{pc(+)}}$	-	0.3
Capacidad de rotación post-tapado para dirección de carga negativa– $\mathbf{\theta_{pc(-)}}$	-	0.3
Máxima capacidad de rotación para una dirección de carga positiva– $\mathbf{\theta_{u(+)}}$	-	0.4
Máxima capacidad de rotación para la dirección de carga negativa– $\mathbf{\theta_{u(-)}}$	-	0.4
Relación de resistencia residual para la dirección de carga positiva– $\mathbf{k_{(+)}}$	0.0 - 0.5	0.3
Relación de resistencia residual para la dirección de carga negativa– $k_{(-)}$	0.0 - 0.5	0.3
Coeficiente de endurecimiento por deformación para la dirección de carga positiva – $\mathbf{a_{s(+)}}$	0.0 - 0.5	0.005
Coeficiente de endurecimiento de deformación para la dirección de carga negativa– $\mathbf{a_{s(-)}}$	0.0 - 0.5	0.005
Relación entre la fuerza al inicio de la recarga y la fuerza correspondiente al máximo deformación experimentada para la dirección de carga positiva– $F_{pr(+)}$	0.0-1.0	0.2
Relación entre la fuerza al inicio de la recarga y la fuerza correspondiente al máximo deformación	0.0-1.0	0.2

Propiedades de la curva	Valores típicos (para vigas de acero)	Valores por defecto
experimentada para la dirección de carga negativa– $F_{pr(-)}$		
Relación de rigidez de recarga– K_r	0.0-1.0	0.2
Parámetro de deterioro cíclico de la resistencia– Λ_s	0.0-1000.0 (Cero para despreciar el deterioro)	1000
Parámetro de deterioro cíclico para el deterioro de la resistencia posterior al recubrimiento– Λ_c	0.0-1000.0 Cero para despreciar el deterioro)	1000
Parámetro de deterioro cíclico para el deterioro acelerado de la recarga– Λ_a	0.0-1000.0 (Cero para despreciar el deterioro)	1000
Parámetro de deterioro cíclico para el deterioro de la rigidez de descarga– Λ_K	0.0-1000.0 (Cero para despreciar el deterioro)	1000
Tasa de deterioro de la resistencia– C_s	Usualmente igual a 1.0 (1.0-2.0)	1.0
Relación de deterioro de la resistencia después del recubrimiento– C_c	Usualmente igual a 1.0 (1.0-2.0)	1.0
Coeficiente de deterioro acelerado de recarga– C_a	Usualmente igual a 1.0 (1.0-2.0)	1.0
Tasa de deterioro de la rigidez de descarga– C_K	Usualmente igual a 1.0 (1.0-2.0)	1.0
Tasa de deterioro cíclico en la dirección de carga positiva– $D_{(+)}$	$0 \leq D^+ \leq 1$	1.0
Tasa de deterioro cíclico en la dirección de carga negativa– $D_{(-)}$	$0 \leq D^- \leq 1$	1.0
Factor para la amplificación de la rigidez elástica– N	Cero para ninguna amplificación de rigidez elástica. Si se utiliza la amplificación de rigidez elástica, se debe usar un valor de n alrededor de 1000 para las Rótulas Plásticas Concentradas de acuerdo con Ribeiro et al. [2014]	0.0

Curva elástica no lineal –Non_lin_Elast

Esta curva es una versión simplificada del modelo de Ramberg-Osgood, con la diferencia de que aquí no se admite disipación histerética (la misma curva es utilizada en carga y descarga). Fue propuesta e inicialmente programada por Otani [1981] para el modelado de elementos pretensados de concreto.

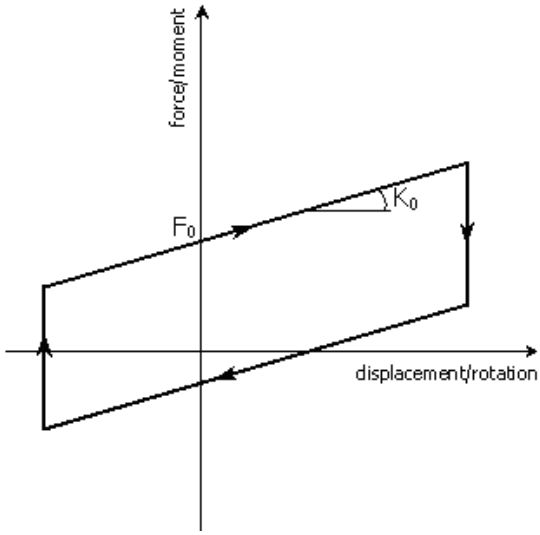


Para caracterizar esta curva de respuesta, es necesario definir cuatro parámetros:

Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Límite de fluencia – $\mathbf{F_y}$	-	500 (-)
Desplazamiento de fluencia – $\mathbf{D_y}$	-	0.0023 (-)
Parámetro de Ramberg-Osgood – γ	-	5.5 (-)
Límite de convergencia para el método de Newton-Raphson – $\boldsymbol{\beta_1}$	-	0.001 (-)

Curva plástica - plst

Se trata de una curva que adopta una ley de endurecimiento cinemático y es utilizada frecuentemente en el modelado del comportamiento rígido-plástico, apoyos deslizantes, dispositivos de aislación FPS (péndulo de fricción), amortiguadores hidráulicos, etc.



Para caracterizar esta curva de respuesta, es necesario definir dos parámetros:

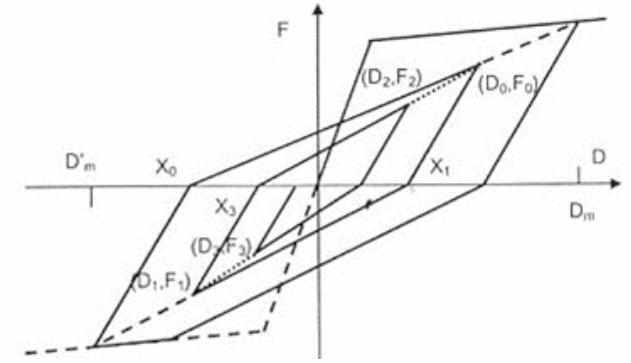
Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Fuerza inicial – $\mathbf{F_0}$	-	10000 (-)

Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Rigidez post-fluencia – K_0	-	5 (-)

NOTA: La rigidez de descarga y recarga es considerada infinita, lo cual significa que, si se utiliza un incremento de tiempo de análisis suficientemente pequeño, las ramas de descarga/recarga de esta curva de respuesta resultan prácticamente verticales. Para incrementos de tiempo más grandes, por otra parte, se obtiene una rigidez de descarga/recarga definida por el cociente $2F_0/\Delta t$.

Curva de Takeda bi-lineal simplificada - Takeda

Se trata del bucle histerético de Takeda modificado descrito en Otani [1974], con las leyes de descarga propuestas por Emori and Schonobrich [1978]. En esencia, el modelo es una simplificación bi-lineal del modelo tri-lineal original propuesto por Takeda et al. [1970], cuyas reglas para los ciclos internos eran diferentes de aquellas propuestas por Clough and Johnston [1966] en su modelo histerético bi-lineal original. Esta curva de respuesta fue programada inicialmente por Otani [1981].



Para caracterizar esta curva de respuesta, es necesario definir cinco parámetros:

Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Fuerza de fluencia – F_y	-	500 (-)
Rigidez inicial – K_y	-	200000 (-)
Razón de rigidez post-fluencia a rigidez inicial – α	-	0.1 (-)
Factor de degradación de la rigidez del ciclo externo – β_0	-	0.4 (-)
Factor de degradación de la rigidez del ciclo interno – β_1	-	0.9 (-)

NOTA 1: La rigidez de descarga de la curva post-fluencia del ciclo de histéresis externo es definida mediante:

$$K_{rout} = K_y \left(\frac{D_y}{D_m}\right)^{\beta_0}$$

donde:

$K_y$es la rigidez inicial;

$D_y$es el desplazamiento de fluencia;

$D_m$es el desplazamiento máximo precedente;

$\beta_0$esel factor de degradación de la rigidez del ciclo externo (K_{rout}), es decir para la descarga de la curva primera

NOTA 2: La rigidez de descarga del ciclo de histéresis interno es definida mediante:

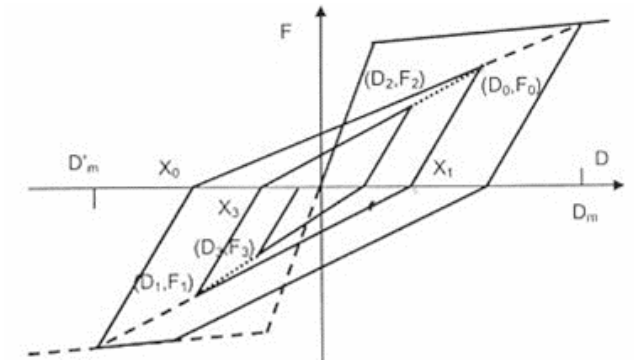
$$K_{rin} = K_y \left(\frac{D_y}{D_m}\right)^{\beta_0} * \beta_1$$

donde:

β_1 esel factor de degradación de la rigidez del ciclo interno ($K_{rin} = \beta_1 * K_{rout}$), es decir para la descarga y carga en los ciclos internos

Curva Takeda Bilineal Asimétrica - Takeda_asm

Este es un modelo similar a la curva de histéresis modificada de Takeda descrita anteriormente, donde diferentes valores de cedencia pueden especificarse para la tensión Fy(+) y la compresión Fy(-), de manera que permita el modelaje de un comportamiento asimétrico.

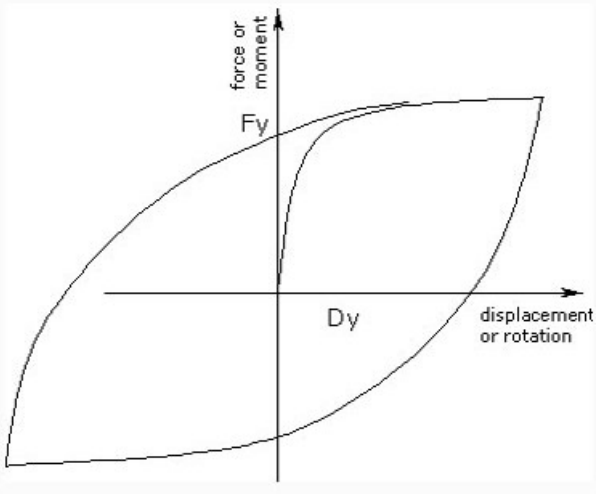


Seis parámetros tienen que ser definidos para poder caracterizar por completo el comportamiento:

Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Esfuerzo de cedencia en la región positiva – $F_{y(+)}$	-	500 (-)
Esfuerzo de cedencia en la región negativa – $F_{y(-)}$	-	400 (-)
Rigidez Inicial – K_y	-	200000 (-)
Razón Post-cedencia y rigidez inicial – α	-	0.1 (-)
Factor de degradación de curva externa – β_0	-	0.4 (-)
Factor de degradación de curva interna – β_1	-	0.9 (-)

Ramberg-Osgood curve –Ramberg_Osgood

Se trata del bucle histerético de Ramberg-Osgood [Ramberg and Osgood, 1943], como se describe en el trabajo de Kaldjian [1967]. Fue programado inicialmente por Otani [1981].



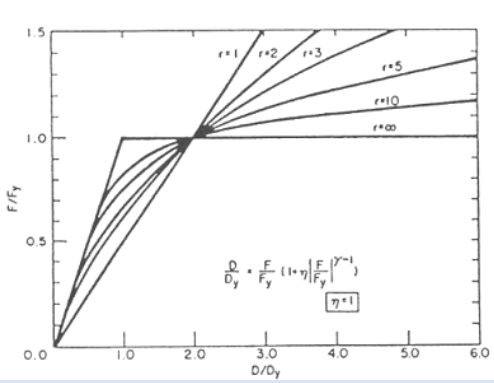
Para caracterizar esta curva de respuesta, es necesario definir cuatro parámetros:

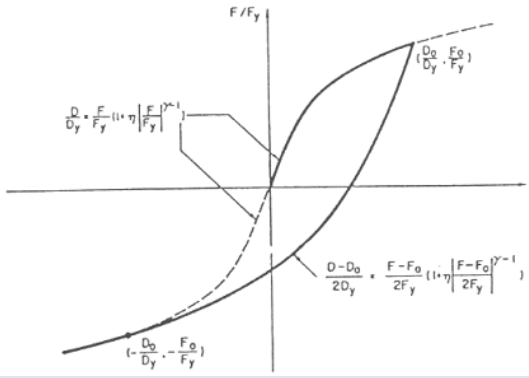
Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Límite de fluencia – $\mathbf{F_y}$	-	500 (-)
Desplazamiento de fluencia – $\mathbf{D_y}$	-	0.0025 (-)
Parámetro de Ramberg-Osgood – γ	-	1.5 (-)
Límite de convergencia para el método de Newton-Raphson– $\boldsymbol{\beta_1}$	-	0.001 (-)

NOTA 1: La curva de carga es definida por:

$$\frac{D}{D_y} = \frac{F}{F_y}\left(1 + \left|\frac{F}{F_y}\right|^{\gamma-1}\right)$$

NOTA 2: La curva pasa por (Fy, (1+Dy)) para cualquier valor de γ, que controla la forma de la curva primaria. Como se muestra a continuación, la curva de carga puede variar desde una línea elástica para γ = 1.0, hasta un segmento bi-lineal elasto-plástico, para γ= infinito.





NOTA 3: La curva de descarga a partir del punto máximo (D_0, F_0) sigue la ecuación:

$$\frac{D - D_0}{2D_y} = \frac{F - F_0}{2F_y}\left(1 + \left|\frac{F - F_0}{2F_y}\right|^{\gamma-1}\right)$$

NOTA 4: La fuerza es calculada mediante un procedimiento iterativo, utilizando el método de Newton–Raphson.

NOTA 5: Como ha sido señalado por Otani [1981], este modelo histerético disipa energía incluso si el factor de ductilidad es menor a uno. La energía disipada es sensible a γ, y aumenta cuando ésta aumenta.

Curva de Richard-Abbott modificada –Richard_Abbott

Se trata de un bucle histerético de Richard-Abbott modificado, programado e implementado por Nogueiro *et al.* [2005a] sobre la base de las propuestas de De Martino *et al.* [1984] y Della Corte *et al.* [2000], a partir del trabajo original de Richard and Abbott [1975]. El modelo es muy flexible: es capaz de modelar todo tipo de conexiones de acero y compuestas (por ej., conexión de alas soldadas y alma abulonada, uniones con bridas, uniones con ángulos, etc.) mientras sus parámetros sean calibrados en forma acorde, como ha sido demostrado por Della Corte *et al.* [2000], Simoes *et al.* [2001] y Nogueiro *et al.* [2005a], entre otros.

Para caracterizar esta curva de respuesta, es necesario definir treinta parámetros.

Para las ramas ascendentes (positivas), los parámetros de input correspondientes son:

Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Rigidez inicial para la curva límite superior – **K_a**	15000 - 50000 (kNm/rad)	12000 (kNm/rad)
Resistencia para la curva límite superior – **M_a**	75 - 250 (kNm)	45 (kNm)
Rigidez post-elástica para la curva límite superior – **K_{pa}**	$0.02K_a$ - $0.05K_a$	200 (kNm/rad)
Parámetro de forma para la curva límite superior – **N_a**	4 (-)	4 (-)
Rigidez inicial para la curva límite inferior – **K_{ap}**	K_a	12000 (kNm/rad)
Resistencia para la curva límite inferior – **M_{ap}**	$0.45M_a$ - $0.65M_a$	5 (kNm)
Rigidez post-elástica para la curva límite inferior – **K_{pap}**	K_{pa}	200 (kNm/rad)
Parámetro de forma para la curva límite inferior – **N_{ap}**	4 (-)	4 (-)
Parámetro empírico relacionado al efecto de pinching – **t_{1a}**	5 - 20 (-)	30 (-)
Parámetro empírico relacionado al efecto de pinching – **t_{2a}**	0.15 - 0.5 (-)	0.03 (-)
Parámetro empírico relacionado al efecto de pinching – **C_a**	1 (-)	1 (-)
Coeficiente empírico relacionado con la tasa de variación de la rigidez con el daño – **i_{Ka}**	3 - 25 (-)	0 (-)
Coeficiente empírico relacionado con la tasa de variación de la resistencia con el daño – **i_{Ma}**	0.01 - 0.1 (-)	0.03 (-)
Coeficiente empírico para la definición del nivel de endurecimiento isotrópico – **H_a**	0.01 - 0.04 (-)	0.02 (-)

Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Valor máximo de deformación (rotación) alcanzado durante la historia de carga – E_{maxa}	0 - 0.2 (rad)	0.5 (rad)

NOTA: Si se espera un comportamiento simétrico, el segundo grupo de 15 parámetros es idéntico al primero.

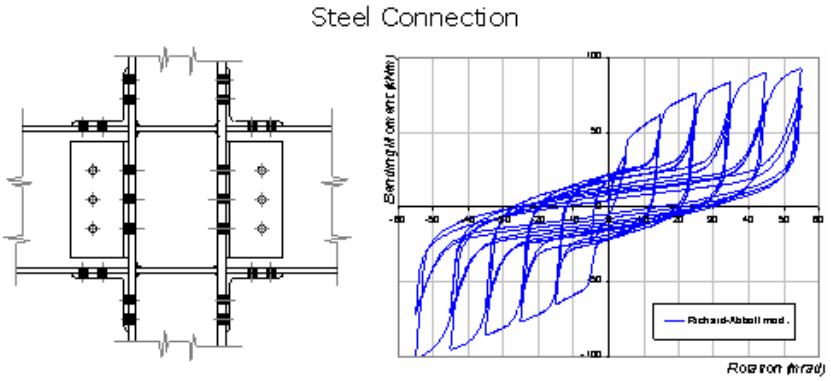
Para las ramas descendentes (negativas), los parámetros de input correspondientes son:

Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Rigidez inicial para la curva límite superior – K_d	15000 - 50000 (kNm/rad)	12000 (kNm/rad)
Resistencia para la curva límite superior – M_d	75 - 250 (kNm)	45 (kNm)
Rigidez post-elástica para la curva límite superior – K_{pd}	$0.02K_d$ - $0.05K_d$	200 (kNm/rad)
Parámetro de forma para la curva límite superior – N_d	4 (-)	4 (-)
Rigidez inicial para la curva límite inferior – K_{dp}	K_d	12000 (kNm/rad)
Resistencia para la curva límite inferior – M_{dp}	$0.45M_d$ - $0.65M_d$	5 (kNm)
Rigidez post-elástica para la curva límite inferior – K_{pdp}	K_{pd}	200 (kNm/rad)
Parámetro de forma para la curva límite inferior – N_{dp}	4 (-)	4 (-)
Parámetro empírico relacionado al efecto de pinching – t_{1d}	5 - 20 (-)	30 (-)
Parámetro empírico relacionado al efecto de pinching – t_{2d}	0.15 - 0.5 (-)	0.03 (-)
Parámetro empírico relacionado al efecto de pinching – C_d	1 (-)	1 (-)
Coeficiente empírico relacionado con la tasa de variación de la rigidez con el daño – i_{Kd}	3 - 25 (-)	0 (-)
Coeficiente empírico relacionado con la tasa de variación de la resistencia con el daño – i_{Md}	0.01 - 0.1 (-)	0.03 (-)
Coeficiente empírico para la definición del nivel de endurecimiento isotrópico – H_d	0.01 - 0.04 (-)	0.02 (-)
Valor máximo de deformación (rotación) alcanzado durante la historia de carga – E_{maxd}	0 - 0.2 (rad)	0.5 (rad)

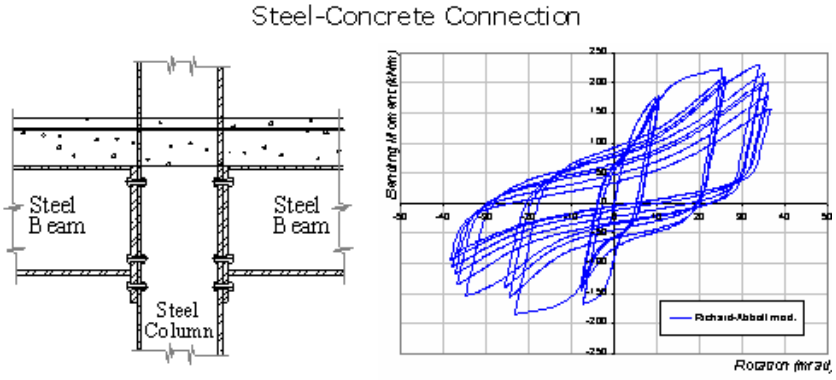
A continuación se muestran ejemplos de aplicación extraídos de Nogueiro et al. [2005a], con el fin de ilustrar la capacidad de modelado de este tipo de curva de respuesta:

NOTA: En la conexión de acero, algunos parámetros asumen valores no convencionales.

K_a=25000 K_d=25000
M_a=85 M_d=85
K_{pa}=750 K_{pd}=750
n_a=0.6 n_d=0.6
K_{ap}=25000 K_{dp}=25000
M_{ap}=45 M_{dp}=45
K_{pap}=250 K_{pdp}=250
n_{ap}=0.6 n_{dp}=0.6
t_{1a}=50 t_{1d}=50
t_{2a}=0.5 t_{2d}=0.5
C_a=1 C_d=1
i_{Ka}=0.000001 i_{Kd}=0.000001
i_{Ma}=0.03 i_{Md}=0.03
H_a=0.0000001 H_d=0.0000001
E_{maxa}=0.1 E_{maxd}=0.1



K_a=36950 K_d=40830
M_a=200 M_d=170
K_{pa}=1025 K_{pd}=1020
n_a=2.0 n_d=2.0
K_{ap}=36950 K_{dp}=40830
M_{ap}=120 M_{dp}=75
K_{pap}=1025 K_{pdp}=1020
n_{ap}=1.0 n_{dp}=1.0
t_{1a}=10 t_{1d}=15
t_{2a}=0.5 t_{2d}=0.5
C_a=1 C_d=1
i_{Ka}=20 i_{Kd}=20
i_{Ma}=0.05 i_{Md}=0.08
H_a=0.04 H_d=0.0000001
E_{maxa}=0.1 E_{maxd}=0.1

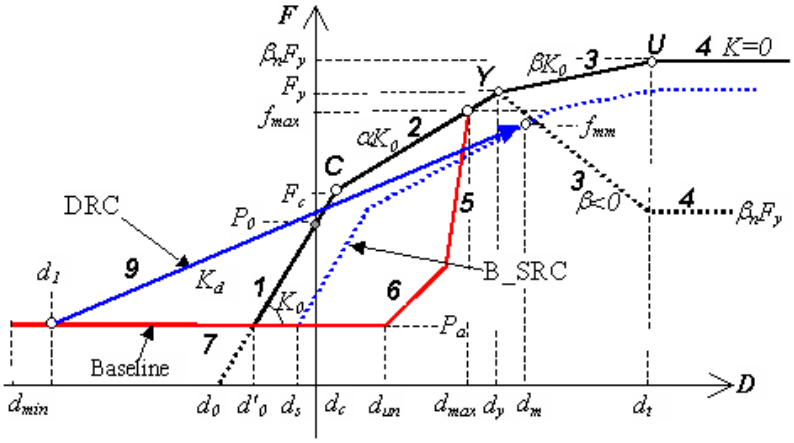


Curva de interacción suelo-estructura - ssi_py

IMPORTANTE: Este versátil modelo histerético se encuentra aún en etapa de evaluación y mayor desarrollo. Por ejemplo, esta curva ssi_py es apta sólo para la dirección fuerza-desplazamiento normal (es decir, no da cuenta de la respuesta tangencial fuerza-deslizamiento). Además, los grados de libertad no se encuentran completamente acoplados (una limitación que es también consecuencia de la actual naturaleza desacoplada de los elementos link en SeismoStruct). El tratamiento de estos temas está contemplado para futuras versiones de SeismoStruct.

Se trata de un modelo dinámico no lineal de interacción suelo-estructura (SSI), desarrollado e implementado por Allotey and El Naggar [2005a; 2005b], adecuado para el análisis de zapatas, muros de contención y pilotes sometidos a diferentes regímenes de carga (la nomenclatura seleccionada para esta curva pone en evidencia el hecho de que este modelo puede ser utilizado para llevar a cabo análisis laterales sobre pilotes, donde son comúnmente utilizadas las curvas p-y). El modelo tiene en cuenta la formación de brechas/aberturas (entre las fundaciones y el suelo circundante), con la opción de considerar también el "desplome" del suelo, presenta endurecimiento/degradación cíclico bajo cargas de amplitud variable, y puede modelar respuestas limitadas o no por las curvas principales iniciales.

La degradación/endurecimiento cíclicos debidos a la presión de poros y a los cambios volumétricos son tenidos en cuenta mediante el uso de funciones de daño elípticas implementadas dentro del marco del *modified rainflow counting algorithm* [Anthes, 1997]; se utiliza también el enfoque del *número equivalente de ciclos* [por ej., Seed *et al.* 1975; Annaki and Lee, 1977]. Por otra parte, el efecto del desplome del suelo es modelado utilizando una función hiperbólica desarrollada empíricamente.



Resulta evidente que este modelo histerético por sí solo no es suficiente para modelar un determinado sistema de fundaciones. Por lo tanto, es necesario utilizar una serie de resortes (elementos link) caracterizados por una curva *ssi_py* adecuadamente calibrada, habitualmente en conjunto con un elemento viga-columna, de forma tal de representar el sistema de fundaciones requerido. En otras palabras, esta curva de respuesta ha de ser empleada dentro de la esfera del modelo de viga sobre una fundación Winkler no lineal (BNWF), en el cual se utiliza una serie de resortes bajo la fundación, a cada uno de los cuales debe asignársele una curva de respuesta. Para una zapata, los parámetros son los mismos para todos los resortes, mientras que para un pilote o muro de sostenimiento los parámetros cambian con la profundidad, debido al incremento de la sobrecarga.

Por otra parte, es posible asignar un valor de amortiguamiento viscoso al elemento tipo link con el fin de representar de alguna forma los efectos del amortiguamiento por radiación (esto será similar a introducir un elemento dashpt en paralelo al resorte que modela el suelo). Los usuarios pueden consultar la literatura [por ej., Wolf, 1994; Allotey and El Naggar, 2005b] por indicaciones respecto a cómo calcular los valores apropiados de amortiguamiento, en función de las características vibratorias del sistema suelo-estructura. Habitualmente, si el período de vibración del sistema suelo-estructura es menor que aquel del sitio, los efectos del amortiguamiento por radiación pueden considerarse despreciables.

Para caracterizar esta curva de respuesta, es necesario definir diecinueve parámetros:

Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Rigidez inicial – **K_0**	-	10000 (kNm/rad)
Razón de resistencia del suelo al final de la primera rama – **F_c**	0 - 1 (-)	0.5 (-)
Resistencia de cadencia del suelo – **F_y**	-	100 (kNm)
Razón de fuerza inicial para desplazamiento nulo – **P_0**	0 - 0.9	0 (-)
Razón de fuerza mínima en la línea de base – **P_a**– 0 Razón de fuerza de corte lateral – **f_s**	$0 \le P_a \le P_0$; $P_a \le \beta_n F_y$; $P_a \le F_c$ $0 \le f_s \le 0.9$	0 (-)
Razón de rigidez de la segunda rama – **α**	0.001 - 1 (-)	0.5 (-)
Factor de rigidez de descarga – **α_N**	-	1 (-)
Razón de rigidez de cedencia – **β**	-	0 (-)
Razón de la resistencia última del suelo – **β_N**	-	1 (-)
Combinación de los ajustes de marcadores – **Flg**	Ver Sistema de Ayuda	31 (-)
Razón de rigidez inicial DRC – **e_{p1}**		1 (-)

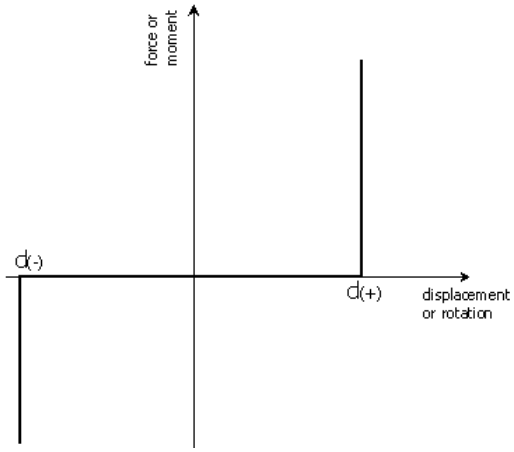
Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Parámetro de la fuerza de abertura (gap) – p_1		1 (-)
Parámetro de desplome del suelo – p_2		0 (-)
Parámetro de degradación/endurecimiento de la rigidez – p_k		1 (-)
Parámetro de degradación/endurecimiento de la rigidez – e_k		1 (-)
Parámetro de degradación/endurecimiento de la resistencia – p_s		1 (-)
Parámetro de degradación/endurecimiento de la resistencia – e_s		1 (-)
Pendiente de la curva S-N – k_s		0.1 (-)
Esfuerzo del suelo correspondiente al punto S1 en la curva S-N – f_0		200 (-)

NOTA 1: Es muy posible que futuras versiones de SeismoStruct introduzcan una forma significativamente más amigable de calibrar/ajustar los parámetros de esta curva de respuesta, mediante el uso de menúes desplegables y/o botones de selección para especificar las diferentes opciones de modelado.

NOTA 2: En los últimos años se ha propuesto un enfoque alternativo para el modelado de sistemas de fundación, que consiste en el empleo de un modelo macro V-H-M (vertical-horizontal-rotación) completamente acoplado [por ej., Cremer at al, 2002]. Este modelo utiliza sólo un elemento para modelar toda la respuesta de la fundación y está basado sobre una formulación plástica de la superficie de fluencia. Aunque se trata, sin dudas, de un enfoque prometedor para el modelado de la interacción suelo-estructura, se considera que, dado el estado actual de desarrollo y práctica, el tradicional método BNWF, implementado actualmente en SeismoStruct mediante la utilización de la poderosa curva de respuesta *ssi_py*, provee al usuario todas las funcionalidades necesarias para el modelado adecuado de la interacción estática y, sobre todo, dinámica entre suelos, fundaciones y estructuras.

Curva Gap/Hook - gap_hk

Se trata de una curva empleada para modelar el golpeteo/martilleo estructural, juntas de expansión, "deck restrainers", etc.



Es necesario definir cuatro parámetros:

Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Desplazamiento de Bloqueo/Activación (Locking/Engaging) en zona positiva – **d_+**	-	5 (-)
Rigidez Gap/Hook en zona positiva – **K_+**	-	1.00E+012 (-)
Desplazamiento de Bloqueo/Activación (Locking/Engaging) en zona negativa – **d_-**	-	-5 (-)
Rigidez Gap/Hook en zona negativa – **K_-**	-	1.00E+012 (-)

NOTA: Los valores de rigidez K+ y K- deben ser positivos.

Curva multi-lineal – multi_lin

Se trata de un bucle histerético poligonal, como está descrito en el trabajo de Sivaselvan and Reinhorn [1999]. Este modelo puede simular el deterioro de la resistencia, la rigidez y la adherencia entre la armadura y el concreto. Su caracterización viene dada por dos grupos de parámetros: parámetros comunes relacionados con la curva principal (los mismos que definen la curva smooth), y los parámetros específicos de las leyes histeréticas.

Es necesario definir dieciséis parámetros:

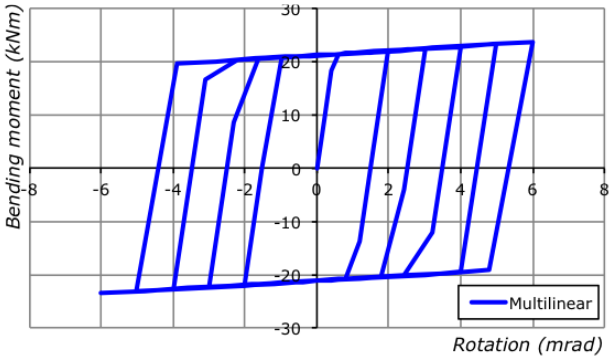
Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Rigidez inicial a flexión – **EI**	-	45400 (-)
Momento de fisuración (positivo) – **PCP**	-	10 (-)
Momento de fluencia (positivo) – **PYP**	-	22 (-)
Curvatura de fluencia (positiva) – **UYP**	-	0.002 (-)
Curvatura última (positiva) – **UUP**	-	0.006 (-)
Rigidez post-fluencia a flexión (positiva) como un proporción de la rigidez elástica **EI**	-	0.0088 (-)
Momento de fisuración (negativo) – **PCN**	-	-10 (-)
Momento de fluencia (negativo) – **PYN**	-	-22 (-)
Curvatura de fluencia (negativa) – **UYN**	-	-0.002 (-)
Curvatura última (negativa) – **UUN**	-	-0.006 (-)

Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Rigidez post-fluencia a flexión (negativa) como un proporción de la rigidez elástica **EI**	-	0.0088 (-)
Parámetro de degradación de la rigidez – **HC**	-	200 (-)
Parámetro de degradación de la resistencia basado en la ductilidad – **HBD**	-	0.001 (-)
Parámetro de degradación de la resistencia basado en la energía histerética – **HBE**	-	0.001 (-)
Parámetro de deslizamiento – **HS**	-	1 (-)
Parámetro del modelo. 0 para modelo tri-lineal, 1 para modelo bi-lineal, 2 para modelo orientado por el vértice (Vertex-oriented model)	-	-

A continuación se muestran ejemplos de aplicación, con el fin de ilustrar las potencialidades de este tipo de curva de respuesta (notar que los parámetros con recuadros han sido cambiados con respecto a sus valores por defecto):

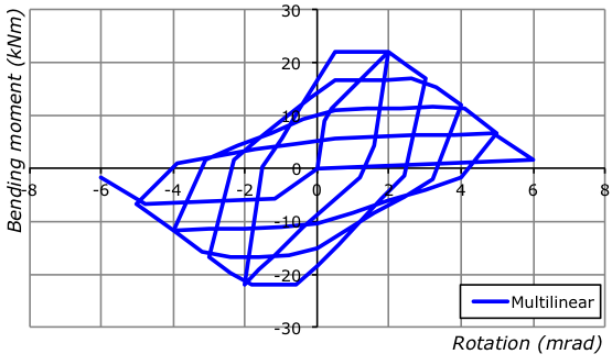
EI=45400
PCP=10
PYP=22
UYP=0.002
UUP=1
EI3P=0.0088
PCN=-10
PYN=-22
UYN=-0.002
UUN=-1
EI3N=0.0088

HC=200
HBD=0.001
HBE=0.001
HS=1
IBILINEAR=1



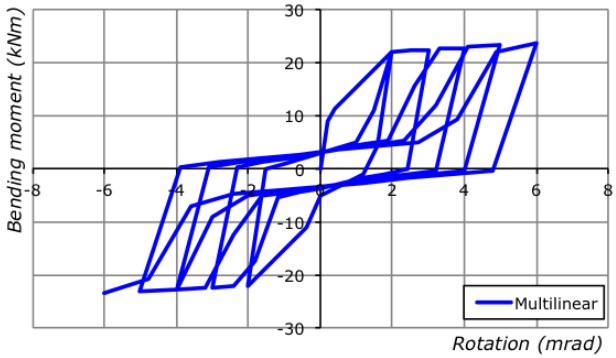
EI=45400
PCP=10
PYP=22
UYP=0.002
UUP=0.006
EI3P=0.0088
PCN=-10
PYN=-22
UYN=-0.002
UUN=-0.006
EI3N=0.0088

HC=200
HBD=1
HBE=0.001
HS=1
IBILINEAR=0



EI=45400
PCP=10
PYP=22
UYP=0.002
UUP=1
EI3P=0.0088
PCN=-10
PYN=-22
UYN=-0.002
UUN=-1
EI3N=0.0088

HC=200
HBD=0.001
HBE=0.001
HS=0.25
IBILINEAR=0



Curva smooth – smooth

Se trata del bucle histerético "smooth", como es descrito en el trabajo de Sivaselvan and Reinhorn [1999] y Sivaselvan and Reinhorn [2001]. El modelo es una variante de aquel propuesto originalmente por Bouc [1967] y modificado por otros numerosos autores (Wen [1976], Baber and Noori [1985], Casciati [1989] e Reinhorn et al. [1995]). Ha sido formulado con leyes de degradación de la rigidez y la resistencia, así como también con efecto de pinching. Para caracterizar por completo esta curva de respuesta es necesario definir veintidós parámetros, los cuales pueden agruparse en dos: los parámetros comunes (iguales que para la curva multi-lineal), relacionados con la curva principal, y los parámetros específicos de las leyes de histéresis.

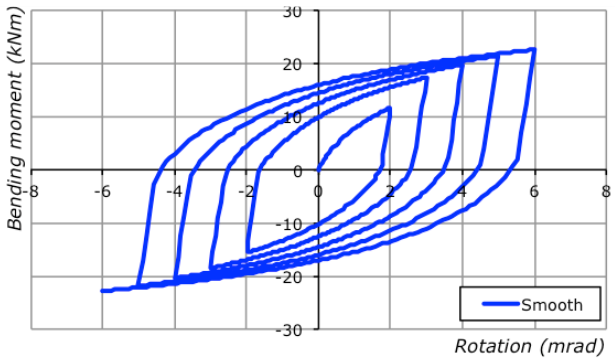
Es necesario definir veintidós parámetros:

Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Rigidez inicial a flexión – **EI**	-	45400 (-)
Momento de fisuración (positivo) – **PCP**	-	10 (-)
Momento de fluencia (positivo) – **PYP**	-	22 (-)
Curvatura de fluencia (positiva) – **UYP**	-	0.002 (-)
Curvatura última (positiva) – **UUP**	-	0.006 (-)
Rigidez post-fluencia a flexión (positiva) como % de la rigidez elástica **EI3P**	-	0.0088 (-)
Momento de fisuración (negativo) – **PCN**	-	-10 (-)
Momento de fluencia (negativo) – **PYN**	-	-22 (-)
Curvatura de fluencia (negativa) – **UYN**	-	-0.002 (-)
Curvatura última (negativa) – **UUN**	-	-0.006 (-)
Rigidez post-fluencia a flexión (negativa) como % de la rigidez elástica **EI3N**	-	0.0088 (-)
Parámetro de degradación de la rigidez – **HC**	-	200 (-)
Parámetro de degradación de la resistencia basado en la ductilidad – **HBD**	-	0.001 (-)
Parámetro de degradación de la resistencia basado en la energía histerética – **HBE**	-	0.001 (-)
Parámetro de suavidad para la transición elastoplástica – **NTRANS**	-	10 (-)
Parámetro para la forma de descarga – **ETA**	-	0.5 (-)
Parámetro de longitud de deslizamiento – **HSR**	-	0 (-)

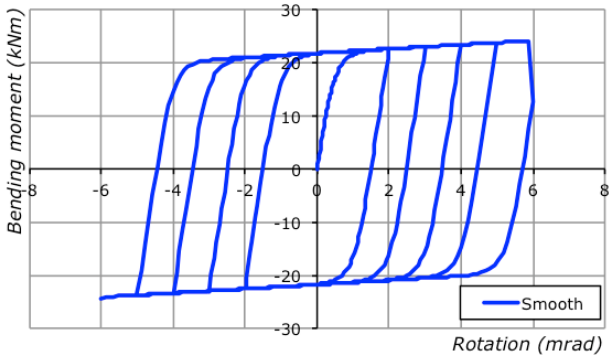
Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Parámetro de rugosidad en el deslizamiento – **HSS**	-	100 (-)
Parámetro para el nivel del momento medio de deslizamiento – **HSM**	-	0 (-)
Exponente del resorte de cerramiento de la abertura – **NGAP**	-	10 (-)
Parámetro de curvatura del cerramiento de la abertura – **PHIGAP**	-	1000 (-)
Coeficiente de rigidez del cerramiento de la abertura – **STIFFGAP**	-	1 (-)

A continuación se muestran ejemplos de aplicación, con el fin de ilustrar la capacidad de modelado de este tipo de curva de respuesta (debe notarse que los parámetros con recuadros han sido modificados respecto de sus valores por defecto):

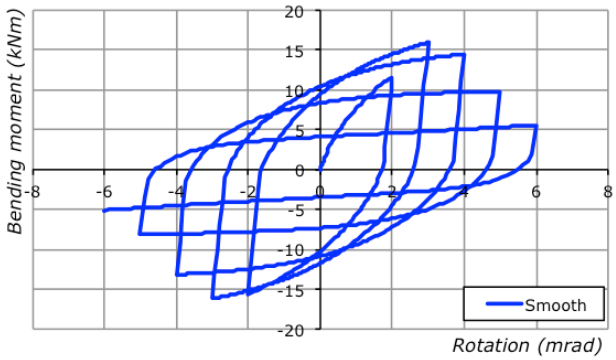
EI=45400 **HC**=200
PCP=10 **HBD**=0.001
PYP=22 **HBE**=0.001
UYP=0.002 **NTRANS**=0.1
UUP=0.006 **ETA**=0.5
EI3P=0.0088 **HSR**=0
PCN=-10 **HSS**=100
PYN=-22 **HSM**=0
UYN=-0.002 **NGAP**=10
UUN=-0.006 **PHIGAP**=1000
EI3N=0.0088 **STIFFGAP**=1



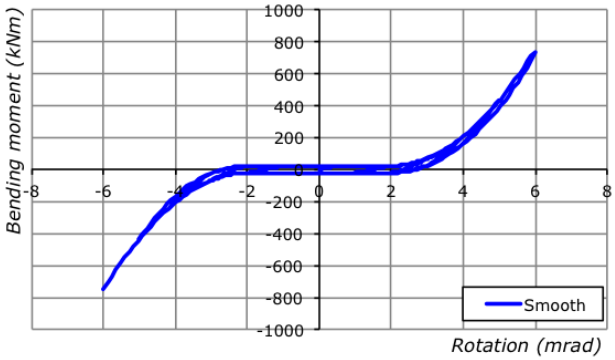
EI=45400 **HC**=200
PCP=10 **HBD**=0.001
PYP=22 **HBE**=0.001
UYP=0.002 **NTRANS**=2
UUP=0.006 **ETA**=0.5
EI3P=0.0088 **HSR**=0
PCN=-10 **HSS**=100
PYN=-22 **HSM**=0
UYN=-0.002 **NGAP**=10
UUN=-0.006 **PHIGAP**=1000
EI3N=0.0088 **STIFFGAP**=1



EI=45400 **HC**=200
PCP=10 **HBD**=0.001
PYP=22 **HBE**=0.5
UYP=0.002 **NTRANS**=0.1
UUP=0.006 **ETA**=0.5
EI3P=0.0088 **HSR**=0
PCN=-10 **HSS**=100
PYN=-22 **HSM**=0
UYN=-0.002 **NGAP**=10
UUN=-0.006 **PHIGAP**=1000
EI3N=0.0088 **STIFFGAP**=1

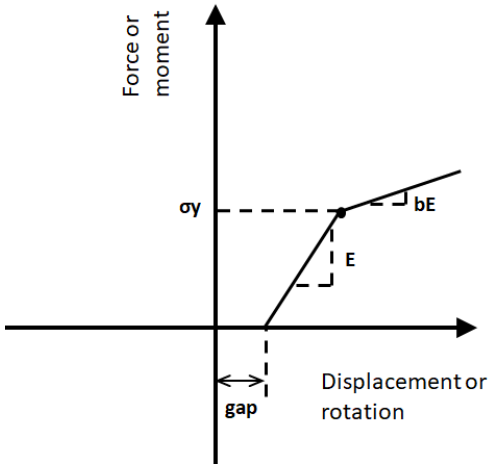


EI=45400	**HC**=200
PCP=10	**HBD**=0.001
PYP=22	**HBE**=0.001
UYP=0.002	**NTRANS**=0.5
UUP=0.006	**ETA**=0.5
EI3P=0.0088	**HSR**=0
PCN=-10	**HSS**=100
PYN=-22	**HSM**=0
UYN=-0.002	**NGAP**=2
UUN=-0.006	**PHIGAP**=0.002
EI3N=0.0088	**STIFFGAP**=2



Curva Elástica – Perfectamente Plástica con Separación - Gap_elpl

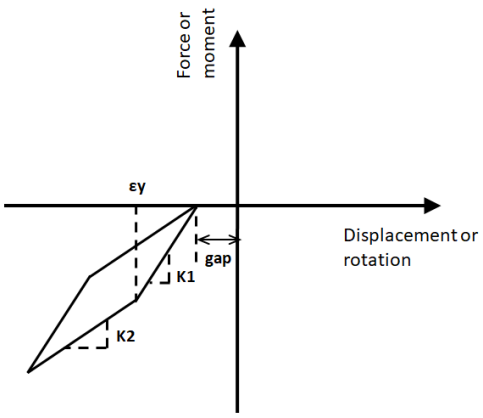
La curva Gap_elpl se caracteriza por un esfuerzo cero hasta que la deformación supere el valor de la separación inicial y un comportamiento perfectamente elástico después hasta el punto de fluencia. Después del punto de fluencia, la curva entra en la región de la plasticidad. El endurecimiento cinemático también está disponible. Deben definirse cuatro parámetros para describir completamente las características mecánicas de la curva:



Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Módulo de Elasticidad – **E**	-	100 (-)
Esfuerzo de Fluencia – **σy**	-	200 (-)
Distancia de Separación	-	0.4 (-)
Razón entre la rigidez post fluencia y larigidez inicial	-	0.1(-)

Curva de respuesta al impacto – pound_hz

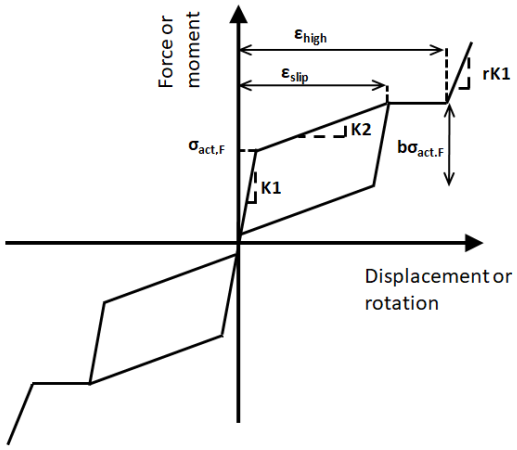
La curva de respuesta al impacto es descrita por Muthukumar y DesRoches [2006] y se basa en la Ley de Herz. El modelo se puede utilizar para modelar eventos de impacto y golpes entre estructuras oscilantes. El modelo se caracteriza por un esfuerzo de compresión después del cierre de la separación inicial entre los dos miembros incluidos en el evento de golpeteo. Se deben definir cuatro parámetros para el modelo:



Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Rigidez Inicial– **K1**	-	30(-)
Rigidez Post Fluencia – **K2**	-	2.6 (-)
Desplazamiento de Fluencia – **εy**	-	0.02 (-)
Distancia de Separación – **gap**	-	0.005 (-)

Curva de Respuesta de Riostra Autocentrante - SCB

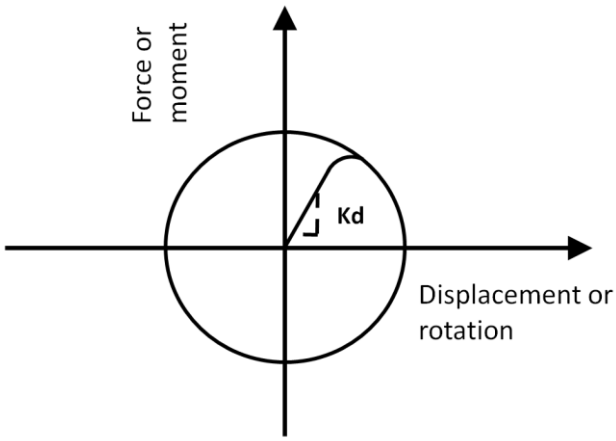
La curva de respuesta de la riostraautocentrante (SCB) es una curva de respuesta uniaxial que modela el comportamiento de las riostras de disipación de energía autocentrantes. El modelo es descrito por Christopoulos et al. (2008) El modelo SCB se asemeja a los modelos 'Flag-Shaped' ordinarios pero brinda la oportunidad de incluir dos características adicionales que consisten en un deslizamiento no recuperable de un fusible de fricción externo disponible por la estructura de la riostra y un fuerte aumento de la rigidez de la riostra a altas deformaciones. En total, se deben definir siete parámetros para el modelo:



Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Rigidez Inicial – **K1**	100000 – 2000000 (kN/m)	200000 (kN/m)
Rigidez Post Fluencia – **K2**	10000- 50000 (kN/m)	12000 (kN/m)
Fuerza de Activación – $\sigma_{act,F}$	200 – 2000 (kN)	200 (kN)
Razón entre la fuerza de activación hacia adelante y hacia atrás – **b**	-	0.5
Desplazamiento de deslizamiento – $\varepsilon_{,slip}$	0-0.01(m)	0 (m)
El desplazamiento al comienzo del aumento de la rigidez – $\varepsilon_{,high}$	-	0.3 (m)
Razón de rigidez aumentada a rigidez inicial – **r**	1.5-2	1.5

Amortiguador Viscoso – vsc_dmp

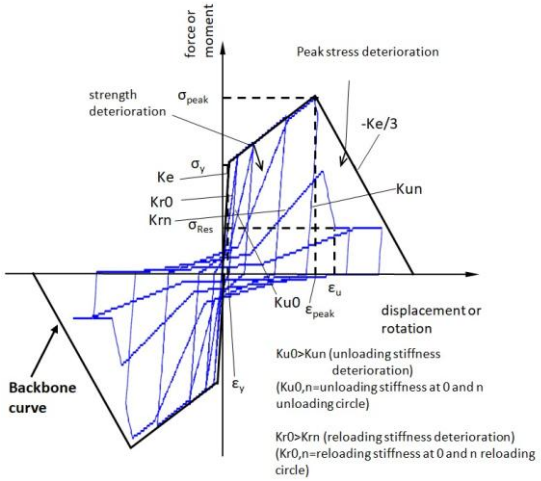
La curva de respuesta del amortiguador viscoso (vsc_dmp) es una curva de respuesta uniaxial que modela el comportamiento de un amortiguador viscoso no lineal. El modelo del Amortiguador Viscoso consiste en un resorte lineal y un disipador conectados en serie y se basa en el modelo del derivado fraccional de Maxwel descrito por Makris y Constantinou [1991]. En total, se deben definir cuatro parámetros para el modelo:



Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Rigidez Inicial – K_d	1000 – 400000 (kN/m)	200000 (kN/m)
Constante de Amortiguamiento – C_d	20-5000 (kN/(m/s)$^\alpha$)	1200 (kN/(m/s)$^\alpha$)
Exponente de Velocidad – α	0 - 1	0.4
Tolerancia del Pin– **s**	-	0 (m)

Curva Genérica Histerética– Gen_Hyst

Gen_Hyst es una curva de respuesta uniaxial genérica caracterizada por el efecto pellizco(pinching) (controlado por un factor de pellizcocon valores de 0 para no pellizcoa 1 para pellizcoalto) y por cuatro modos de deterioro que incluyen deterioro de resistencia, deterioro de tensión máxima, recarga y deterioro de rigidez de descarga. Todos los modos de deterioro están controlados por el factor de deterioro (con valores de 0 para no deterioro a 1 para alto deterioro). Una curva principal inicial que consiste en el punto de fluencia, el punto de tensión máxima y la resistencia residual se define inicialmente y se deteriora después de cada incidente de descarga.

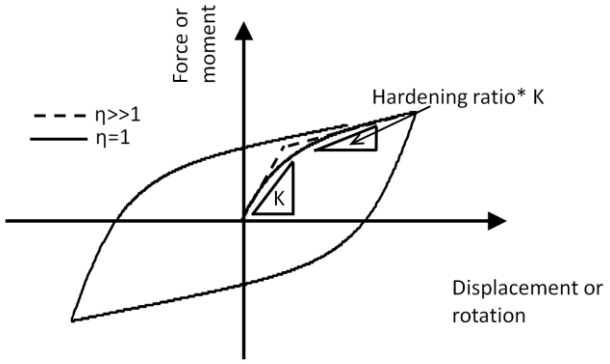


Se necesitan once parámetros para describir las características mecánicas del material. Los pares de esfuerzo y deformación que definen la curva principal inicial deben darse en orden ascendente

Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Rigidez Elástica – $\mathbf{K_e}$	-	12000 (-)
Esfuerzo de Fluencia en dirección positiva – $\sigma_{y,pos}$	-	300 (-)
Esfuerzo de Fluencia en dirección negativa – $\sigma_{y,neg}$	-	300 (-)
Deformación Máxima en dirección positiva – $\varepsilon_{peak,pos}$	-	0.3 (-)
Esfuerzo Máximo en dirección positiva – $\sigma_{peak,pos}$	-	500 (-)
Deformación Máxima en dirección negativa – $\varepsilon_{peak,neg}$	-	0.3 (-)
Esfuerzo Máximo en dirección negativa – $\sigma_{peak,neg}$	-	500 (-)
Resistencia residual en dirección positiva – $\sigma_{Res,pos}$	-	120 (-)
Resistencia residual en dirección negativa – $\sigma_{Res,neg}$	-	120 (-)
Factor de pellizco (efecto de pinching) – **FPinch**	0-1	0.5 (-)
Factor de deterioro – **FDet**	0-1	0 (-)

Curva Bouc Wen– Bouc_Wen

La curva Bouc_Wen se basa en el modelo de histéresis propuesto por Bouc [1967] y modificado por Wen [1976]. En total, se deben definir cinco parámetros para el modelo que son la rigidez de la curva inicial, la razón de endurecimiento, el parámetro η que controla la suavidad de la curva, el parámetro A que controla la amplitud de histéresis y los parámetros β y γ que controlan la forma de la histéresis curva.



Propiedades de Curva	Valores típicos	Valores por defecto
Razón de Endurecimiento	-	0.2(-)
Rigidez Inicial (K)	-	210000 (-)
η – parámetro que controla la transición del comportamiento elástico al plástico	-	1.00
γ – parámetro que afecta la forma del ciclo de histéresis	-	0.50
β - parámetro que afecta la forma del ciclo de histéresis	-	0.50
A – parámetro que controla la amplitud de histéresis	-	1.00

Apéndice H–Códigos

Apéndice H1 - EUROCODIGOS

En este apéndice se presentan los parámetros usados para la evaluación de estructuras de acuerdo con los eurocódigos (EC8-Parte1 y Parte3)

CRITERIOS DE DESEMPEÑO

De acuerdo con EN1998-3 sección 2.1, se refiere como requisitos desempeño al estado del daño de la estructura definido en tres estados límite, que son Cercano al Colapso (NC), Daño Significativo (SD) y Limitación del Daño (DL).

Estado Límite Cercano al Colapso (NC)

El estado límite Cercano al Colapso (NC) puede seleccionarse, de acuerdo con EN 1998-3, cuando el estado de daño meta de la estructura es cercano al colapso y probablemente no pueda sobrevivir otro terremoto, aún si fuera de intensidad moderada. La estructura queda altamente dañada con poca resistencia y capacidad de carga lateral residual, aunque los elementos verticales aún son capaces de soportar las cargas verticales. La mayoría de los componentes no estructurales and colapsado y se presentan derivas residuales. El nivel apropiado de protección se alcanza al escoger una acción sísmica con un periodo de retorno de 2,475 años correspondientes a una probabilidad de excedencia de 2% en 50 años.

Estado Límite de Daño Significativo (SD)

El estado límite de Daño Significativo (SD) puede seleccionarse, de acuerdo con EN 1998-3, cuando el estado meta de daño de la estructura es significativo y puede soportar réplicas de intensidad moderada, aunque no sea económicamente viable llevar a cabo reparaciones. Existe aún resistencia y rigidez lateral residual, y los elementos verticales son capaces de soportar las cargas verticales. Los componentes estructurales han sido dañados, aunque particiones y rellenos aún no han fallado fuera del plano. Hay deformaciones permanentes moderadas. El nivel apropiado de protección se alcanza escogiendo una acción sísmica con un periodo de 475 años correspondiente a una probabilidad de excedencia de 10% en 50 años.

Estado Límite de Limitación del Daño (DL)

El estado límite de Limitación del Daño (DL) puede seleccionarse, de acuerdo con EN 1998-3, cuando el estado meta de daño de la estructura es insignificante y no necesita medidas de reparación. La estructura solo sufre daño ligero, con algunos elementos estructurales sin sufrir cedencia y reteniendo sus propiedades de resistencia y rigidez. Los componentes no estructurales, como particiones y rellenos pueden mostrar agrietamiento distribuido, pero el daño es económicamente reparable. Las deformaciones permanentes son despreciables. El nivel apropiado de protección se consigue escogiendo una acción sísmica con un periodo de retorno de 225 años, correspondiente a una probabilidad de excedencia de 20% en 50 años.

Los anexos en los Eurocódigos Nacionales especifican si es necesario usar los tres Estados Límite, dos de ellos, o uno solamente.

INFORMACIÓN PARA LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

Para poder escoger el tipo de análisis admisible y el factor de confianza apropiado, se definen los siguientes tres niveles de conocimiento:

- KL1: Conocimiento Limitado
- KL2: Conocimiento Normal
- KL3: Conocimiento Completo

Los factores determinando el nivel de conocimiento adquirido son: (i) geometría, p. ej. las propiedades geométricas del sistema estructural y los elementos nos estructurales, como los relleno de mampostería; (ii) detalles, que pueden incluir la cantidad y el detallado del refuerzo en secciones reforzadas de concreto, la conexión de los diafragmas de piso al sistemas de sismo resistencia, las juntas y el mortero entre la mampostería y la naturaleza de los elementos de refuerzo en la mampostería; y finalmente (iii) materiales, que es las propiedades mecánicas de los materiales constituyentes.

KL1: Conocimiento Limitado

El conocimiento limitado corresponde al estado del conocimiento donde la geometría estructural en general y los tamaños de los miembros son conocidos gracias a la inspección o a partir de planos de construcción originales usados para la construcción original y las modificaciones subsecuentes, además de suficientes muestras de dimensiones de geometría general y el tamaño de los miembros revisados en sitio. En caso de discrepancias entre los planos, una inspección dimensional más completa se lleva a cabo. Los detalles estructurales no se determinan a partir de dibujos de construcción detallados y se asumen basándose en diseño simulado de acuerdo con las prácticas usuales empleadas en la época de la construcción. Inspecciones limitadas se llevan a cabo en los elementos más críticos y deberían probar que lo asumido corresponde a la situación actual. Información sobre las propiedades mecánicas de los materiales de construcción no está disponible así que los valores preestablecidos se asumen de acuerdo con los estándares de la época de construcción, acompañados por pruebas in-situ de los elementos más críticos.

La evaluación estructural basada en este estado de conocimiento se lleva a cabo a través de métodos de análisis lineales ya sean estáticos o dinámicos.

KL2: Conocimiento Normal

El nivel normal de conocimiento corresponde al estado del conocimiento donde la geometría estructural general y los tamaños de los miembros se conocen a partir de inspecciones extendidas o a partir de planos constructivos usados en la construcción original y modificaciones subsecuentes, así como suficientes muestras de las dimensiones de la geometría general y el tamaño de los elementos. Los detalles estructurales son conocidos gracias a una inspección in-situ extensiva o a partir de detalles constructivos incompletos en combinación con inspecciones in-situ limitadas en los elementos más críticos, que confirman que la información disponible corresponde a la situación actual. Información sobre las propiedades mecánicas de los materiales de construcciónestá disponible a partir de las pruebas in situ extendidas o a partir de especificaciones del diseño original y pruebas en in-situ limitadas.

La evaluación estructural basada en este estado de conocimiento se lleva a cabo a través de métodos de análisis lineales o no lineales, ya sean estáticos o dinámicos.

KL3: Conocimiento Completo

El nivel de conocimiento completo corresponde al estado del conocimiento donde la geometría estructural en general y el tamaño de los miembros son conocidos gracias inspecciones exhaustivas o a partir de planos de construcción usados en la construcción original y las modificaciones consecuentes, así como suficientes muestras de la geometría general y el tamaño de los miembros. Los detalles estructurales son conocidos gracias a una inspección in-situ exhaustiva o a partir del set completo de planos de construcción en combinación con inspecciones in-situ limitadas en los elementos más críticos,

que prueban que la información disponible corresponde con la situación actual. Información sobre las propiedades mecánicas de los materiales de construcción está disponible a partir de pruebas in-situ exhaustivas o a partir de reportes originales sobre pruebas realizadas in-situ.

La evaluación estructural basada en este estado de conocimiento se lleva a cabo a través de métodos de análisis lineales o no lineales, ya sean estáticos o dinámicos.

Factores de Confianza (CF)

En la tabla siguiente del EN1998-3 un resumen y las recomendaciones para los factores de confianza y los métodos de análisis se proveen para cada nivel de conocimiento.

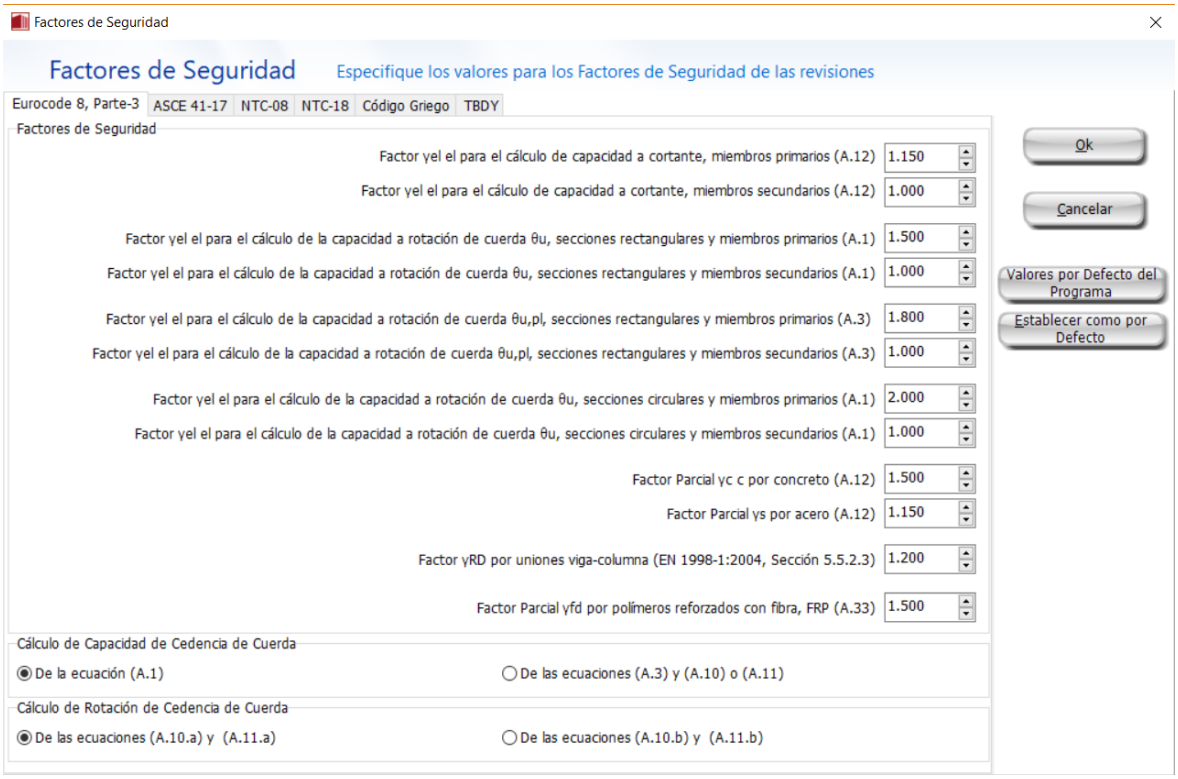
Nivel de Conocimiento	Geometría	Detalles	Materiales	Análisis	CF
KL1	A partir de planos originales constructivos, con inspección **visual** de una muestra **o** con inspección **completa**	Diseño simulado de acuerdo con las practicas relevantes **y** a partir de inspección in-situ **limitada**	Valores predefinidos de acuerdo con los estándares de la época de construcción **y** a partir de pruebas in-situ **limitadas.**	LF-MRS	CF_{KL1}
KL2		A partir de planos constructivos originales incompletos con inspección in-situ **limitada o** a partir de pruebas in-situ **extensivas.**	De especificaciones originales de diseño con pruebas in-situ **limitadas o** a partir de pruebas in-situ **extensivas.**	Todos	CF_{KL2}
KL3		A partir de planos constructivos originales detallados con inspección in-situ **limitada o** a partir de pruebas in-situ **exhaustivas.**	De reportes de pruebas originales con pruebas in-situ **limitadas o** a partir de pruebas in-situ **exhaustivas.**	Todos	CF_{KL3}

NOTA: Los valores adscritos a los factores de confianza que se deben usar en un país pueden encontrarse en su Anexo Nacional. Los valores recomendados son CFKL1=1,35, CFKL2=1,20 and CFKL3=1,00.

Tabla 3.1 del EN 1998-3

Factores de Seguridad

Los valores de los factores de seguridad y las expresiones de código empleadas pueden especificarse a través de la ventana de dialogo que se abre con el botón correspondiente. Debe notarse que los valores predefinidos para los factores de seguridad son los establecidos en el Eurocódigo 8 –Parte 3.



Módulo de Factores de Seguridad

Modelos de Capacidad para Evaluaciones y Revisiones

Todas las revisiones en los miembros (capacidad de rotación de cuerda y capacidad a cortante) deben llevarse a cabo para todos los elementos en todos los pisos, de acuerdo con el Anexo A del EN1998-3:20, considerando todos los miembros como elementos sísmicos primarios o secundarios, diseñados de acuerdo con las definiciones en el EN1998-1:2004, 4.2.2(1)P, (2) y (3).

Capacidad de Deformación

La capacidad de deformación de las vigas, columnas y muros se define en términos de la rotación de cuerda θ, que es el ángulo entre la tangente del eje en el extremo donde ocurre la cedencia y la cuerda conectando ese extremo con el extremo del tramo a cortante (L_V=M/V=momento/cortante en la sección del extremo). La rotación de cuerda también es igual la razón de deriva del elemento, que es la deflexión en el extremo del tramo a cortante con respecto a la tangente del eje en el extremo de cedencia dividida entre el tramo a cortante.

La capacidad de deformación de las vigas y las columnas está altamente influenciada por la falta de detallado sísmico adecuado en el refuerzo longitudinal, así como también por el tipo de varillas, si la varilla es lisa o corrugada y/o si el acero trabajo en frío y frágil. Desarrollo inadecuado del traslape a lo largo del claro de una viga o la altura de una columna, así como confinamiento inadecuado en las uniones viga-columna pueden controlar la respuesta del miembro ante acciones sísmicas, drásticamente limitando su capacidad con respecto a la situación en la cual el refuerzo se considera completamente efectivo. Las limitaciones mencionadas ante la capacidad de deformación se toman en consideración.

El valor de la rotación de cuerda para el estado límite del colapso cercano (NC) es el valor de la rotación de cuerda total última (parte elástica más la inelástica) de los miembros de concreto bajo cargas cíclicas, la cual se calcula con las ecuaciones (A.1) y (A.3) del EC8: Parte 3 (CEN, 2005b):

$$\theta_{um} = \frac{1}{\gamma_{el}} \cdot 0{,}016 \cdot (0{,}3^{\nu}) \left[\frac{\max(0{,}01;\omega')}{\max(0{,}01;\omega)} f_c\right]^{0{,}225} \cdot \left(\min\left(9, \frac{L_V}{h}\right)\right)^{0{,}35} 25^{\left(\alpha\rho_{sx}\frac{f_{yw}}{f_c}\right)} (1{,}25^{100\rho_d})$$

(A.1) EC8: Parte 3

Donde γ_{el} es igual al 1,5 para los elementos sísmicos primarios, igual a 1,0 para los elementos sísmicos secundarios, y L_V es la razón entre el momento de flexión, M, y la fuerza cortante V. Los parámetros restantes se definen en la sección A.3.2.2 del EC8: Parte 3.

Para muros, el valor dado en la ecuación (A.1) se multiplica por 0.58.

La rotación de cuerda total última de los miembros de concreto bajo carga cíclica también puede calcularse como la sumatoria de la capacidad de rotación en la cedencia, y la parte plástica de la capacidad de rotación, calculada con la ecuación siguiente:

$$\theta_{um}^{pl} = \theta_{um} - \theta_y = \frac{1}{\gamma_{el}} \cdot 0{,}0145 \cdot (0{,}25^{\nu}) \left[\frac{\max(0{,}01;\omega')}{\max(0{,}01;\omega)}\right]^{0{,}3} \cdot f_c{}^{0{,}2} \cdot \left(\min\left(9, \frac{L_V}{h}\right)\right)^{0{,}35} 25^{\left(\alpha\rho_{sx}\frac{f_{yw}}{f_c}\right)} (1{,}275^{100\rho_d})$$

(A.3) EC8: Parte 3

Donde γ_{el} es igual a 1,8 para los elementos sísmicos primarios, 1,0 para los secundarios; la rotación en la cedencia θ_y, se calcula de acuerdo con la sección A.3.2.4 del EC8: Parte 3 y los parámetros restantes están definidos en la sección A.3.2.2 del EC8: Parte 3.

En los muros, el valor θ_{um}^{pl} dado por la ecuación (A.3) se multiplica por 0,6.

La capacidad de rotación de cuerda correspondiente al estado límite del daño significativo (SD) se asume como ¾ de la rotación de cuerda última, calculada con las ecuaciones anteriores.

La capacidad de rotación de cuerda que corresponde al estado límite de daño limitado (DL) está dada por la rotación de cuerda en la cedencia, evaluada como:

Para vigas y columnas rectangulares:

$$\theta_y = \varphi_y \frac{L_V + \alpha_V z}{3} + 0{,}0014\left(1 + 1{,}5\frac{h}{L_V}\right) + \frac{\varepsilon_y}{d-d'}\frac{d_{bL} f_y}{6\sqrt{f_c}} \qquad \text{(A.10a) EC8: Parte 3}$$

Para paredes o secciones rectangulares en forma de T:

$$\theta_y = \varphi_y \frac{L_V + \alpha_V z}{3} + 0{,}0013 + \frac{\varepsilon_y}{d-d'}\frac{d_{bL} f_y}{6\sqrt{f_c}} \qquad \text{(A.11a) EC8: Parte 3}$$

O a partir de expresiones alternativas equivalentes para las vigas y las columnas rectangulares:

$$\theta_y = \varphi_y \frac{L_V + \alpha_V z}{3} + 0{,}0014\left(1 + 1{,}5\frac{h}{L_V}\right) + \varphi_y \frac{d_{bL} f_y}{8\sqrt{f_c}} \qquad \text{(A.10b) EC8: Parte 3}$$

Para paredes o secciones rectangulares en forma de T:

$$\theta_y = \varphi_y \frac{L_V + \alpha_V z}{3} + 0{,}001 \qquad \text{(A.11b) EC8: Parte 3}$$

Donde α_V es igual a cero si el momento de flexión es menor que L_V multiplicado por la resistencia a cortante del concreto– $V_{R,c}$ - y 1.0 si no lo es. V_R, se calcula de acuerdo con las provisiones EN1992-1-1:2004 para elementos de concreto sin refuerzo a cortante. Los parámetros restantes se definen en la sección A.3.2.4 del EC8: Parte 3.

La curvatura de cedencia en la sección del extremo se calcula de acuerdo con las siguientes expresiones para aquellas secciones cuya zona de compresión es de ancho constante y para el caso de que la cedencia de la sección se deba a que el acero ha fluido:

$$\varphi_y = (1/r)_y = \frac{f_y}{E_s(1-\xi_y)d}$$

Si la sección ha fluido debido a deformaciones inelásticas del concreto en compresión, es decir, por deformación de fibra en el extreme en compresión es mayor que $\varepsilon_c \approx 1.8\, f_c/E_c$, entonces la curvatura de cedencia se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\varphi_y = (1/r)_y = \frac{\varepsilon_c}{\xi_y d} \approx \frac{1.8 f_c}{E_c \xi_y d}$$

El valor menor de los dos valores anteriores se usa para el cálculo de la capacidad de rotación de acuerda.

De acuerdo con el Anexo A del EN1998-3 la capacidad de rotación de cuerda estáaltamente influenciada por varios factores diferentes tales como el tipo de varillas de refuerzo longitudinales. Si se utiliza acero forjado en frio la rotación de cuerda plástica se divide entre 2, mientras que si se utilizan varillas de refuerzo lisas, entonces la sección A.3.2.2(5) del Anexo A se debe utilizar, tomando también en consideración si las varillas longitudinales tienen traslape adecuado o no.

En el caso de miembros con falta de detallado sísmico apropiado los valores dados por las expresiones (A.1) y (A.3) se dividen por 1.2. Además, si las varillas longitudinales deformadas tienen los extremos rectos, traslapados al inicio de la sección extrema del miembro, la parte plástica de la rotación de cuerda se calcula con el valor del refuerzo a compresión, ω', al doble sobre el valor aplicado fuera de la región de traslape. En secciones donde la longitud de traslape entre secciones l_o es menor que la longitud de traslape mínima para alcanzar la deformación ultima $l_{ou,min}$, la parte de la rotación de cuerda plástica, dada por la ecuación (A.3) EC8: Parte 3, se multiplica por la razón $l_o/l_{ou,min}$. Para más información sobre el cálculo de $l_{ou,min}$ puede referirse a A.3.2.2(4) del Anexo A, mientras que el valor de rotación de cuerda de cedencia, θ_y toma en cuenta el efecto de traslape de acuerdo con e A.3.2.4(3) del Anexo A.

En el caso de columnas circulares, las ecuaciones anteriores no pueden utilizarse para el cálculo de la capacidad de rotación de cuerda de los elementos. En SeismoStruct, la siguiente ecuación sugerida por D. Biskinis y M.N. Fardis [2013] se utiliza para θ_y y θ_u.

$$\theta_y = \varphi_y \frac{L_V + \alpha_V z}{3} + 0.0027\left(1 - \min\left(1; \frac{2}{15}\frac{L_s}{D}\right)\right) + \alpha_{sl}\frac{\varphi_y d_{bL} f_y}{8\sqrt{f_c}}$$

Donde los valores de f_y y $f_c$están en MPa, α_V=1 si V_{Rc}<V_{My}, V_{Rc} se calcula a partir del Eurocódigo 2 (CEN 2004), de otra forma α_V=0, y α_{sl}=0 si el deslizamiento de las varillas a tensión en las zonas de anclaje más allá del extremo en cedencia es físicamente imposible, si no α_{sl}=1

$$\theta_u = \left(\theta_y + (\varphi_u - \varphi_y) L_{pl}\left(1 - 0.5\, L_{pl}/L_s\right) + \alpha_{sl}\Delta\theta_{u,slip}\right)/\gamma_{el}$$

Donde γ_{el} es igual a 2.0 para los elementos sísmicos primarios y a 1.0 para los elementos secundarios, $\Delta\theta_{u,slip}$ y L_{pl} se calculan de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$\Delta\theta_{u,slip} = 10 d_{bl}\left(\varphi_u + \varphi_y\right)/2$$

$$L_{pl} = 0.6D\left[1 + \frac{1}{6}\min\left(9; \frac{L_s}{D}\right)\right]$$

Se recomienda a los usuarios referirse a las publicaciones relevantes sobre la definición de los demás parámetros para obtener más detalles sobre la expresión.

Miembros Encamisados

Se hacen las siguientes suposiciones para poder evaluar las capacidades de deformación de las secciones encamisadas de acuerdo con el Anexo A del EN1998-3:2005: (i) los elementos encamisados se comportan monolíticamente, (ii) la carga axial completa se asume actuando en el miembro encamisado, sin importar el hecho de que la carga axial se aplica originalmente en la columna existente, y (iii) las propiedades del concreto encamisado se asumen aplicadas en toda la sección del elemento.

El valor de la capacidad de rotación de acuerda de los miembros encamisados se adopta en las verificaciones de capacidad dependiendo de los valores correspondientes calculados bajo los puntos asumidos anteriormente, adaptados a las siguientes ecuaciones del Anexo A del EN1998-3:2005:

El momento de fluencia:

$$M_y^* = M_y \qquad \text{(A.18) EC8: Parte 3}$$

La rotación de cuerda en la fluencia:

$$\theta_y^* = 1.05\theta_y \qquad \text{(A.19a) EC8: Parte 3}$$

La rotación de cuerda última:

$$\theta_u^* = \theta_u \qquad \text{(A.20) EC8: Parte 3}$$

Envolturas FRP

La contribución de la envoltura FRP a la capacidad de los miembros se toma en consideración, de acuerdo con el Anexo A del EN1998-3:2005, como se describe a continuación:

El efecto de la envoltura FRP a la capacidad a flexión del miembro en la cedencia se desprecia, con θy calculada de acuerdo con A3.2.1(2) a (4).

La capacidad total de rotación de acuerda y la parte plástica de los miembros de secciones rectangulares con esquinas redondeadas se calcula a través de las expresiones (A.1) y (A.3), respectivamente, con el exponente del término de confinamiento incrementado por $\alpha\rho_f f_{f,e}$, donde α es el factor de efectividad del confinamiento, ρ_f la razón FRP paralela a la dirección de la carga y $f_{f,e}$ el esfuerzo efectivo dado por la ecuación (A.35) del EC8: Parte 3.

Capacidad de Momento Flector

La capacidad de momento flector de vigas, columnas y muros con sección prismática se calcula según el párrafo 4.1 de D. Biskinis y M.N. Fardis (2009), mientras que para la capacidad de momento flector de columnas circulares párrafo 4 de Biskinis y M.N. Fardis (2013) está empleado.

Capacidad a Cortante

La capacidad a cortante de vigas, columnas y muros se calcula a través de lasiguienteexpresión de acuerdo con el Anexo A del EN1998-3:2005, y está controlada por los estribos, tomando en cuenta la reducción debido a la parte plástica de la demanda de ductilidad.

$$V_R = \frac{1}{\gamma_{el}}\left[\frac{h-x}{2L_V}\min(N; 0{,}55A_c f_c) + \left(1 - 0{,}05\min\left(5; \mu_\Delta^{pl}\right)\right)\cdot\left[0{,}16\max(0{,}5; 100\rho_{tot})\left(1 - 0{,}16\min\left(5; \frac{L_V}{h}\right)\right)\sqrt{f_c}A_c + V_w\right]\right] \qquad \text{(A.12) EC8: Parte 3}$$

Dondeγ_{el} es igual a 1,15 para los elementos sísmicos primarios y a 1,0 para los secundarios, el resto de las variables se calculan como está definido en A.3.3.del Anexo A del EN1998-3.

La capacidad a cortante de un muro de concreto no debe tomarse mayor que el valor correspondiente a la falla por aplastamiento del alma, $V_{R,max}$, la cual, bajo carga cíclica se calcula de acuerdo con A3.3.1(2) del Anexo A del EN1998-3:2005 a partir de la siguiente expresión:

$$V_{R,max} = \frac{0{,}85\left(1-0{,}06\min\left(5;\mu_\Delta^{pl}\right)\right)}{\gamma_{el}}\left(1 + 1{,}8\min\left(0{,}15; \frac{N}{A_c f_c}\right)\right)\left(1 + 0{,}25\max(1{,}75; 100\rho_{tot})\right)\cdot\left(1 - 0{,}2\min\left(2; \frac{L_V}{h}\right)\right)\sqrt{f_c}b_w z \qquad \text{(A.15) EC8: Parte 3}$$

Si el tramo a cortante de una columna de concreto (L_V/h) al final de una sección con el mayor de los momentos en los extremos es menor o igual a 2, la capacidad a cortante no debe tomarse mayor que el valor correspondiente a la falla por aplastamiento del alma a lo largo de la diagonal de la columna luego

de la fluencia por flexión, $V_{R,max}$, la cual bajo cargas cíclicas se calcula de acuerdo a A3.3.1(3) delAnexo A del EN1998-3:2005 a partir de la siguiente expresión:

$$V_{R,max} = \frac{{}^{4}/_{7}\left(1 - 0{,}02\min\left(5; \mu_{\Delta}^{pl}\right)\right)}{\gamma_{el}}\left(1 + 1{,}35\frac{N}{A_c f_c}\right)\left(1 + 0{,}45(100\rho_{tot})\right)\sqrt{\min(40; f_c)}\, b_w z \sin 2\delta$$

(A.16) EC8: Parte 3

Donde δ es el ángulo entre la diagonal y el eje de la columna ($\tan\delta = h/2L_V$).

Concreto Encamisado

Se hacen las siguientes suposiciones para poder evaluar las capacidades de deformación de las secciones encamisadas de acuerdo con el Anexo A del EN1998-3:2005: (i) los elementos encamisados se comportan monolíticamente, (ii) la carga axial completa se asume actuando en el miembro encamisado, sin importar el hecho de que la carga axial se aplica originalmente en la columna existente, y (iii) las propiedades del concreto encamisado se asumen aplicadas en toda la sección del elemento.

El valor de la capacidad de rotación de acuerda de los miembros encamisados se adopta en las verificaciones de capacidad dependiendo de los valores correspondientes calculados bajo los puntos asumidos anteriormente, adaptados a las siguientes ecuaciones del Anexo A del EN1998-3:2005:

$$V_R^* = 0.9V_R$$ (A.17) EC8: Parte 3

Envolturas FRP

De acuerdo con la sección A4.4.2(9) del Anexo A del EN1998-3:2005, en miembros donde la región de rótula plástica está totalmente envuelta con FRP en una longitud al menos igual a la profundidad del miembro, la resistencia cíclica VR, puede calcularse a partir de la expresión (A.12) del EC8: Parte 3 agregando en Vw la contribución del encamisado FRP a la resistencia por cortante. La contribución del encamisado a Vw se calcula a través de la siguiente expresión:

$$V_{w,f} = 0{,}5\rho_f b_w z f_{u,fd}$$ (A.33) EC8: Part 3

donde $\rho_f$es el radio geométrico del FRP, z es la longitud del brazo de palanca interno y $f_{u,fd}$ el valor de diseño de la resistencia última del FRP.

Elementos de mampostería

Todas las revisiones en elementos de mampostería (capacidad de corte, momento de flexión y deriva) deben realizarse para todos los elementos de cada piso, de acuerdo con el Anexo C de EN1998-3: 2005, considerando a los miembros como elementos primarios o secundarios, designados de acuerdo con con las definiciones en EN1998-1: 2004, 4.2.2 (1) P, (2) y (3).

Capacidad Cortante

La capacidad cortante de los muros de mampostería no reforzada controlada por flexión bajo una carga axial N se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

$$V_f = \frac{DN}{2H_0}(1 - 1{,}15v_d)$$ (C.1) EC8: Parte 3

La capacidad cortante de los muros de mampostería no reforzada controlada por corte bajo una carga axial N se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

$$V_f = f_{vd} D' t$$ (C.2) EC8: Parte 3

Capacidad de Momento Flector

La capacidad de momento flector del muro de mampostería no reforzada se calcula en base a la siguiente expresión:

$$V_f = {}^{2M}/_{L}$$

Donde V_f es la capacidad de fuerza de corte calculada de acuerdo con las ecuaciones (C.1) de EC8: Parte 3.

Deriva

La capacidad de los muros de mampostería no reforzada se puede expresar como deriva, que se calcula a partir de las siguientes ecuaciones:

Para muros sísmicos primarios controlados por flexión:

$0{,}008 \cdot {}^{H_0}/_{D}$ C.4.2.1(2) EC8: Part 3

Para muros sísmicos secundarios controlados por flexión:

$0{,}012 \cdot {}^{H_0}/_{D}$ C.4.2.1(2) EC8: Part 3

La deriva para muros y antepechos de mampostería con refuerzo controlados por corte es igual a 0,004 para muros primarios y 0,006 para muros secundarios, de acuerdo con C.4.3.1 (2) de EC8: Parte 3.

Curva de Capacidad

Cada análisis de pushover produce una curva de capacidad, la cual es la relación que existe entre la cortante basal total y el desplazamiento horizontal de un punto representativo de la estructura, llamado "nodo de control", con los valores del desplazamiento de control variando entre cero y el máximo valor definido por el usuario, el cual debe corresponder a 150% del desplazamiento objetivo.

Desplazamiento Objetivo

El desplazamiento objetivo está definido por la demanda sísmica derivada del espectro de respuesta elástica en términos del desplazamiento de un sistema equivalente de un solo grado de libertad. Para definir el desplazamiento objetivo de un sistema MDOF un número de pasos deben llevarse a cabo de acuerdo con el anexo B del EN1998-1.

La siguiente relación entre las fuerzas laterales normalizadas Fi y los desplazamientos normalizados Φi se asume:

$$F_i = m_i \Phi_i$$

Donde mi es la masa en piso i.

Los desplazamientos se normalizan de tal forma que Φn=1, donde n es el nodo de control, consecuentemente Fn=mn.

Transformación de un Sistema de un Solo Grado de Libertad (SDOF)

La masa de un sistema SDOF m* se determina como:

$$m^* = \sum m_i \Phi_i = \sum F_i$$

Y el factor de transformación está dado por:

$$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i {\Phi_i}^2} = \frac{\sum F_i}{\sum \left(\frac{{F_i}^2}{m_i}\right)}$$

La fuerza F* y el desplazamiento d* del SDOF equivalente se calculan como:

$$F^* = \frac{F_b}{\Gamma}$$

$$d^* = \frac{d_n}{\Gamma}$$

Donde Fb y dn son, respectivamente, la fuerza cortante en la base y el desplazamiento del nodo de control del sistema de múltiples grados de libertad (MDOF).

Determinación de la relación fuerza-desplazamiento elástica perfectamente plástica

La fuerza de cedencia Fy*, la cual representa también la capacidad ultima del sistema SDOF, es igual a la fuerza cortante en la base en el momento de la formación del mecanismo plástico. La rigidez inicial del sistema idealizado se determina de tal manera que las áreas bajo las relaciones de fuerza deformación real e idealizada son iguales, como se muestra en la figura B.1 abajo:

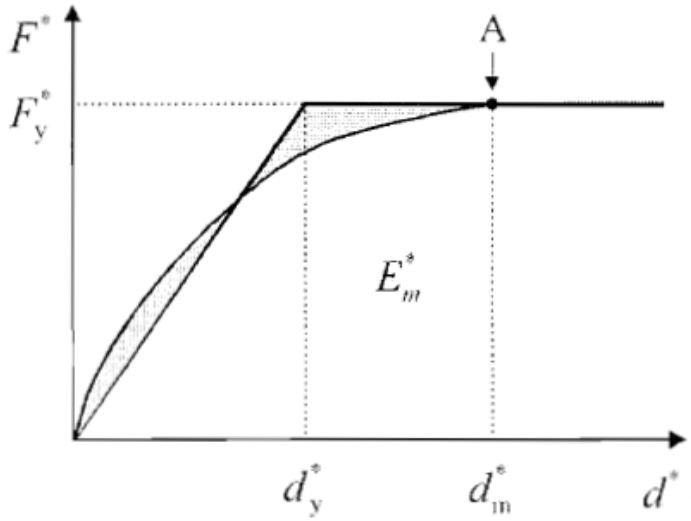


Figura B.1del EN 1998-1:Determinación de la relación idealizada fuerza-desplazamiento

Basándose en esta suposición, el desplazamiento de cedencia en el SDOF idealizado dy* está dado por:

$$d_y^* = 2\left(d_m^* - \frac{E_m^*}{F_y^*}\right)$$

Donde Em* es igual a la energía de deformación hasta la formación del mecanismo plástico.

Determinación del periodo idealizado del sistema SDOF equivalente

El periodo T* del SDOF idealizado puede determinarse con la expresión:

$$T^* = 2\pi\sqrt{\frac{m^* d_Y^*}{F_Y^*}}$$

Determinación del desplazamientoobjetivo equivalente del sistema SDOF

El desplazamiento objetivo de la estructura con un periodo T* y el comportamiento ilimitado elásticaestá dado por:

$$d_{et}^* = S_e(T^*)\left[\frac{T^*}{2\pi}\right]^2$$

Donde Se(T*) es espectro de respuesta de aceleración elástica en el periodo T*.

Para la determinación del desplazamiento objetivo dt* para estructuras en el rango de periodos cortos y para estructuras en los rangos estructuras en el rango de periodos mediano a largos diferentes

expresiones pueden ser empleadas como se indica a continuación. El periodo esquina entre los periodos cortos y medianos se llama Tc.

- Para $T^*<T_C$ (periodo de rangos cortos)

Si$F_y^*/m^* \geq S_e(T^*)$, la respuesta es elástica así que

$$d_t^* = d_{et}^*$$

Si$F_y^*/m^* < S_e(T^*)$, la respuesta es inelástica así que

$$d_t^* = \frac{d_{et}^*}{q_u}\left(1 + (q_u - 1)\frac{T_C}{T^*}\right) \geq d_{et}^*$$

Donde$q_u$es la razón entre la aceleración en la estructura con comportamiento elástico ilimitado Se(T*) y la estructura con resistencia limitada Fy*/m*.

$$q_u = \frac{S_e(T^*)m^*}{F_Y^*}$$

dt* no debe exceder 3 det*

- Para $T^* \geq T_C$ (rango de periodos medianos y largos)

$$d_t^* = d_{et}^*$$

Determinación del desplazamiento objetivo para un sistema MDOF

El desplazamiento del sistema MDOF está dado por:

$$d_t = \Gamma d_t^*$$

Debe notarse que el desplazamiento objetivo corresponde al desplazamiento en el nodo de control.

Apéndice H2 - ASCE

En este apéndice se presentan los parámetros utilizados para la evaluación de estructuras de acuerdo con el Código Americano para La Evaluación Sísmica y la Intervención de Edificios Existentes, ASCE/SEI 41-23.

Requisitos de Desempeño

Según ASCE 41-23 sección 2.4, los objetivos de la evaluación o rediseño (Tabla C2-8) consisten en combinaciones de un nivel de desempeño y una acción sísmica, dada una "probabilidad aceptable de superación dentro del ciclo de vida del edificio" (terremoto de diseño), como se muestra en la Tabla C2-8 de la ASCE 41-23 a continuación.

Nivel de amenaza sísmica	Niveles objetivo de desempeño estructural			
	Nivel de desempeño Operacional (1-A)	Nivel de desempeño de Ocupación Inmediata (1-B)	Nivel de desempeño de Seguridad de Vida (3-C)	Nivel de desempeño de Prevención del Colapso (5-D)
50%/50 años	a	b	c	d
BSE-1E (20%/50 años)	e	f	g	h
BSE-2E (5%/50 años)	i	j	k	l
BSE-2N (2%/50 años)	m	n	o	p

Tabla C2-8. Objetivos de desempeño

Los niveles de desempeño del edificio objetivo se refieren al estado de daño en la estructura definida a través de cuatro estados límite, a saber, Nivel Operacional (1-A), Ocupación Inmediata (1-B), Seguridad de Vida (3-C) y Prevención delColapso (5-D).

Nivel de Desempeño Operacional (1-A)

El nivel operacional (1-A), de acuerdo con ASCE 41-23, es una condición en la cual se espera que el daño sea insignificante y la estructura no necesite ninguna medida de reparación. Se evita que los elementos estructurales cedan significativamente y retengan sus propiedades de resistencia y rigidez. Todos los sistemas importantes para la operación normal son funcionales. Los componentes no estructurales, como particiones y rellenos, no deben dañarse.

Nivel de Desempeño de Ocupación Inmediata (1-B)

La ocupación inmediata después del terremoto (1-B), de acuerdo con ASCE 41-23, es una condición en la que se espera que no se interrumpa ninguna operación de construcción durante y después del terremoto de diseño, con la posible excepción de funciones de importancia menor. Los elementos estructurales conservan sus propiedades de resistencia y rigidez. Algunas grietas finas pueden ocurrir en la estructura.

Nivel de Desempeño de Seguridad de Vida (3-C)

La seguridad de vida (3-C), de acuerdo con ASCE 41-23, es una condición en la que se espera que ocurra un daño moderado a la estructura durante el terremoto de diseño, aunque es probable que no sea económico de reparar. Los elementos estructurales conservan cierta resistencia y rigidez residuales. Los componentes no estructurales están dañados, aunque las particiones y los rellenos no han fallado fuera del plano. Las derivas permanentes moderadas están presentes.

Nivel de Desempeño de Prevencion del Collapso (5-D)

La Prevención del Colapso (5-D), de acuerdo con ASCE 41-23, es una condición en la que se espera un daño severo (no reparable, en general) a la estructura durante el terremoto de diseño y probablemente no sobreviva a otro terremoto. La estructura está muy dañada con baja resistencia lateral residual y rigidez, aunque los elementos verticales todavía son capaces de soportar cargas axiales. La mayoría de los componentes no estructurales se han colapsado y hay grandes derivas permanentes presentes.

Los criterios para la selección de los Objetivos de Desempeño se pueden encontrar en ASCE 41-23.

INFORMACIÓN PARA LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

Para elegir el tipo de análisis admisible y los valores apropiados del factor de confianza, se definen los siguientes tres niveles de conocimiento:

- Conocimiento Mínimo
- Conocimiento Usual
- Conocimiento Integral

Los factores que determinan el nivel de fiabilidad de los datos obtenidos son la (i) geometría, que son las propiedades geométricas del sistema estructural y de los elementos no estructurales, p.e. paneles de relleno de mampostería, que pueden afectar la respuesta estructural; (ii) detalles, que incluyen la cantidad y detalles del refuerzo en secciones de concreto reforzado, la conexión de los diafragmas del piso a la estructura de resistencia lateral, el mortero de pega de la mampostería y la naturaleza de cualquier elemento de refuerzo en la mampostería; y finalmente (iii) materiales, es decir, las propiedades mecánicas de los materiales constituyentes.

Conocimiento Mínimo

Los requisitos mínimos de recopilación de datos corresponden a un estado de conocimiento donde la información se obtiene a partir de dibujos de diseño con información suficiente para analizar las demandas de los componentes y calcular las capacidades de los componentes. Los planos de diseño muestran la configuración del sistema de carga por gravedad y del sistema resistente a fuerzas sísmicas con suficientes detalles. La información se verifica mediante una evaluación de condición visual.

A falta de información suficiente de los dibujos de diseño, la información incompleta o inexistente se complementa con una evaluación exhaustiva de la condición, incluida la investigación destructiva y no destructiva. En ausencia de registros de pruebas de materiales e informes de garantía de calidad, las propiedades de materiales por defecto se utilizan de acuerdo con el capítulo 10 de la ASCE 41-23.

Conocimiento Usual

El nivel de fiabilidad de datos habitual corresponde a un estado de conocimiento donde la información se obtiene a partir de dibujos de diseño con información suficiente para analizar las demandas de los componentes y calcular las capacidades de los componentes. Los dibujos de diseño muestran la configuración del sistema de carga por gravedad y del sistema resistente a fuerzas sísmicas con suficientes detalles. La información se verifica mediante una evaluación de condición visual.

A falta de información suficiente de los dibujos de diseño, la información incompleta o inexistente se complementa con una evaluación exhaustiva de la condición, incluida la investigación destructiva y no

destructiva. En ausencia de registros de pruebas de materiales e informes de garantía de calidad, las propiedades de materiales por defecto se utilizan de acuerdo con el capítulo 10 del ASCE 41-23.

Conocimiento Integral

El nivel de confiabilidad de datos completo corresponde a un estado de conocimiento donde la información se obtiene de documentos de construcción que incluyen planos de diseño, especificaciones, registros de pruebas de materiales e informes de control de calidad que cubren la construcción original y las modificaciones posteriores a la estructura. La información se verifica mediante una evaluación de condición visual.

En los casos en que los documentos de construcción son incompletos, la información faltante se complementa con una evaluación exhaustiva de la condición, incluida la investigación destructiva y no destructiva. En ausencia de registros de pruebas de materiales e informes de control de calidad, las propiedades del material se determinan mediante pruebas exhaustivas de materiales de acuerdo con el capítulo 10 del ASCE 41-23.

Factores de Conocimiento

En la siguiente tabla de la ASCE 41-23, se proporciona un resumen y recomendacionespara los factores de confianza y los métodos de análisis para cada nivel de conocimiento.

	Nivel de Conocimiento					
Datos	**Mínimo**		**Usual**		**Integral**	
Nivel de Desempeño	Seguridad de Vida o menor		Seguridad de Vida o menor		Mayor a Seguridad de Vida	
Prodimientos de Análisis	LSP, LDP		Todos		Todos	
Pruebas	Sin pruebas		Pruebas usuales		Pruebas exhaustivas	
Dibujos	Dibujos de diseño o equivalentes		Dibujos de diseño o equivalentes		Documentos de construcción o equivalente	
Evaluación Condicional	Visual	Visual	Visual	Integral	Visual	Integral
Propiedades de Material	De valores predefinidos	De dibujos de diseño	De dibujos y pruebas	De pruebas usuales	De documentos y pruebas	De pruebas exhaustivas
Factor de Conocimiento (K)	0.75	0.9	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabla 6-1 del ASCE

Factores de Seguridad

En ASCE 41-23 los factores de seguridad se incorporan directamente en las capacidades y los límites de deformación del miembro y no deben ser definidos.

En los miembros donde la separación longitudinal del refuerzo transversal noexcede el 75% de la profundidad efectiva del componente medido en la dirección del cortante, se supondrá un refuerzo transversal del 100% efectivo en la resistencia a dicha cortante. Además, en los miembros en los que el espaciamiento longitudinal del refuerzo transversal excede la profundidad efectiva del componente medida en la dirección del cortante, se supondrá que el refuerzo transversal es ineficaz para resistir el cortante. La interpolación lineal debe ejecutarse en otro caso.Los usuarios pueden decidir en el cuadro de diálogo Factores de seguridad, si aplicar o no una regla tan estricta. Para obtener más información sobre esta regla, los usuarios pueden consultar la sección 4.2.3 de la ACI 369.1-22.

Modelos de Capacidad para Evaluaciones y Revisiones

Todas las revisiones de miembros (capacidad de rotación de acordes y capacidad a cortante) deben realizarse para todos los elementos de cada planta, de acuerdo con el Capítulo 10 de la ASCE 41-23, el Capítulo 11 de ACI 318-19, el Capítulo 4 de ACI 369.1-22 y el Capítulo 11 de ACI 440, teniendo en cuenta la Tablas 7-6 y 7-7 de la ASCE 41-23. La relación de deriva entre pisos debe verificarse para las paredes controladas por cortante. Además, se pueden emplear verificaciones de uniones viga-columna para controlar la fuerza de cortante de la junta.

Capacidad de Deformación

La capacidad de deformación de vigas, columnas y paredes controladas por flexión se define en términos de la rotación total de cuerda θ, que es el ángulo entre la tangente al eje en el extremo flexible y la cuerda que conecta ese extremo con el final del período de corte (LV = M / V = momento / cortante en la sección

final). La rotación de cuerda también es igual a la relación de deriva del elemento, que es la deflexión al final del tramo de cortante con respecto a la tangente al eje en el extremo en cedencia dividido por el tramo de cortante.

La capacidad de deformación de vigas, columnas y paredes controladas por flexión está altamente influenciada por la falta de detalles apropiados de resistencia sísmica en el refuerzo longitudinal, así como también por la presencia de varillas lisas. El desarrollo inadecuado de empalmes a lo largo del tramo (vigas) y altura (columnas) y la incrustación inadecuada en las juntas viga-columna pueden controlar la respuesta de los miembros a la acción sísmica, limitando drásticamente su capacidad, con respecto a la situación en la que el refuerzo se considera completamente eficaz. Las limitaciones anteriores a la capacidad de deformación se toman en consideración.

La capacidad total de rotación de cuerda en la parte final de los elementos de concreto bajo carga cíclica se calcula como la suma de la rotación de cuerda en cedencia y la parte plástica de la capacidad de rotación de cuerda

$\theta = \theta_y + \theta_p$

La capacidad de rotación de cuerda en cedencia, θ_y , se calcula como se describe a continuación:

- Para vigas y columnas de la ecuación (4.29) de D.Biskinis (2007):
  $\theta_y = \frac{M_y L_s}{3EI_{eff}}$

donde el valor de rigidez efectiva, EI_{eff}, se calcula de acuerdo con la Tabla 3.1.2.1 del ASCE 41-23.

- Para las paredes de la ecuación (7.4.1.1.1) de la ASCE 41-23:
- $\theta_{yE} = \left(\frac{M_{CyGE}}{(E_{cE}I)_{eff}}\right) l_p$
  (7.4.1.1.1) ASCE 41-23

La parte plástica de la capacidad de rotación de cuerda se calcula como se indica a continuación:

- Para vigas de acuerdo con la Tabla 4.2.2.2.2a de ACI 369.1-22
- Para columnas de acuerdo con la Tablas 4.2.2.2.2b y 4.2.2.2.2cde la ACI 369.1-22
- Para paredes controladas por flexión de acuerdo con la Tabla 7.4.1.1.1 de ASCE 41-23 y para paredes controladas por cortante según la Tabla 7.4.1.1.2 de ASCE 41-23

La capacidad de deformación de las paredes controladas por cortante se define en términos de la razón de deriva entre pisos como se indica en la Tabla 7.4.1.1.3 de la ASCE 41-23.

La capacidad de momento en cedencia se calcula de acuerdo con las ecuaciones del Apéndice 7A de KANEPE.

Se aconseja a los usuarios consultar las publicaciones relevantes para la definición de los otros parámetros y más detalles sobre las expresiones.

Envoltura FRP

La contribución de la envoltura de FRP a la capacidad de los miembros se tiene en cuenta en el cálculo de la capacidad de momento de cedencia.

Capacidad de Momento Flector

La capacidad de momento flector de vigas, columnas y muros con sección prismática se calcula según el párrafo 4.1 de D. Biskinis y M.N. Fardis (2009), mientras que para la capacidad de momento flector de columnas circulares párrafo 4 de Biskinis y M.N. Fardis (2013) está empleado.

Capacidad a Cortante

La capacidad de corte de las columnas se calcula mediante la siguiente expresión de acuerdo con la sección 4.2.3.1 de la ACI 369.1-22.

$$V_n = kV_o = k\left[\frac{A_v f_y d}{s} + \lambda\left(\frac{6\sqrt{f'_c}}{M/V_d}\sqrt{1+\frac{N_u}{6\sqrt{f'_c}A_g}}\right)0.8A_g\right] \text{ (lb/in.}^2\text{unidades)}$$

$$V_n = kV_o = k\left[\frac{A_v f_y d}{s} + \lambda\left(\frac{0.5\sqrt{f'_c}}{M/V_d}\sqrt{1+\frac{N_u}{0.5\sqrt{f'_c}A_g}}\right)0.8A_g\right] \text{ (Mpa unidades)} \qquad \text{4.2.3.1) ACI 369.1-22}$$

La resistencia al corte de una pared de corte se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$V_n = A_{cv}\left(\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y\right) \qquad \text{(18.10.4.1) ACI 318-19}$$

El valor de V_n en cualquier sección horizontal para una pared actuando en su plano de cortante no debe tomarse mayor a$0.83\sqrt{f'_c}hd$ de acuerdo con la sección11.5.4.3 del ACI 318-19.

La capacidad a cortante de las secciones de la viga se calcula a partir de la ecuación (22.5.5.1) de ACI 318-19, con la resistencia al cortante proporcionada por la armadura transversal calculada a partir de la ecuación (22.5.8.5.3) de ACI 318-19 y la resistencia al cortante proporcionada por concreto calculado por el cálculo detallado de la sección 22.5.5.1 de ACI 318-19.

Criterios	V_c		
$A_v \geq A_{v,min}$	cualquiera de:	$\left[0.17\lambda\sqrt{f'_c} + \frac{N_u}{6A_g}\right]b_w d$	(a)
		$\left[0.66\lambda(\rho_w)^{1/3}\sqrt{f'_c} + \frac{N_u}{6A_g}\right]b_w d$	(b)
$A_v < A_{v,min}$	$\left[0.66\lambda_s\lambda(\rho_w)^{1/3}\sqrt{f'_c} + \frac{N_u}{6A_g}\right]b_w d$		(c)

Tabla 22.5.5.1 de ACI 318-19

Se aconseja a los usuarios consultar las publicaciones relevantes para la definición de los otros parámetros y más detalles sobre las expresiones.

Envoltura FRP

La resistencia al cortante V_n, puede calcularse a partir de la expresión (4.2.3.1) de la ACI 369.1-22 para columnas o la ecuación (22.5.1.1) de ACI 318-19para vigas y muros en cortante añadiendo en V_s la contribución de la envoltura de FRP a la resistencia al corte.

La contribución de la camisa de FRP a la resistencia al corte se calcula a través de la siguiente expresión multiplicada por un factor de reducción ψ_f, como se describe en la sección 11.4 de ACI 440:

$$V_f = \frac{A_{fv} f_{fe}(\sin a + \cos a) d_{fv}}{s_f} \qquad \text{(11.4a) ACI 440}$$

donde

$$A_{fv} = 2nt_f w_f \qquad \text{(11.4b) ACI 440}$$

y

$$f_{fe} = \varepsilon_{fe} E_f \qquad \text{(11.4d) ACI 440}$$

La resistencia total al corte proporcionada por la suma del refuerzo de cortante de la FRP y el refuerzo de acero en cortante debe limitarse como se indica en la siguiente ecuación:

$V_s + V_f \leq 8\sqrt{f'_c} b_w d$ en unidades in-lb

$V_s + V_f \leq 0.66\sqrt{f'_c} b_w d$ en unidades SI (11.4.3) ACI 440

Se aconseja a los usuarios consultar las publicaciones relevantes para la definición de los otros parámetros y más detalles sobre las expresiones.

Elementos de Mampostería

Todas las revisiones de elementos de mampostería (capacidad de corte, capacidad de momento flector, capacidad de compresión y deriva) deben realizarse para todos los elementos de cada piso, de acuerdo con la Sección 11.3.2 de ASCE 41-23 y las Secciones 9.3.4.1 y 9.3.5 de TMS 402, considerando a los miembros como elementos primarios o secundarios, designados de acuerdo con las definiciones en EN1998-1: 2004, 4.2.2 (1) P, (2) y (3).

Capacidad Cortante

Muros de mampostería sin refuerzo

La capacidad de fuerza de corte en el plano de los muros de mampostería no reforzada se calcula como el menor valor de la resistencia al volteo, la resistencia al deslizamiento de la junta horizontal, la resistencia al aplastamiento en la base (toe-crushing) y la resistencia a la tensión diagonal, que se calculan de acuerdo con las siguientes expresiones:

Resistencia de Volteo:

$$Q_{CE} = V_r = 0.9(\alpha P_D + 0.5 P_W) L / h_{eff} \qquad \text{(11-9) ASCE 41-23}$$

Resistencia de deslizamiento de la junta horizontal:

$$Q_{CE} = V_{bjs1} = v_{me} A_n \qquad \text{(11-10) ASCE 41-23}$$

Resistencia a la Tensión Diagonal:

$$Q_{CL} = V_{dt} = f'_{dt} A_n \beta \sqrt{1 + \frac{f_\alpha}{f'_{dt}}} \qquad \text{(11-13) ASCE 41-23}$$

Antepechos de mampostería sin refuerzo

La capacidad de fuerza a cortante en el plano de los antepechos de mampostería no reforzados se calcula como el valor menor de la resistencia a la flexión y la resistencia al corte.

La resistencia a la flexión en el plano de los antepechos de mampostería rectangulares no reforzados con y sin dinteles de madera, hormigón o acero se determina como el valor mínimo de las siguientes ecuaciones:

$$V_{f1} = \left(f_t + p_{sp}\right) \frac{h_{sp}^2 b_{sp}}{3 l_{sp}} \qquad \text{(11-15) ASCE 41-23}$$

y

$$V_{fl,r} = \frac{p_{sp} h_{sp}^2 b_{sp}}{l_{sp}} \left(1 - \frac{p_{sp}}{0.85 f_{hm}}\right) \qquad \text{(11-17) ASCE 41-23}$$

La resistencia al corte del antepecho de mampostería no reforzada se calcula como el valor menor calculado a partir de las siguientes expresiones:

$$V_{s1} = \frac{2}{3}\left(c_{bj} + \mu_f p_{sp}\right) h_{sp} b_{sp} \qquad \text{(11-18) ASCE 41-23}$$

y

$$V_{s2} = f'_{dt}\beta_{sp}h_{sp}b_{sp}\sqrt{1+\frac{p_{sp}}{f'_{dt}}}$$ (11-19) ASCE 41-23

Donde la ecuación (11-17) es la resistencia al corte máxima asociada con la formación de grietas a través de las juntas horizontales y verticales en casi toda la altura del antepecho y la ecuación (11-19) se usa cuando se produce la fractura de las unidades de mampostería.

Muros/Antepechos de Mampostería reforzada

La capacidad a cortante de muros y antepechos de mampostería con refuerzo se calcula utilizando las siguientes ecuaciones: $V_n = (V_{nm} + V_{ns})\gamma_g$ (Equation 9-21) TMS 402

Donde Vn no excederá lo siguiente:

- $SiM_u/(V_u d_v) \leq 0.25$

$$V_n \leq \left(6A_{nv}\sqrt{f'_m}\right)\gamma_g$$ (Ecuación 9-22) TMS 402

- $SiM_u/(V_u d_v) \geq 1.0$

$$V_n \leq \left(4A_{nv}\sqrt{f'_m}\right)\gamma_g$$ (Ecuación 9-23) TMS 402

Se aconseja a los usuarios que consulten el Código para la definición de los parámetros y más detalles sobre las expresiones.

Capacidad de Compresión

La capacidad de compresión axial nominal no debe exceder la ecuación 9-19 o las ecuaciones 9-20:

- Para miembros que tienen una razón h/r no mayor a 99

$$P_n = 0.80\left[0.80f'_m(A_n - A_{st}) + f_y A_{st}\right]\left[1-\left(\frac{h}{140r}\right)^2\right]$$ (Ecuación 9-19) TMS 402

- Para miembros que tienen una razón h/r mayor a 99

$$P_n = 0.80\left[0.80f'_m(A_n - A_{st}) + f_y A_{st}\right]\left(\frac{70r}{h}\right)^2$$ (Ecuación 9-20) TMS 402

Se aconseja a los usuarios que consulten el Código para la definición de los parámetros y más detalles sobre las expresiones..

Capacidad de Momento de Flexión

La capacidad de momento de flexión de muros y antepechos de mampostería no reforzada se basa en la resistencia al aplastamiento en la base (toe-crushing) inferior calculada de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Q_{CL} = V_{tc} = (\alpha P_D + 0.5P_W)\left(\frac{L}{h_{eff}}\right)\left(1-\frac{f_\alpha}{0.7f'_m}\right)$$ (11-12) ASCE 41-23

La capacidad de momento de flexión de muros y antepechos de mampostería reforzada se caclula de acuerdo con la siguiente expresión:

$$M_n = \left(P_u/\varphi + A_s f_y\right)\left(\frac{t_{sp}-\alpha}{2}\right) + A_s f_y\left(d - \frac{t_{sp}}{2}\right)$$

donde

$$\alpha = \frac{A_s f_y + P_u/\varphi}{0.80f'_m b}$$

Las ecuaciones anteriores son válidas tanto para refuerzo de flexión centrado como no centrado. En el caso del refuerzo de flexión centrado, d = t_{sp} / 2, la capacidad del momento flector se obtiene como:

$$M_n = \left(P_u/\varphi + A_s f_y\right)\left(d - \frac{\alpha}{2}\right)$$

Se aconseja a los usuarios que consulten el Código para la definición de los parámetros y más detalles sobre las expresiones.

Deriva

La capacidad de muros y antepechos de mampostería no reforzada puede expresarse como la deriva, que se calcula a partir de la Tabla 11-4 de ASCE 41-23.

Table 11-4. Nonlinear Procedures: Simplified Force–Deflection Relations for URM In-Plane Walls, Wall Piers[a], and Spandrels with $v_{fL} \geq 30$ lb/in.^{2}

	Modeling Parameters				Acceptance Criteria Performance Level			
Limiting Behavior Mode	Residual Strength Ratio	*d* (%)	*e* (%)	*f* (%)		IO (%)	LS (%)	CP (%)
Wall and Wall Pier Rocking[b]	$V_{tc,r}/V_r$	$100\Delta_{tc,r}/h_{eff}$	$100\Delta_{tc,r}/h_{eff}$	$100(\Delta_{tc,r}+\Delta_y)/h_{eff}$	Simplified	0.1	$0.4h_{eff}/L$ but not greater than 1.50%[c]	$0.6h_{eff}/L$ but not greater than 2.25%[d]
					Comprehensive[d]	0.1	$0.6h_{eff}/L$ but not greater than 2.25%	$100\Delta_{tc,r}/h_{eff}$ but not greater than 2.5%
Wall and Wall Pier Bed-Joint Sliding	V_{bjs2}/V_{bjs1}[e]	0.4	1.0	$1.0+100\Delta_y/h$[f]		0.1	0.75	1.0
Spandrels with Prismatic Lintels	$\text{Min}(V_{fl,r}, V_{s,r})/\text{Min}(V_{fl}, V_s)$	0.3	3.0	3.1		0.1	2.25	3.0
Spandrels with Shallow Arch Lintels	$\text{Min}(V_{fl,r}, V_{s,r})/\text{Min}(V_{fl}, V_s)$	0.3	0.75	0.85		0.1	0.56	0.75

[a] Interpolation shall be used between table values.
[b] All rocking walls and wall piers shall comprise a minimum thickness of 6 in. and, for solid brick masonry, a minimum of two wythes. Multi-wythe solid brick walls and wall piers shall be connected with bonded solid headers. $V_{tc,r}$ is the seismic shear force associated with the onset of toe crushing after rocking initiates. The axial compressive stress on the toe caused by gravity loads, f_a, shall be based on the strain of the rocking pier and an equivalent compression zone of the effective net section of the rocking pier that is in bearing immediately before the onset of crushing, consistent with Section 9.3.2(g) of TMS 402, or some other analytical approach based on engineering mechanics and the stress–strain response of the materials that comprise the pier and its interface with supporting components. $\Delta_{tc,r}$ is the lateral displacement associated with the onset of toe crushing $V_{tc,r}$.
[c] In no case shall the LS acceptance criteria exceed 0.75 times the CP acceptance criteria.
[d] Comprehensive acceptance criteria may be used if an analysis based on moment-curvature is used to explicitly calculate $\Delta_{tc,r}$.
[e] V_{bjs1} and V_{bjs2} shall be calculated in accordance with Section 11.3.2.2.2.
[f] Point *f* on the force–deformation curve where vertical-load-carrying capacity is diminished shall be based on the drift associated with no greater than one-half the width of the masonry units or units at the spring line of masonry arches, assuming that bed-joint sliding occurs entirely within one bed joint in a wall or pier.

Tabla 11-4 de ASCE 41-23

La deriva para muros y antepechos de mampostería con refuerzo se toma de la Tabla 11-7 de ASCE 41-23.

Table 11-7. Modeling Parameters and Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—Reinforced Masonry In-Plane Walls

						Acceptable Drift Ratio (%)[a]		
						Performance Level		
f_{ae}/f_{me}	h_{eff}/L	$\rho_g f_{ye}/f_{me}$	Residual Strength Ratio c	d (%)	e (%)	IO (%)	LS (%)	CP (%)
Wall Components Controlled by Flexure								
0.00	≥2.0	0.01	0.5	2.6	5.3	1.0	3.9	5.3
		0.05	0.6	1.1	2.2	0.4	1.6	2.2
		0.20	0.7	0.5	1.0	0.2	0.7	1.0
	1.0	0.01	0.5	2.1	4.1	0.8	3.1	4.1
		0.05	0.6	0.8	1.6	0.3	1.2	1.6
		0.20	0.7	0.3	0.6	0.1	0.5	0.6
	≤0.5	0.01	0.5	1.6	3.3	0.6	2.5	3.3
		0.05	0.6	0.6	1.3	0.2	0.9	1.3
		0.20	0.7	0.2	0.4	0.1	0.3	0.4
0.038	≥2.0	0.01	0.4	1.0	2.0	0.4	1.5	2.0
		0.05	0.5	0.7	1.4	0.3	1.0	1.4
		0.20	0.6	0.4	0.9	0.2	0.7	0.9
	1.0	0.01	0.4	0.8	1.5	0.3	1.1	1.5
		0.05	0.5	0.5	1.0	0.2	0.7	1.0
		0.20	0.6	0.3	0.6	0.1	0.4	0.6
	≤0.5	0.01	0.4	0.6	1.2	0.2	0.9	1.2
		0.05	0.5	0.4	0.7	0.1	0.5	0.7
		0.20	0.6	0.2	0.4	0.1	0.3	0.4
0.075	≥2.0	0.01	0.3	0.6	1.2	0.2	0.9	1.2
		0.05	0.4	0.5	1.0	0.2	0.8	1.0
		0.20	0.5	0.4	0.8	0.1	0.6	0.8
	1.0	0.01	0.3	0.4	0.9	0.2	0.7	0.9
		0.05	0.4	0.4	0.7	0.1	0.5	0.7
		0.20	0.5	0.2	0.5	0.1	0.4	0.5
	≤0.5	0.01	0.3	0.3	0.7	0.1	0.5	0.7
		0.05	0.4	0.3	0.5	0.1	0.4	0.5
		0.20	0.5	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3
Wall Components Controlled by Shear								
All cases[b]	All cases[b]	All cases[b]	0.4	0.75	2.0	0.4	0.75	1.5

[a] Interpolation shall be used between table values.
[b] For wall components governed by shear, the axial load on the member must be less than or equal to $0.15A_g f'_m$; otherwise, the component shall be treated as force controlled.

Tabla 11-7 de ASCE 41-23

CURVA DE CAPACIDAD

Cada análisis de pushover conduce a una curva de capacidad, que es una relación entre el cortante total en la base y el desplazamiento horizontal de un punto representativo de la estructura, denominado "nodo de control", con los valores del desplazamiento de control entre cero y un valor máximo definido por el usuario.

DESPLAZAMIENTO OBJETIVO

El desplazamiento objetivo δ_t (§ 7.4.3.3 de ASCE 41-23) se calculará teniendo en cuenta todos los factores relevantes que afectan el desplazamiento de un edificio que responde inelásticamente. Se permite considerar el desplazamiento de un sistema elástico de un solo grado de libertad con un período fundamental igual al período fundamental del edificio que está sujeto a las acciones sísmicas, para lo cual se realiza la revisión. Se necesita una corrección apropiada para derivar el desplazamiento correspondiente del edificio que se supone que responde como un sistema elástico perfectamente plástico.

Para edificios con diafragmas rígidos en cada piso, el desplazamiento del objetivo se calculará de acuerdo con la ecuación (7-29) de la ASCE 41-23 o mediante un procedimiento aprobado que tenga en cuenta la respuesta no lineal del edificio.

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 S_\alpha \left(\frac{T_e^2}{4\pi^2}\right) g \qquad \text{(7-29)ASCE 41-23}$$

donde S_α es la aceleración del espectro de respuesta en el período fundamental efectivo y la relación de amortiguamiento del edificio en la dirección considerada, según se calcula en las Secciones 2.3.1o 2.3.3 de ASCE 41-23, y C_0, C_1 y C_2 son factores de modificación que se definen de la siguiente manera:

C0: Factor de modificación que relaciona el desplazamiento espectral del sistema de grado de libertad equivalente (SDOF) con el desplazamiento del techo del sistema de grado de libertad de construcción (MDOF) calculado utilizando el valor apropiado de la Tabla 7-5.

No. de Pisos	Edificios de Cortante		Otros Edificios
	Patrón de Carga Triangular (1.1, 1.2, 1.3)	Patrón de Carga Uniforme (2.1)	Cualquier pt. de Carga
1	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.15	1.2
3	1.2	1.2	1.3
5	1.3	1.2	1.4
10+	1.3	1.2	1.5

Tabla 7-5 del ASCE 41-23: Valores de Modificación del Factor C_0.

C_1: factor de modificación para relacionar los desplazamientos inelásticos máximos esperados con los desplazamientos calculados para la respuesta elástica lineal. Para períodos inferiores a 0.2s, C_1 no necesita tomarse más que el valor en T = 0.2s.

C_1=1.0 for T ≥ 1s , and

$$C_1 = 1 + \frac{\mu_{strength}{}^{-1}}{\alpha T_e^2} \text{ for } 0.2s \le T < 1s\,, \qquad \text{(7-30)ASCE 41-23}$$

donde α es el factor de clase del sitio (es igual a 130 para la clase de sitio A o B, 90 para la clase de sitio C y 60 para la clase de sitio D, E o F), $T_e$es el período fundamental del edificio en la dirección considerada y $\mu_{strength}$ es la relación entre la demanda de resistencia elástica y el coeficiente de resistencia a la fluencia calculada de acuerdo con la ecuación (7-32) de la ASCE 41-23.

C_2: Factor de modificación para representar el efecto de la forma de histéresis pellizcada, la degradación de la rigidez cíclica y el deterioro de la resistencia en la respuesta máxima de desplazamiento. Para períodos mayores que 0.7, C_2 = 1.0;

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800}\left(\frac{\mu_{strength}{}^{-1}}{T_e}\right)^2 \qquad \text{(7-31)ASCE 41-23}$$

Donde la fuerza de resistencia μ se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\mu_{strength} = \frac{S_\alpha}{V_{y/W}} C_m \qquad \text{(7-32)ASCE 41-23}$$

C_m es el factor de masa efectivo con valores de acuerdo con la Tabla 7-4 de ASCE 41-23.

Se recomienda a los usuarios consultar el Código para la definición de los otros parámetros y más detalles sobre las expresiones.

Determinación de la relación idealizada fuerza desplazamiento elástica perfectamente plástica

La relación fuerza-desplazamiento no lineal que relaciona el cortante en la base con el desplazamiento del nodo de control se reemplazará por una curva idealizada para la determinación de la rigidez lateral equivalente K_e y el límite elástico correspondiente V_y del edificio.

Se recomienda que la curva de capacidad idealizada (relación fuerza-desplazamiento) sea bilineal, con una pendiente de la primera rama igual a K_e y una pendiente de la segunda rama igual a $\alpha_1 K_e$. Las dos líneas que componen la curva bilineal se pueden definir gráficamente, según el criterio de áreas aproximadamente iguales de las secciones definidas anteriormente y debajo de la intersección de las curvas real e idealizada (Figura 7-3 de la ASCE 41-23).

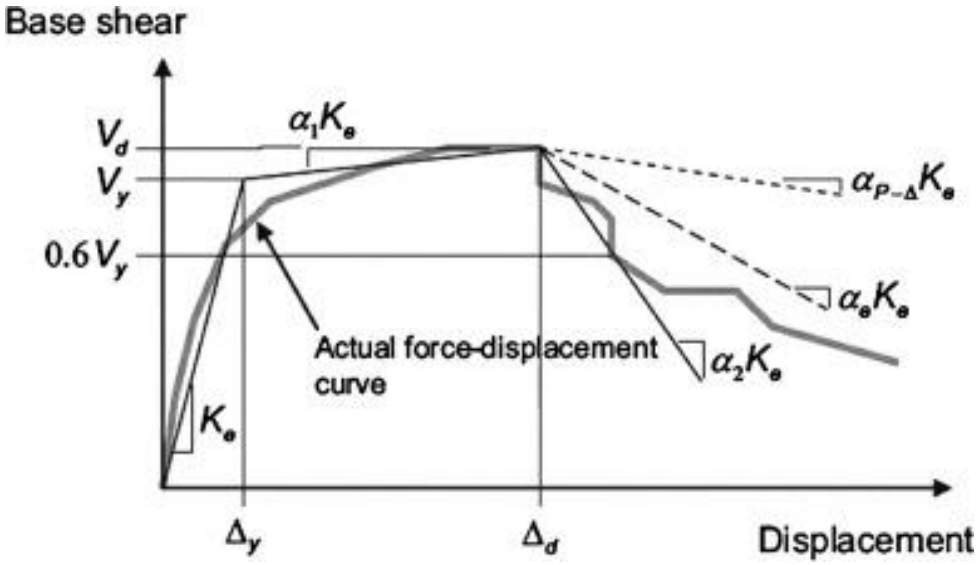


Figura 7-3 del ASCE 41-23 Curva de relación idealizada fuerza-desplazamiento.

La rigidez lateral equivalente K_e se determina como la rigidez secante que corresponde a una fuerza de corte base igual al 60% del límite de elasticidad efectivo V_y, este último definido por la intersección de las líneas anteriores. La inclinación normalizada (α_1) de la segunda bifurcación está determinada por una línea recta que pasa por el punto (V_d, Δ_d) y un punto en la intersección con el primer segmento de línea de manera que las áreas por encima y por debajo de la curva real están aproximadamente equilibradas. (V_d, Δ_d) debe ser un punto en la curva real de desplazamiento de fuerza en el desplazamiento objetivo calculado, o en el desplazamiento correspondiente al corte máximo, el que sea menor.

Determinación del periodo fundamental

El período fundamental efectivo en la dirección considerada se estimará en función de la curva idealizada de fuerza-desplazamiento.

El valor T_e del período fundamental efectivo se deriva de la siguiente expresión:

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \qquad \text{(7-28)ASCE 41-23}$$

donde T_i es el período fundamental elástico en la dirección considerada, y se obtiene mediante el análisis de valores propios, K_i es la rigidez lateral elástica correspondiente, y K_e es la rigidez lateral efectiva.

Apéndice H3 - NTC-18

En este Apéndice se presentan los parámetros usados para la evaluación de estructuras de acuerdo al Código Sísmico Nacional Italiano – NTC-18.

Requisitos de Desempeño

De acuerdo con NTC-18, los requisitos de desempeño se refieren al estado de daño en la estructura definido a través de cuatro estados límite, a saber Nivel Operacional (SLC), Limitación del Daño (SLD), Seguridad de Vida (SLV) y Prevención del Colapso (SLC).

Estado Límite de Prevención del Colapso (SLC)

El estado límite de prevención del colapso (SLC) puede seleccionarse, de acuerdo al NTC-18, cuando la estructura, luego de un terremoto, sufre agrietamiento severo, el colapso de los componentes no estructurales y existe daño severo en equipos y componentes estructurales. El edificio aun retiene rigidez y resistencia significativa ante las cargas verticales y un pequeño margen de seguridad en contra de las acciones laterales. El nivel apropiado de protección se alcanza escogiendo una acción sísmica con un periodo de retorno de 975 años correspondiente a una probabilidad de excedencia de 5% en 50 años.

Estado Límite de Seguridad de Vida (SLV)

El estado límite de Seguridad de Vida (SLV) puede seleccionarse, de acuerdo al NTC-18, cuando el edificio, luego de un terremoto, sufre agrietamiento y se da el colapso de componentes y equipo no estructurales, y hay daño significativo en los componentes estructurales, con una pérdida significativa de rigidez contra las acciones horizontales; la construcción aun retiene parte de la rigidez y resistencia antes acciones verticales y existe un margen de seguridad en contra del colapso ante acciones sísmicas horizontales. El nivel apropiado de protección se alcanza escogiendo la acción sísmica con un periodo de retorno de 475 años correspondiente a una probabilidad de excedencia de 10% en 50 años.

Estado Límite de Limitación del Daño (SLD)

El estado límite de limitación del daño (SLD) puede seleccionarse, de acuerdo al NTC-18, cuando el edificio luego de un terremoto, incluyendo los componentes estructurales y no estructurales, así como equipo necesario para su funcionamiento, sufre daño que no compromete significativamente la resistencia y rigidez ante acciones verticales y horizontales. La estructura permanece utilizable inmediatamente a pesar de la interrupción del uso de parte de sus equipos. El nivel apropiado de protección se alcanza al escoger una acción sísmica con un periodo de retorno de 50 años, correspondiente a una probabilidad de excedencia de 63% en 50 años.

Estado Límite de Nivel Operacional (SLO)

El estado límite de nivel operacional (SLO) puede seleccionarse de acuerdo al NTC-18, cuando el edificio, incluyendo los componentes estructurales y no estructurales, así como el equipo relevante para su función, no debe dañarse o sufrir interrupción luego de un terremoto. El nivel apropiado de protección se alcanza al escoger la acción sísmica con un periodo de retorno de 30 años, correspondiente una probabilidad de excedencia de 81% en 50 años.

Información para la Evaluación Estructural

Para poder escoger el tipo admisible de análisis y el factor de confianza apropiado, se definen los siguientes tres niveles de conocimiento:

- KL1: Conocimiento Limitado
- KL2: Conocimiento Adecuado

- KL3: Conocimiento Preciso

Los factores determinando el nivel de conocimiento adquirido son: (i) geometría, p. ej. las propiedades geométricas del sistema estructural y los elementos nos estructurales, como los relleno de mampostería que pueden afectar la respuesta estructural; (ii) detalles, que pueden incluir la cantidad y el detallado del refuerzo en secciones reforzadas de concreto, la conexión de los diafragmas de piso al sistemas de sismo resistencia, las juntas y el mortero entre la mampostería y la naturaleza de los elementos de refuerzo en la mampostería; y finalmente (iii) materiales, que es las propiedades mecánicas de los materiales constituyentes.

KL1: Conocimiento Limitado

El conocimiento limitado corresponde al estado del conocimiento donde la geometría estructural en general y los tamaños de los miembros son conocidos gracias a la inspección o a partir de planos de construcción originales usados para la construcción original y las modificaciones subsecuentes, además de suficientes muestras de dimensiones de geometría general y el tamaño de los miembros revisados en sitio. En caso de discrepancias entre los planos, una inspección dimensional más completa se lleva a cabo. Los detalles estructurales no se determinan a partir de dibujos de construcción detallados y se asumen basándose en diseño simulado de acuerdo con las prácticas usuales empleadas en la época de la construcción. Inspecciones limitadas se llevan a cabo en los elementos más críticos y deberían probar que lo asumido corresponde a la situación actual. Información sobre las propiedades mecánicas de los materiales de construcción no está disponible así que los valores preestablecidos se asumen de acuerdo con los estándares de la época de construcción, acompañados por pruebas in-situ de los elementos más críticos.

La evaluación estructural basada en este estado de conocimiento se lleva a cabo a través de métodos de análisis lineales ya sean estáticos o dinámicos.

KL2: Conocimiento Adecuado

El nivel normal de conocimiento corresponde al estado del conocimiento donde la geometría estructural general y los tamaños de los miembros se conocen a partir de inspecciones extendidas o a partir de planos constructivos usados en la construcción original y modificaciones subsecuentes, así como suficientes muestras de las dimensiones de la geometría general y el tamaño de los elementos. Los detalles estructurales son conocidos gracias a una inspección in-situ extensiva o a partir de detalles constructivos incompletos en combinación con inspecciones in-situ limitadas en los elementos más críticos, que confirman que la información disponible corresponde a la situación actual. Información sobre las propiedades mecánicas de los materiales de construcción está disponible a partir de las pruebas in situ extendidas o a partir de especificaciones del diseño original y pruebas en in-situ limitadas.

La evaluación estructural basada en este estado de conocimiento se lleva a cabo a través de métodos de análisis lineales o no lineales, ya sean estáticos o dinámicos.

KL3: Conocimiento Preciso

El nivel de conocimiento completo corresponde al estado del conocimiento donde la geometría estructural en general y el tamaño de los miembros son conocidos gracias inspecciones exhaustivas o a partir de planos de construcción usados en la construcción original y las modificaciones consecuentes, así como suficientes muestras de la geometría general y el tamaño de los miembros. Los detalles estructurales son conocidos gracias a una inspección in-situ exhaustiva o a partir del set completo de planos de construcción en combinación con inspecciones in-situ limitadas en los elementos más críticos, que prueban que la información disponible corresponde con la situación actual. Información sobre las propiedades mecánicas de los materiales de construcción está disponible a partir de pruebas in-situ exhaustivas o a partir de reportes originales sobre pruebas realizadas in-situ.

La evaluación estructural basada en este estado de conocimiento se lleva a cabo a través de métodos de análisis lineales o no lineales, ya sean estáticos o dinámicos.

Factores de Confianza

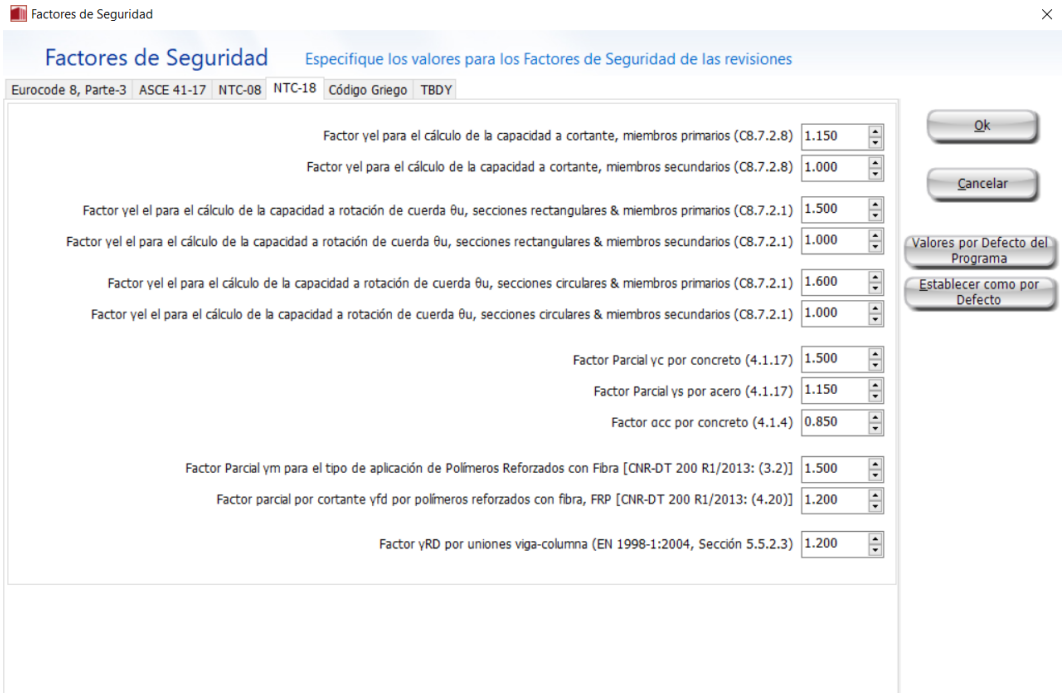
En la siguiente tabla de la sección C8.5.4.2 del comentario del NTC-18 un resumen y las recomendaciones para los factores de confianza y los métodos de análisis se proveen para cada nivel de conocimiento.

Nivel de Conocimiento	Geometría (trabajo estructural)	Detalles Estructurales	Propiedades de los Materiales	Métodos de Análisis	FC
LC1	A partir de planos originales, inspección visual, muestreo o a partir de inspección completa	Proyecto simulado en concordancia con las practicas constructivas de la época y con evidencia in-situ limitada	Valores usuales de la época constructiva y evidencia in-situ limitada	Análisis lineal estático o dinámico	1.35
LC2		Planos constructivos incompletos con revisiones in-situ limitadas o revisiones in-situ extensivas.	A partir de especificaciones originales del proyecto o por certificados originales con evidencia in-situ limitada o pruebas in-situ extensivas.	Todos	1.20
LC3		Planos constructivos completos con revisiones limitadas in-situ o pruebas in-situ exhaustivas.	Por certificados de pruebas originales o a partir de especificaciones originales del proyecto con pruebas extensivas o pruebas in-situ exhaustivas	Todos	1.00

Tabla C8.5.IV del comentario del NTC-18 – Niveles de Conocimiento con una función de la información disponible, métodos consecuentes de análisis y valores permitidos para los factores de confianza para edificios de concreto o acero.

Factores de Seguridad

Los valores de los factores de seguridad y las expresiones de Código empleados pueden especificarse a través del cuadro de diálogo que se abre desde el botón correspondiente. Se observa que los valores predeterminados de los factores de seguridad son los definidos en NTC-18.



Módulo de Factores de Seguridad

Modelos de Capacidad para Evaluaciones y Revisiones

Todas las revisiones en los miembros (capacidad de rotación de cuerda y capacidad de cortante) deben realizarse para todos los elementos de cada piso, de acuerdo con el apartado 4.1.2.3.5 de la NTC-18 y las secciones C8.7.2.3 de los Comentarios, considerando a los miembros como elementos sísmicos primarios o secundarios (sección 7.2.3 del NTC-18). Además, se pueden emplear comprobaciones de las uniones viga-columna para comprobar (i) la tensión diagonal de la unión y (ii) la compresión diagonal de la unión. Finalmente, se pueden realizar controles de deriva entre pisos cuando sea necesario para los elementos verticales de cada piso, de acuerdo con la sección 7.3.6.1 del NTC-18.

Capacidad de Deformación

La capacidad de deformación de las vigas, columnas y muros se define en términos de la rotación de cuerda θ, que es el ángulo entre la tangente del eje en el extremo donde ocurre la cedencia y la cuerda conectando ese extremo con el extremo del tramo a cortante (L_V=M/V=momento/cortante en la sección del extremo). La rotación de cuerda también es igual la razón de deriva del elemento, que es la deflexión en el extremo del tramo a cortante con respecto a la tangente del eje en el extremo de cedencia dividida entre el tramo a cortante.

La capacidad de deformación de las vigas y las columnas está altamente influenciada por la falta de detallado sísmico adecuado en el refuerzo longitudinal, así como también por el tipo de varillas, si la varilla es lisa o corrugada y/o si el acero trabajo en frío y frágil. Desarrollo inadecuado del traslape a lo largo del claro de una viga o la altura de una columna, así como confinamiento inadecuado en las uniones viga-columna pueden controlar la respuesta del miembro ante acciones sísmicas, drásticamente limitando su capacidad con respecto a la situación en la cual el refuerzo se considera completamente efectivo. Las limitaciones mencionadas ante la capacidad de deformación se toman en consideración.

El valor de la rotación de cuerda para el estado límite de prevención del colapso (SLC) es el valor de la rotación de cuerda total última (parte elástica más la inelástica) de los miembros de concreto bajo cargas cíclicas, la cual se calcula con la siguiente expresión:

Para vigas y columnas:

$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} \cdot 0{,}016 \cdot (0{,}3^{\nu}) \left[\frac{\max(0{,}01;\omega')}{\max(0{,}01;\omega)} f_c\right]^{0{,}225} \cdot \left(\frac{L_V}{h}\right)^{0{,}35} 25^{\left(\alpha\rho_{sx}\frac{f_{yw}}{f_c}\right)} (1{,}25^{100\rho_d})$$

(8.7.2.1) comentario del NTC-18

Donde γ_{el} es igual a 1,5 para los elementos sísmicos primarios y 1.0 para los secundarios, L_V es la razón entre el momento de flexión M, y la fuerza cortante V. Los parámetros restantes están definidos en la sección C8.7.2.3.2 del comentario del NTC-18.

Para muros el valor dado en la expresión anterior se divide entre 1.6.

La capacidad de rotación de cuerda correspondiente al estado límite de Seguridad de Vida (SLV) se asume como ¾ de la rotación de cuerda última, calculada con las ecuaciones anteriores.

La capacidad que corresponde a los estados límite operacional y de limitaciones del daño (SLO y SLD), están dados por la rotación de cuerda en la cedencia, evaluada como:

Para vigas y columnas:

$$\theta_y = \varphi_y \frac{L_V}{3} + 0{,}0013\left(1 + 1{,}5\frac{h}{L_V}\right) + 0{,}13\varphi_y \frac{d_b f_y}{\sqrt{f_c}}$$ (8.7.2.7a) comentario del NTC-18

Para muros:

$$\theta_y = \varphi_y \frac{L_V}{3} + 0{,}002\left(1 - 0{,}125\frac{L_V}{h}\right) + 0{,}13\varphi_y \frac{d_b f_y}{\sqrt{f_c}}$$ (8.7.2.7b) comentario del NTC-18

Los parámetros relevantes están definidos en la sección C8.7.2.3.4 de los comentarios del NTC-18.

La curvatura de cedencia en la sección del extremo se calcula de acuerdo con las siguientes expresiones para aquellas secciones cuya zona de compresión es de ancho constante y para el caso de que la cedencia de la sección se deba a que el acero esté en cedencia:

$$\varphi_y = (1/r)_y = \frac{f_y}{E_s(1-\xi_y)d}$$

Si la sección ha fluido debido a deformaciones inelásticas del concreto en compresión, es decir, por deformación de fibra en el extremo en compresión es mayor que $\varepsilon_c \approx 1.8\, f_c/E_c$, entonces la curvatura de cedencia se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\varphi_y = (1/r)_y = \frac{\varepsilon_c}{\xi_y d} \approx \frac{1.8 f_c}{E_c \xi_y d}$$

El valor menor de los dos valores anteriores se usa para el cálculo de la capacidad de rotación de acuerda.

De acuerdo con la sección C8.7.2.3.2 del comentario del NTC-18, la capacidad de rotación de cuerda está altamente influenciada por varios factores diferentes tales como el tipo de varillas de refuerzo longitudinales. Si se utilizan varillas de refuerzo lisas, entonces la rotación de cuerda ultima debe multiplicarse por el factor calculado de la ecuación 8.7.2.4 del comentario del NTC-18, tomando en también en cuenta si as varillas están bien traslapadas o no utilizando el factor de 8.7.2.3. En el caso de los miembros con falta de detallado apropiado para la resistencia sísmica la capacidad de rotación ultima se multiplica por 0.85.

En el caso de columnas circulares, las ecuaciones anteriores no pueden utilizarse para el cálculo de la capacidad de rotación de cuerda de los elementos. En SeismoStruct, la siguiente ecuación sugerida por D. Biskinis y M.N. Fardis [2013] se utiliza para θ_y y θ_u.

$$\theta_y = \varphi_y \frac{L_V + \alpha_V z}{3} + 0.0027\left(1 - \min\left(1; \frac{2}{15}\frac{L_s}{D}\right)\right) + \alpha_{sl}\frac{\varphi_y d_{bL} f_y}{8\sqrt{f_c}}$$

Donde los valores de f_y y f_c están en MPa, α_V=1 si V_{Rc}<V_{My}, V_{Rc} se calcula a partir del Eurocódigo 2 (CEN 2004), de otra forma α_V=0, y α_{sl}=0 si el deslizamiento de las varillas a tensión en las zonas de anclaje más allá del extremo en cedencia es físicamente imposible, si no α_{sl}=1.

$$\theta_u = \left(\theta_y + (\varphi_u - \varphi_y)L_{pl}(1 - 0.5\,L_{pl}/L_s) + \alpha_{sl}\Delta\theta_{u,slip}\right)/\gamma_{el}$$

Donde γ_{el} es igual a 2.0 para los elementos sísmicos primarios y a 1.0 para los elementos secundarios, $\Delta\theta_{u,slip}$ y L_{pl} se calculan de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$\Delta\theta_{u,slip} = 10 d_{bl}\left(\varphi_u + \varphi_y\right)/2$$

$$L_{pl} = 0.6D\left[1 + \frac{1}{6}\min\left(9; \frac{L_s}{D}\right)\right]$$

Se recomienda a los usuarios referirse a las publicaciones relevantes sobre la definición de los demás parámetros para obtener más detalles sobre la expresión.

Miembros Encamisados

Los valores de M_y^*, θ_y^* y θ_u^* para miembros encamisados que se adoptan para las verificaciones de capacidad dependen de los valores correspondientes calculados bajo los requisitos de la secciónC8.7.2.3.2 del comentario del NTC-18, de acuerdo con las siguientes ecuaciones de la sección C8.7.4.2.1 del comentario del NTC-18:

El momento de cedencia:

$M_y^* = 0.9M_y$ (8.7.4.2) comentario del NTC-18

Rotación de cuerda en la fluencia:

$\theta_y^* = 0.9\theta_y$ (8.7.4.3) comentario del NTC-18

Rotación de cuerda última:

$\theta_u^* = \theta_u$ (8.7.4.4) comentario del NTC-18

Envolturas FRP

El efecto de la envoltura FRP a la capacidad a flexión del miembro en la cedencia, calculada de acuerdo con el Anexo A del EN1998-3:2005 como se describe a continuación:

Se desprecia el efecto de la envoltura de FRP sobre la resistencia a la flexión de los miembros en fluencia, calculado de acuerdo con las ecuaciones C8.7.4.2.3 del comentario de NTC-18.

La capacidad total de rotación de acuerda y la parte plástica de los miembros de secciones rectangulares con esquinas redondeadas se calcula a través de la expresión8.7.2.1 del comentario de NTC-18, respectivamente, con el exponente del término de confinamiento incrementado por $\alpha\rho_f f_{f,e}$, donde α es el factor de efectividad del confinamiento, ρ_f la razón FRP paralela a la dirección de la carga y $f_{f,e}$ el esfuerzo efectivo dado por la ecuación (A.35) del EC8: Parte 3.

Capacidad de Momento Flector

La capacidad de momento flector de vigas, columnas y muros con sección prismática se calcula según el párrafo 4.1 de D. Biskinis y M.N. Fardis (2009), mientras que para la capacidad de momento flector de columnas circulares párrafo 4 de Biskinis y M.N. Fardis (2013) está empleado.

Capacidad a Cortante

La capacidad a cortante se calcula a través de las expresiones definidas en la sección 4.1.2.3.5 del NTC-18 y la sección C.8.7.2.3.5 del comentario de NTC-18, dependiendo del valor de la demanda de ductilidad.

En los casos en que el valor de la demanda de ductilidad es inferior a 1, la capacidad a cortante se calcula a partir de la ecuación 4.1.23 de NTC-18, que corresponde a los elementos sin tener en cuenta la armadura transversal:

$$V_{Rd} = \{[0{,}18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3}/\gamma_c + 0{,}15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d;\ (v_{min} + 0{,}15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d\} \quad \text{(4.1.23) NTC-18}$$

Cuando el valor de la demanda de ductilidad está entre 1 y 2, entonces la capacidad a cortante es igual al valor máximo obtenido de las ecuaciones 4.1.29 de NTC-18 y 8.7.2.8 del comentario de NTC-18.

Las ecuaciones 4.1.29 de NTC-18 corresponden a la capacidad de corte de los elementos teniendo en cuenta el refuerzo transversal.

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd}) \quad \text{(4.1.29) NTC-18}$$

donde V_{Rsd} es la resistencia al corte que corresponde a la contribución de la armadura de cortante y se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$V_{Rsd} = 0{,}9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha \quad \text{(4.1.27) NTC-18}$$

y V_{Rcd} es la resistencia al corte que corresponde al núcleo de concreto confinado y se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$V_{Rcd} = 0{,}9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta)/(1 + \text{ctg}^2\theta) \quad \text{(4.1.28) NTC-18}$$

La ecuación 8.7.2.8 del comentario de NTC-18 corresponde a la capacidad de corte controlada por los estribos, lo que representa la reducción debida a la parte plástica de la demanda de ductilidad.

$$V_R = \frac{1}{\gamma_{el}}\left[\frac{h-x}{2L_V}\min(N;\ 0{,}55A_c f_c) + \left(1 - 0{,}05\min\left(5;\ \mu_{\Delta,pl}\right)\right) \cdot \left[0{,}16\max(0{,}5;\ 100\rho_{tot})\left(1 - 0{,}16\min\left(5;\ \frac{L_V}{h}\right)\right)\sqrt{f_c}A_c + V_w\right]\right] \quad \text{(8.7.2.8) comentario del NTC-18}$$

donde γ_{el} es igual a 1,15 para los elementos sísmicos primarios y 1,0 para los secundarios, las otras variables se calculan como se define en la sección C.8.7.2.3.5 del comentario de NTC-18.

Si el valor de la demanda de ductilidad es mayor que 3, la capacidad de corte se calcula a partir de la ecuación 8.7.2.8 del comentario de NTC-18.

Finalmente, la interpolación lineal debe ejecutarse para valores de demanda de ductilidad entre 2 y 3.

Concreto Encamisado

La resistencia cíclica V_R, puede calcularse a partir de la sección 4.1 del NTC-18 agregando en V_w la contribución del encamisado FRP a la resistencia a cortante. La contribución del encamisado FRP se calcula a de acuerdo con la ecuación 4.19 del CNR-DT 200 R1/2013 de la siguiente forma:

$$V_R^* = 0.9V_R \quad \text{(8.7.4.1) comentario NTC-18}$$

Envoltura FRP

La resistencia cíclica V_R, puede calcularse a partir de la sección 4.1 del NTC-18 agregando en V_w la contribución del encamisado FRP a la resistencia a cortante. La contribución del encamisado FRP se calcula a de acuerdo con la ecuación 4.19 del CNR-DT 200 R1/2013 de la siguiente forma.

$$V_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot 0.9 \cdot d \cdot f_{fed} \cdot 2 \cdot t_f \cdot (\cot\theta + \cot\beta) \cdot \sin\beta$$

Elementos de Mampostería

Todas las revisiones de elementos de mampostería (capacidad de corte, momento de flexión y deriva) deben realizarse para todos los elementos de cada piso, de acuerdo con las secciones 7.8.2.2 y 7.8.3.2 de NTC-18 y la sección C8.7.1.3.1.1 de Comentario de NTC-18.

Capacidad a Cortante

La capacidad Cortante de los muros de mampostería no reforzada controlada por flexión bajo una carga axial N se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

Muros de mampostería sin refuerzo

Ecuación de Mohr-Coulomb, como se describe en la sección 7.8.2.2.2 de NTC-18 y la sección 6.2 de EC6, para mampostería con bloques

$$V_t = l' t f_{vd} \qquad \text{(7.8.3) NTC-18}$$

Ecuación de Turnšek-Čačovič, como se describe en la sección C8.7.1.3.1.1 del comentario de NTC-18, para mampostería irregular (piedras irregulares) y para mampostería regular existente (ladrillos, piedras regulares):

$$V_t = l \cdot t \frac{1.5\tau_{0d}}{b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1.5\tau_{0d}}} = l \cdot t \frac{f_{td}}{b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{f_{td}}}$$

Ecuación de Mann-Müller, como se describe en la sección C8.7.1.3.1.1 del comentario de NTC-18) para mampostería regular existente (ladrillos, piedras regulares):

$$V_t = \frac{lt}{b}\left(\tilde{f}_{v0d} + \tilde{\mu}\sigma_0\right) = \frac{lt}{b}\left(\frac{f_{v0d}}{1+\mu\varphi} + \frac{\mu}{1+\mu\varphi}\sigma_0\right) \leq V_{t,lim} \qquad \text{(8.7.1.24) comentario de NTC-18}$$

En algunos casos, es necesario tomar el valor más bajo entre las diferentes expresiones anteriores. Por ejemplo, en el caso del muro de mampostería no reforzada con ladrillos, el Comentario del NTC-18 requiere tomar el valor más bajo entre el criterio Turnšek-Čačovič y el criterio Mann-Müller.

Muros de mampostería reforzada

La capacidad a corante de los muros de mampostería reforzada se calcula, de acuerdo con la sección 7.8.3.2.2 de NTC-18, como la suma de la contribución de la mampostería (Vt, M) y del refuerzo (Vt, S), como se muestra en el siguiente expresión:

$$V_t = V_{t,M} + V_{t,S} \qquad \text{(7.8.7) NTC-18}$$

donde:

$$V_{t,M} = d \cdot t \cdot f_{vd} \qquad \text{(7.8.8) NTC-18}$$

y

$$V_{t,S} = \left(0{,}6 \cdot d \cdot A_{sw} \cdot f_{yd}\right)/s \qquad \text{(7.8.9) NTC-18}$$

Además, la capacidad a cortante no debe exceder el siguiente valor:

$$V_{t,c} = 0{,}3 \cdot f_d \cdot t \cdot d \qquad \text{(7.8.10) NTC-18}$$

Se aconseja a los usuarios que consulten el Código para la definición de los parámetros y más detalles sobre las expresiones.

Capacidad de Momento de Flexión

La capacidad de momento deflexión de muros de mampostería no reforzada esta calculada de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\mathrm{M_u} = \left(\mathrm{l}^2 \cdot \mathrm{t} \cdot \frac{\sigma_0}{2}\right)\left(1 - \frac{\sigma_0}{0{,}85\mathrm{f_d}}\right) \qquad \text{(7.8.2) NTC-18}$$

La capacidad de momento deflexión de los antepechos de mampostería no reforzada esta calculada de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\mathrm{M_u} = \mathrm{H_p} \cdot \frac{\mathrm{h}}{2} \cdot \left[1 - \frac{\mathrm{H_p}}{(0{,}85 \cdot \mathrm{f_{bd}} \cdot \mathrm{h} \cdot \mathrm{t})}\right] \qquad \text{(7.8.5) NTC-18}$$

La capacidad de momento de flexión de muros y antepechos de mampostería con refuerzo se calcula en base a la siguiente expresión de la sección 9.3.5.2 de TMS 402:

$$M_n = \left(P_u/\varphi + A_s f_y\right)\left(\frac{t_{sp} - \alpha}{2}\right) + A_s f_y\left(d - \frac{t_{sp}}{2}\right)$$

donde

$$\alpha = \frac{A_s f_y + P_u/\varphi}{0.80 f'_m b}$$

Las ecuaciones anteriores son válidas tanto para refuerzo de flexión centrado como no centrado. En el caso del refuerzo de flexión centrado, d = tsp / 2, la capacidad del momento de flexión se obtiene como:

$$M_n = \left(P_u/\varphi + A_s f_y\right)\left(d - \frac{\alpha}{2}\right)$$

Se aconseja a los usuarios que consulten el Código para la definición de los parámetros y más detalles sobre las expresiones.

Deriva

La capacidad de los muros de mampostería puede expresarse en términos de deriva. La deriva para muros de mampostería controlados por flexión se toma igual a 0.01 para muros sin refuerzo y 0.016 para muros con refuerzo, de acuerdo con las secciones 7.8.2.2.1 y 7.8.3.2.1 de NTC-18. Además, la deriva para muros de mampostería controlados por corte se toma igual a 0.005 para muros sin refuerzo y 0.008 para muros con refuerzo, de acuerdo con la sección 7.8.2.2.2 y 7.8.3.2.2 de NTC-18.

Tensión Diagonal en las Uniones

Según C8.7.2.3.5 del comentario de NTC-18, la tensión diagonal de tracción que puede ser inducida en la unión puede calcularse a partir de la siguiente expresión:

$$\sigma_{nt} = \left|\frac{N}{2A_g} - \sqrt{\left(\frac{N}{2A_g}\right)^2 + \left(\frac{V_n}{A_g}\right)^2}\right| \leq 0{,}3\sqrt{f_c}$$ (8.7.2.11) comentario del NTC-18

Compresión Diagonal en las Uniones

La compresión diagonal inducida en la unión por el mecanismo de puntal diagonal no debe exceder la resistencia a la compresión del hormigón en presencia de tensiones transversales de tracción. NTC-18 indica la siguiente expresión para el cálculo de la capacidad de compresión diagonal de las uniones:

$$\sigma_{nc} = \frac{N}{2A_g} + \sqrt{\left(\frac{N}{2A_g}\right)^2 + \left(\frac{V_n}{A_g}\right)^2} \leq 0{,}5 f_c$$ (8.7.2.12) comentario delNTC-18

Para la definición de los valores puede consultar la sección C8.7.2.3.5 del comentario de la NTC-18.

Derivas Entre Pisos

De acuerdo con el apartado 7.3.6.1 de la NTC-18, el daño causado por la acción sísmica debe limitarse a elementos no estructurales y debe asegurarse que no se causarán daños estructurales que harían la estructura temporalmente inutilizable.

Este objetivo se alcanza cuando los valores de deriva entre pisos relativos a los estados límite de nivel operacional (SLO) y limitación del daño (SLD), están por debajo de los límites indicados en la siguiente tabla:

	Desplazamientos relativos d_r para el Estado Límite de Limitación de Daño	Desplazamientos relativos d_r para el Estado Límite de Nivel Operacional
Infill rígidamente conectado a la estructura e interfiere con la deformabilidad de la misma	0,005 h*	2/3 del de daño del estado de límite de limitación
Infilldiseñado,para no sufrir daño a causa de derivas d_{rp}, que son causadas por la deformabilidad misma del panel o las conexiones con la estructura	$d_r < d_{rp} < 0{,}01$ h	

Tabla C8.7.1 del comentario del NTC-18 – Valores Límite de la Deriva Entre Pisos

Curva de Capacidad

Cada análisis de empuje conduce a una curva de capacidad, que es una relación entre el cortante total en la base y el desplazamiento horizontal de un punto representativo de la estructura, denominado "nodo de control", con los valores del desplazamiento de control comprendidos entre cero y un valor máximo definido por el usuario.

Desplazamiento Objetivo

El desplazamiento objetivo está definido como la demanda sísmica derivada del espectro de respuesta elástica en términos de desplazamiento de un sistema equivalente de un solo grado de libertad. Para definir el desplazamiento objetivo de un MDOF deben seguirse un número de pasos establecidos en C7.3.4.2 del NTC-18.

La siguiente relación entre las fuerzas laterales normalizadas F_i y los desplazamientos normalizados Φ_i se asume:

$$F_i = m_i \Phi_i$$

Donde mi es la masa en piso i.

Los desplazamientos se normalizan de tal forma que $\Phi_n = 1$, donde n es el nodo de control, consecuentemente $F_n = m_n$.

Transformación de un Sistema de un Solo Grado de Libertad (SDOF)

El factor de transformación está dado por:

$$\Gamma = \frac{\varphi^T M \tau}{\varphi^T M \varphi} \qquad \text{(C7.3.5) comentario del NTC-18}$$

El vector τ es el vector de deformación correspondiente a la dirección del terremoto considerada; el vector φ es el modo de vibración fundamental del sistema real normalizado de forma que $d_c = 1$; y la matriz M es la matriz de masa real del sistema.

La fuerza F^* y el desplazamiento d^* del sistema equivalente de SDOF se calcula como:

$$F^* = F_b / \Gamma$$

$$d^* = d_c / \Gamma \qquad \text{(C7.3.4) comentario del NTC-18}$$

Donde F_b y d_c son la fuerza cortante en el nodo de control y el desplazamiento del sistema de múltiples grados de libertad MDOF respectivamente.

La fuerza de cedencia F_y^*, la cual representa también la capacidad última del sistema SDOF, es igual a la fuerza cortante en la base en el momento de la formación del mecanismo plástico. La rigidez inicial del sistema idealizado se determina de tal manera que las áreas bajo las relaciones de fuerza deformación real e idealizada son iguales, como se muestra en la figura C7.3.1 del NTC-18 abajo:

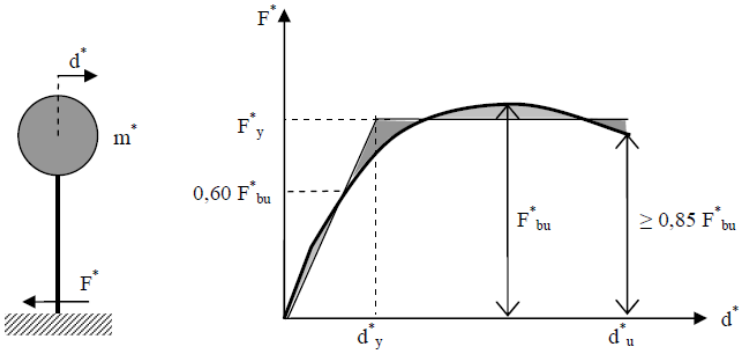


Figura C7.3.1 del comentario del NTC-18: Determinación de la relación idealizada fuerza-desplazamiento del NTC-18

La curva de capacidad del sistema equivalente debe ser reemplazada por una curva bilineal idealizada, la cual tiene un primer tramo lineal y un segundo tramo lineal elástico perfectamente plástico (ver Fig. C7.3.1). La curva de capacidad idealizada está definida por dos puntos, el primero corresponde a $0{,}6F_{bu}^*$, donde $F_{bu}^* = F_{BU}/\Gamma$ es la máxima resistencia del sistema equivalente y F_{BU} la máxima resistencia del sistema estructural real. El segundo punto corresponde a la fuerza de cedencia F_y^*, el cual puede definirse gráficamente, basándose en el criterio aproximado de áreas equivalentes de las secciones definidas arriba y debajo de la intersección entre las curvas real e idealizada para el desplazamiento máximo d_u^* que corresponde a una reducción de la resistencia $\leq 0{,}15F_{bu}^*$.

Determinación del periodo idealizado del sistema SDOF equivalente

El periodo T* del SDOF idealizado puede determinarse con la expresión:

$$T^* = 2\pi\sqrt{\frac{m^*}{k^*}} \qquad \text{(C7.3.6) comentario del NTC-18}$$

Donde k^* es la rigidez de la parte elástica de la curva bilineal.

Determinación del desplazamiento objetivo equivalente del sistema SDOF

Para la determinación del desplazamiento objetivo d^*_{max} para estructuras en el rango de periodos cortos y para estructuras en los rangos estructuras en el rango de periodos mediano a largos diferentes expresiones pueden ser empleadas como se indica a continuación. El periodo esquina entre los periodos cortos y medianos se llama T_C.

El desplazamiento objetivo para estructuras con $T^* \geq T_C$ está dada por:

$$d^*_{max} = d^*_{e,max} = S_{De}(T^*) \qquad \text{(C7.3.7) comentario del NTC-18}$$

$$\text{con } S_{De}(T^*) = S_e(T^*)\left[\frac{T^*}{2\pi}\right]^2 \qquad \text{(3.2.10) NTC-18}$$

Donde $S_e(T^*)$ es el espectro de respuesta de aceleración elástica en el periodo T^*.
El desplazamiento objetivo de las estructuras con un periodo $T^* < T_C$ está dado por:

$$d^*_{max} = \frac{d^*_{e,max}}{q^*}\left[1 + (q^* - 1)\frac{T_C}{T^*}\right] \geq d^*_{e,max} \qquad \text{(C7.3.8) comentario del NTC-18}$$

Donde $q^* = S_e(T^*)\, m^*/F_y^*$ es la razón entre la aceleración en la estructura con comportamiento elástico ilimitado $S_e(T^*)$ y la estructura con resistencia limitada F_y^*/m^*.
En los casos en que $q^* \leq 1$ entonces $d^*_{max} = d^*_{e,max}$.

Determinación del desplazamiento objetivo para un sistema MDOF

El desplazamiento del sistema MDOF está dado por:

$$d_t = \Gamma d^*_{max}$$

Debe notarse que el desplazamiento objetivo corresponde al desplazamiento en el nodo de control.

Apéndice H4 - KANEPE

En este apéndice se presentan los parámetros usados para la evaluación de estructuras de acuerdo con el Código Griego de Intervenciones KANEPE.

Requisitos de Desempeño

De acuerdo con KANEPE sección 2.2, los objetivos de evaluación o rediseño (Tabla 2.1) consiste de una combinación del nivel de desempeño y de una acción sísmica, dada un "probabilidad aceptable de excedencia dentro del ciclo de vida del edificio" (terremoto de diseño), como se muestra en la Tabla 2.1 siguiente del código KANEPE.

Probabilidad de excedencia dentro de un ciclo de vida convencional de 50 años de la estructura	Niveles de Desempeño Objetivo del Edificio		
	A Ocupación Inmediata	B Seguridad de Vida	C Prevención del Colapso
2%	A0	B0	C0
5%	$A1^+$	$B1^+$	$C1^+$
10%	A1	B1	C1
20%	$A2^+$	$B2^+$	$C2^+$
30%	A2	B2	C2
50%	$A3^+$	$B3^+$	$C3^+$
70%	A3	B3	C3
90%	$A4^+$	$B4^+$	$C4^+$
>90%	A4	B4	C4

Tabla 2.1 Objetivos de evaluación o rediseño de la estructura.

Los niveles de desempeño objetivo del edificio se refieren al estado de daño en la estructura definido dentro de tres estados límite que son, Ocupación Inmediata (A), Seguridad de Vida (B) y Prevención del Colapso (C).

Nivel de Desempeño de Ocupación Inmediata (A)

La Ocupación Inmediata luego de un terremoto (A), de acuerdo con KANEPE, es la condición en la cual se espera que no haya interrupción en la operación del edificio durante y después de la ocurrencia del terremoto de diseño, con la posible excepción de funciones de importancia menor. Unas cuantas grietas menores pueden ocurrir en la estructura.

Nivel de Desempeño de Seguridad de Vida (B)

La Seguridad de Vida (B), de acuerdo con KANEPE, es una condición en la cual el daño ocasionado a la estructura es reparable y ocurre durante el terremoto de diseño, sin causar pérdidas o lesiones graves a las personas y sin daño sustancial a la propiedad personal o a los materiales almacenados en el edificio.

Nivel de Desempeño de Prevención del Colapso (C)

La Prevención del Colapso (C), de acuerdo con KANEPE, es una condición en la cual daño extenso o severo (no reparable, en general) se espera durante la ocurrencia del terremoto de diseño; sin embargo,

la estructura retiene su habilidad de soportar las cargas verticales prescritas (durante el terremoto y por un periodo de tiempo luego del terremoto), pero sin haber ningún factor de seguridad sustancial en contra del colapso parcial o total de la estructura.

La elección del cual de los objetivos de desempeño se revisará puedeencontrase en el código KANEPE.

INFORMACIÓN PARA LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

Para poder escoger el tipo de análisis admisible y los factores de seguridad apropiados, los siguientes tres niveles de confiabilidad (DRL) se definen:

- DRL Tolerable
- DRL Suficiente
- DRL Alto

Los factores que determinan el nivel de conocimiento adquirido son: (i) geometría, p. ej. las propiedades geométricas del sistema estructural y los elementos no estructurales, como los rellenos de mampostería; (ii) detalles, que pueden incluir la cantidad y el detallado del refuerzo en secciones reforzadas de concreto, la conexión de los diafragmas de piso al sistemas de sismo resistencia, las juntas y el mortero entre la mampostería y la naturaleza de los elementos de refuerzo en la mampostería; y finalmente (iii) materiales, que es las propiedades mecánicas de los materiales constituyentes.

DRL Tolerable

El nivel de conocimiento tolerable corresponde al estado del conocimiento donde la geometría estructural en general y los tamaños de los miembros son conocidos gracias a la inspección o a partir de planos de construcción originales usados para la construcción original y las modificaciones subsecuentes, además de suficientes muestras de dimensiones de geometría general y el tamaño de los miembros revisados en sitio. En caso de discrepancias entre los planos, una inspección dimensional más completa se lleva a cabo. Los detalles estructurales no se determinan a partir de dibujos de construcción detallados y se asumen basándose en diseño simulado de acuerdo con las prácticas usuales empleadas en la época de la construcción. Inspecciones limitadas se llevan a cabo en los elementos más críticos y deberían probar que lo asumido corresponde a la situación actual. Información sobre las propiedades mecánicas de los materiales de construcción no está disponible así que los valores preestablecidos se asumen de acuerdo con los estándares de la época de construcción, acompañados por pruebas in-situ de los elementos más críticos.

La evaluación estructural basada en este estado de conocimiento se lleva a cabo a través de métodos de análisis lineales ya sean estáticos o dinámicos.

DRL Suficiente

El conocimiento suficiente corresponde al estado del conocimiento donde la geometría estructural general y los tamaños de los miembros se conocen a partir de inspecciones extendidas o a partir de planos constructivos usados en la construcción original y modificaciones subsecuentes, así como suficientes muestras de las dimensiones de la geometría general y el tamaño de los elementos. Los detalles estructurales son conocidos gracias a una inspección in-situ extensiva o a partir de detalles constructivos incompletos en combinación con inspecciones in-situ limitadas en los elementos más críticos, que confirman que la información disponible corresponde a la situación actual. Información sobre las propiedades mecánicas de los materiales de construcción está disponible a partir de las pruebas in situ extendidas o a partir de especificaciones del diseño original y pruebas en in-situ limitadas.

La evaluación estructural basada en este estado de conocimiento se lleva a cabo a través de métodos de análisis lineales o no lineales, ya sean estáticos o dinámicos.

DRL Alto

El nivel de conocimiento alto corresponde al estado del conocimiento donde la geometría estructural en general y el tamaño de los miembros son conocidos gracias inspecciones exhaustivas o a partir de planos

de construcción usados en la construcción original y las modificaciones consecuentes, así como suficientes muestras de la geometría general y el tamaño de los miembros. Los detalles estructurales son conocidos gracias a una inspección in-situ exhaustiva o a partir del set completo de planos de construcción en combinación con inspecciones in-situ limitadas en los elementos más críticos, que prueban que la información disponible corresponde con la situación actual. Información sobre las propiedades mecánicas de los materiales de construcción está disponible a partir de pruebas in-situ exhaustivas o a partir de reportes originales sobre pruebas realizadas in-situ.

La evaluación estructural basada en este estado de conocimiento se lleva a cabo a través de métodos de análisis lineales o no lineales, ya sean estáticos o dinámicos.

Factores Parciales

Los valores recomendados para los factores parciales correspondientes al nivel de confiabilidad alcanzado, como se define en la sección 4.5 de KANEPE, se introducen en el módulo de Factores de Seguridad. Losusuarios pueden editar los valores asignados.



Módulo de Factores de Seguridad

Modelos de Capacidad para Evaluaciones y Revisiones

Todas las revisiones en los miembros (capacidad de rotación de cuerda y capacidad a cortante) deben llevarse a cabo para todos los elementos en todos los pisos, de acuerdo con las secciones 7.2.2, 7.2.4 y Apéndice 7C of KANEPE, considerando todos los miembros como elementos sísmicos primarios o secundarios, designados de acuerdo con las definiciones en la sección 2.4.3.4 of KANEPE.

Capacidad de Deformación

La capacidad de deformación de las vigas, columnas y muros se define en términos de la rotación de cuerda θ, que es el ángulo entre la tangente del eje en el extremo donde ocurre la cedencia y la cuerda conectando ese extremo con el extremo del tramo a cortante (L_V=M/V=momento/cortante en la sección del extremo). La rotación de cuerda también es igual la razón de deriva del elemento, que es la deflexión en el extremo del tramo a cortante con respecto a la tangente del eje en el extremo de cedencia dividida entre el tramo a cortante.

La capacidad de deformación de las vigas y las columnas está altamente influenciada por la falta de detallado sísmico adecuado en el refuerzo longitudinal, así como también por el tipo de varillas, si la varilla es lisa o corrugada y/o si el acero es forjado en frío y frágil. Desarrollo inadecuado del traslape a lo largo del claro de una viga o la altura de una columna, así como confinamiento inadecuado en las uniones viga-columna pueden controlar la respuesta del miembro ante acciones sísmicas, drásticamente limitando su capacidad con respecto a la situación en la cual el refuerzo se considera completamente efectivo. Las limitaciones mencionadas ante la capacidad de deformación se toman en consideración.

El valor de la rotación de cuerda para el nivel de desempeño de ocupación inmediata (A) es el valor de la capacidad de rotación en la cedencia a flexión, θ_y, el cual se calcula a partir de las ecuaciones (S.2a) y (S.2.b) del KANEPE:

- Para vigas y columnas:

$$\theta_y = \left({}^{1}/_{r}\right)_y \frac{L_s + \alpha_V z}{3} + 0{,}0014\left(1 + 1{,}5\frac{h}{L_s}\right) + \frac{\left({}^{1}/_{r}\right)_y d_b f_y}{8\sqrt{f_c}} \qquad \text{(S.2a) KANEPE}$$

- Para muros:

$$\theta_y = \left({}^{1}/_{r}\right)_y \frac{L_s + \alpha_V z}{3} + 0{,}0013 + \frac{\left({}^{1}/_{r}\right)_y d_b f_y}{8\sqrt{f_c}} \qquad \text{(S.2b) KANEPE}$$

Donde$L_s$es la razón entre el momento, M y la fuerza cortante, V; y $a_V$es igual a 1,0 si el valor de la fuerza cortante V_{R1}, que causa el agrietamiento diagonal del elemento, e menor que el valor de la fuerza cortante durante la cedencia a flexión $V_{Mu}=M_y/L_s$ o es 0 de cualquier otra forma.

El valor de la capacidad de rotación de cuerda para el nivel de seguridad de vida (B) se calcula a partir de la siguiente ecuación, de acuerdo con la sección 9.3.1 del KANEPE.

$$\theta_d = 0{,}5\left(\theta_y + \theta_{um}\right)/\gamma_{Rd}$$

Donde θ_y se calcula de acuerdo con las ecuaciones (S.2a) y (S.2b) y θ_{um}de acuerdo con (S.11a) y (S.11b) del KANEPE.

El valor de la capacidad de rotación de cuerda para el nivel de prevención del colapso (C) es el valor promedio de la capacidad de rotación de cuerda en el momento de la falla, el cual se calcula de acuerdo con la ecuación S.11a del KANEPE, a partir de las siguientes expresiones:

- Para vigas y columnas diseñadas y construidas basándose en provisiones sísmicas post-1985:

$$\theta_{um} = 0{,}016 \cdot (0{,}3^{\nu}) \left[\frac{\max(0{,}01;\omega')}{\max(0{,}01;\omega)} f_c\right]^{0{,}225} \cdot (\alpha_s)^{0{,}35} 25^{\left(\alpha\rho_s \frac{f_{yw}}{f_c}\right)} (1{,}25^{100\rho_d}) \qquad \text{(S.11a) KANEPE}$$

- Para muros de sección rectangular diseñados y construidos basándose en provisiones post-1985 tomando en consideración el párrafo ii) del comentario de la sección 7.2.4.1b:

$$\theta_{um} = 0{,}01 \cdot (0{,}3^{\nu}) \left[\frac{\max(0{,}01;\omega')}{\max(0{,}01;\omega)} f_c\right]^{0{,}225} \cdot (\alpha_s)^{0{,}35} 25^{\left(\alpha\rho_{sx} \frac{f_{yw}}{f_c}\right)} (1{,}25^{100\rho_d}) \qquad \text{(S.11a) KANEPE}$$

Los valores de arriba se dividen por el factor γ_{Rd}de acuerdo con la sección 9.3.1 del KANEPE.

La capacidad total de rotación de cuerda última de los miembros de concreto sujetos a cargas cíclicas también puede calcularse como la suma de la rotación de cuerda en la cedencia y la parte plástica de la capacidad de rotación de cuerda, calculada a partir de la siguiente expresión:

- Para vigas y columnas diseñadas y construidas basándose en provisiones sísmicas post-1985: con provisiones sísmicas:

$$\theta_{um}^{pl} = \theta_u - \theta_y = 0{,}0145 \cdot (0{,}25^{\nu}) \left[\frac{\max(0{,}01;\omega')}{\max(0{,}01;\omega)}\right]^{0{,}3} (f_c)^{0{,}2} (\alpha_s)^{0{,}35} 25^{\left(\alpha\rho_s \frac{f_{yw}}{f_c}\right)} (1{,}275^{100\rho_d})$$

(S.11b) KANEPE

- Para muros de sección rectangular diseñados y construidos basándose en provisiones post-1985 tomando en consideración el párrafo ii) del comentario de la sección 7.2.4.1b:

$$\theta_{um}^{pl} = \theta_u - \theta_y = 0{,}0087 \cdot (0{,}25^{\nu}) \left[\frac{\max(0{,}01;\omega')}{\max(0{,}01;\omega)}\right]^{0{,}3} (f_c)^{0{,}2} (\alpha_s)^{0{,}35} 25^{\left(\alpha\rho_s \frac{f_{yw}}{f_c}\right)} (1{,}275^{100\rho_d})$$

(S.11b) KANEPE

Para elementos con las varillas deformadas diseñados y construidos de acuerdo con las reglas pre-1985 que aplicaban en Grecia, los valores calculados basándose en las ecuaciones S.8a y S.8b descritas arriba necesitan ser divididos entre 1.2.

La curvatura de cedencia de la sección en el extremo se calcula de acuerdo con la ecuación siguiente (Apéndice 7A del KANEPE), para las secciones cuya zona compresiva es de un ancho constante y para el caso de que está en la cedencia debido a la cedencia del acero.

$$\varphi_y = (1/r)_y = \frac{f_y}{E_s(1-\xi_y)d}$$ (A.1) KANEPE

Si la sección ha fluido debido a deformaciones inelásticas del concreto en compresión, es decir, por deformación de fibra en el extreme en compresión es mayor que $\varepsilon_c \approx 1.8\, f_c/E_c$, entonces la curvatura de cedencia se calcula de acuerdo con la siguiente expresión, del Apéndice 7A KANEPE:

$$\varphi_y = (1/r)_y = \frac{\varepsilon_c}{\xi_y d} \approx \frac{1.8 f_c}{E_c \xi_y d}$$ (A.2) KANEPE

El valor menor de los dos valores anteriores se usa para el cálculo de la capacidad de rotación de acuerda.

De acuerdo con la sección 7.2.4 del KANEPE la capacidad de rotación de cuerda está altamente influenciada por varios factores diferentes tales como el año de construcción. Si la estructura ha sido construida antes de 1985, entonces los valores promedio de la rotación de cuerda se dividen entre 1.2. Además, si se utilizan varillas de refuerzo con extremos rectos traslapadas al inicio de la sección del extremo de un miembro, la parte plástica de la rotación de cuerda se calcula con el valor del refuerzo a compresión, ω', al doble sobre el valor aplicado fuera de la región de traslape. En secciones donde la longitud de traslape entre secciones lb es menor que la longitud de traslape mínima para alcanzar la deformación ultima lb/lbu,min (información sobre el cálculo puede encontrarse en la sección 7.2.4 del KANEPE, mientras para el valor de rotación de cuerda de cedencia, θy que toma en cuenta el efecto de traslape pueden encontrarse en la sección 7.2.2 del KANEPE). Finalmente, si varillas longitudinales lisas se utilizan, los valores obtenidos para las varillas corrugadas deben multiplicarse por un factor igual a 95% y en el caso de tener elementos con traslape en el refuerzo lb menor que 15db, el valor promedio de la rotación de cuerda en el momento de la falla se multiplica por un factor disponible en la sección 7.2.4 del KANEPE

En el caso de columnas circulares, las ecuaciones anteriores no pueden utilizarse para el cálculo de la capacidad de rotación de cuerda de los elementos. En SeismoStruct, la siguiente ecuación sugerida por D. Biskinis y M.N. Fardis [2013] se utiliza para θ_y y θ_u.

$$\theta_y = \varphi_y \frac{L_V + \alpha_V z}{3} + 0.0027\left(1 - \min\left(1; \frac{2}{15}\frac{L_s}{D}\right)\right) + \alpha_{sl}\frac{\varphi_y d_{bL} f_y}{8\sqrt{f_c}}$$

Donde los valores de f_y y f_c están en MPa, α_V=1 si $V_{Rc}<V_{My}$, V_{Rc} se calcula a partir del Eurocódigo 2 (CEN 2004), de otra forma α_V=0, y α_{sl}=0 si el deslizamiento de las varillas a tensión en las zonas de anclaje más allá del extremo en cedencia es físicamente imposible, si no α_{sl}=1.

$$\theta_u = \left(\theta_y + (\varphi_u - \varphi_y) L_{pl}\left(1 - 0.5\, L_{pl}/L_s\right) + \alpha_{sl}\Delta\theta_{u,slip}\right)/\gamma_{el}$$

Donde γel es igual a 2.0 para los elementos diseñados con provisiones anteriores al 1985 sobre diseño sísmico y 1.0 para los elementos diseñados y construidos posteriores a 1985, $\Delta\theta_{u,slip}$ y L_{pl} se calculan de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$\Delta\theta_{u,slip} = 10 d_{bl}\left(\varphi_u + \varphi_y\right)/2$$

$$L_{pl} = 0.6D\left[1 + \frac{1}{6}\min\left(9; \frac{L_s}{D}\right)\right]$$

Se recomienda a los usuarios referirse a las publicaciones relevantes sobre la definición de los demás parámetros para obtener más detalles sobre la expresión.

Concreto Encamisado

El valor de la capacidad de rotación de cuerda de los miembros encamisados que se adopta en las verificaciones de capacidad depende de los valores correspondientes calculados bajo los requisitos de la sección 8.2.1 de KANEPE, adpatados de acuerdo con las siguientes ecuaciones de la sección 8.2.1.5(η) de KANEPE:

El momento de fluencia:

$$M_y^* = 0.90M_y$$

La rotación de cuerda en la fluencia:

$$\theta_y^* = 1.25\theta_y$$

La rotación de cuerda última:

$$\theta_u^* = 0.80\theta_u$$

Envolturas FRP

La contribución de la envoltura FRP en la capacidad de los miembros se toma en cuenta de Acuerdo al Anexo A del EN1998-3:2005, como se describe a continuación:

El efecto de la envoltura FRP en la resistencia a flexión de los elementos en la cedencia, calculado de acuerdo con la sección 7.2.2, se desprecia.

La capacidad total de rotación de cuerda y su parte plástica para los miembros de secciones rectangulares con bordes redondeados se calcula a través de las expresiones (S.11a) y (S.11b) respectivamente, con el exponente del término debido al confinamiento incrementado por $\alpha\rho_f f_{f,e}$, donde α es el factor de confinamiento efectivo, ρ_f es la razón de la envoltura FRP paralela a la dirección de la carga y $f_{f,e}$ el esfuerzo efectivo dado por la ecuación (A.35) del EC8: Parte 3.

Capacidad de Momento Flector

La capacidad de momento flector de vigas, columnas y muros con sección prismática se calcula según el párrafo 4.1 de D. Biskinis y M.N. Fardis (2009), mientras que para la capacidad de momento flector de columnas circulares párrafo 4 de Biskinis y M.N. Fardis (2013) está empleado.

Capacidad a Cortante

La capacidad a cortante se calcula mediante las siguientes expresiones de acuerdo con el Anexo 7C del KANEPE, y está controlada por los estribos, tomando en cuenta también la reducción debido a la parte plástica de la demanda de ductilidad.

$$V_R = \frac{h-x}{2L_s}\min(N; 0{,}55A_c f_c) + \left(1 - 0{,}05\min\left(5; \mu_\theta^{pl}\right)\right)\left[0{,}16\max(0{,}5; 100\rho_{tot})\,(1 - 0{,}16\min(5; \alpha_s))\sqrt{f_c}A_c + V_w\right] \quad \text{(C.1) KANEPE}$$

La capacidad a cortante de un muro no puede tomarse como mayor que el valor correspondiente a la falla por aplastamiento del alma, $V_{R,max}$, la cual bajo carga cíclica se calcula de acuerdo con el Anexo 7C del KANEPE, a partir de las siguiente expresión:

$$V_{R,max} = 0{,}85\left(1 - 0{,}06\min\left(5; \mu_\theta^{pl}\right)\right)\left(1 + 1{,}8\min\left(0{,}15; \frac{N}{A_c f_c}\right)\right)\left(1 + 0{,}25\max(1{,}75; 100\rho_{tot})\right)\cdot\left(1 - 0{,}2\min(2; \alpha_s)\right)\sqrt{f_c}b_w z \quad \text{(C.4) KANEPE}$$

La capacidad a cortante, V_R, de las columnas con una razón de cortante $\alpha_s \leq 2.0$ no pueden tomarse mayor al valor correspondiente de la falla por aplastamiento del alma a lo largo de la diagonal de la columna

luego de la cedencia a flexión, $V_{R,max}$, la cual bajo carga cíclica se calcula de acuerdo con el Anexo 7C del KANEPE a partir de la expresión:

$$V_{R,max} = {}^{4}/_{7}\left(1 - 0{,}02\min\left(5; \mu_{\theta}^{pl}\right)\right)\left(1 + 1{,}35\frac{N}{A_c f_c}\right)\left(1 + 0{,}45(100\rho_{tot})\right)\sqrt{\min(40; f_c)}\, b_w z \sin 2\delta$$

(C.5) KANEPE

Donde δ es el ángulo entre la diagonal y el eje de la columna ($\tan\delta = h/2L_s = 0.5/\alpha_s$).

La posibilidad de deslizamiento en la base o en cualquier parte de la sección donde pueda fluir el refuerzo longitudinal debe examinarse en paredes. La resistencia al deslizamiento no se debe verificar en las paredes donde ocurre la falla por cortante antes de la deformación por flexión. La resistencia al deslizamiento puede calcularse a partir de la siguiente ecuación del Apéndice 7C de KANEPE:

$$V_{R,SLS} = V_i + V_f + V_d \qquad \text{(C.6) KANEPE}$$

Con

$$V_i = \sum A_{si} f_{yi} \cos\varphi \qquad \text{(C.7) KANEPE}$$

$$V_f = \min\left(\mu\left[\left(\sum A_{sv} f_{yv} + N\right)\xi + M_y/z\right]; 0.3 f_c A_{compr}\right) \qquad \text{(C.8) KANEPE}$$

donde ξ se calcula de acuerdo con las ecuaciones C.10-C13 del Apéndice 7C de KANEPE, y

$$V_d = 1.6\sum A_{sv}\sqrt{f_c f_{yv}} \le \sum A_{sv} f_{yv}/\sqrt{3} \qquad \text{(C.9) KANEPE}$$

Se aconseja a los usuarios que consulten la publicación pertinente para la definición de los parámetros y más detalles sobre las expresiones anteriores.

Alternativamente, la resistencia al deslizamiento puede calcularse a partir de la siguiente ecuación del Apéndice 7C de KANEPE:

$$V_{R,SLS} = \left(1 - 0{,}025\mu_{\theta}^{pl}\right)\min\begin{pmatrix} 0{,}5\sum\left[A_s f_y(0{,}6\sin\varphi + \cos\varphi)\right] + 0{,}6N + 1{,}1\sum\left[A_s\sqrt{f_c f_y}\sin\varphi\right]; \\ 0{,}2\min\left(0{,}55; 0{,}55\left(\frac{30}{f_c}\right)^{\frac{1}{3}}\right) f_c A_c \end{pmatrix}$$

(C.14) KANEPE

Se recomienda a los usuarios que consulten la publicación relevante para la definición de los parámetros y más detalles sobre la expresión.

Las ecuaciones (C.1) - (C.3) y (C.4) se pueden usar para paredes con una relación de cortante$\alpha_s \ge 1.0$. Para muros con baja relación de corte $\alpha_s \le 1.2$, la capacidad de corte debe calcularse a partir de la siguiente ecuación del Apéndice 7C de KANEPE:

$$V_{R,squat} = V_{si} + V_c \qquad \text{(C.15) KANEPE}$$

con

$$V_s = \min\begin{Bmatrix} \rho_h b_w \min((d - x)/\tan\theta_{cr}, L_s) f_{yh} \\ \left(\rho_v b_w \min(L_s \tan\theta_{cr}, d - x) f_{yv} + A_s f_y\right)/\tan\theta_{cr} \end{Bmatrix} \qquad \text{(C.16) KANEPE}$$

y

$$V_c = (1 + 150\rho)(1 - 0.725\alpha_s)\left(\frac{2}{3}A_c f_{ct}\sqrt{1 + \frac{N}{A_c f_{ct}}}\right) \qquad \text{(C.17) KANEPE}$$

Se recomienda a los usuarios que consulten la publicación pertinente para la definición de los parámetros y más detalles sobre las expresiones.

Concreto Encamisado

El valor de la capacidad a cortante, V_R^*, de los miembros encamisados se adopta en las verificaciones de capacidad dependiendo del valor correspondiente calculado bajo los requisitos de la sección 8.2.1 del KANEPE, de acuerdo con la ecuación siguiente de la sección 8.2.1.5(η) de KANEPE:

$$V_R^* = 0.9V_R$$

Envoltura FRP

La resistencia cíclica V_R, puede calcularse a partir de la expresión (C.1) de KANEPE agregando en V_w la contribución del encamisado FRP a la resistencia a cortante. La contribución del encamisado FRP Vjd se calcula a través de la siguiente expresión:

$$V_{jd} = \sigma_{jd}\rho_j b_w h_{j,ef}(cot\theta + cot\alpha)sin^2\alpha \qquad (8.13)\ \text{KANEPE}$$

donde ρ_f el radio geométrico del FRP, calculado de acuerdo a la ecuación (S8.8) del KANEPE.

Elementos de Mampostería

Todas las revisiones de elementos de mampostería están realizadasde acuerdo con losEurocódigos.

Tensión Diagonal en las Uniones

De acuerdo con la sección 7.2.5 de KANEPE, el agrietamiento por tensión diagonal del núcleo de las uniones reforzadas con estribos horizontales se produce cuando el principio de tensión de tracción, es decir, la combinación de (i) la tensión de cortante promedio τ_j, (ii)el esfuerzo compresivo horizontal promedio de la unión, $\sigma_c=\nu_{top}f_c$, y (iii) la tensión compresiva horizontal promedio que se desarrolla en el núcleo de la unión como resultado del confinamiento proporcionado por los estribos horizontales, excede la resistencia a la compresión del hormigón, f_{ct}, es decir:

$$\tau_j \geq \tau_c = f_{ct}\sqrt{\left(1+\frac{\rho_{jh}f_{yw}}{f_{ct}}\right)\left(1+\frac{\nu_{top}f_c}{f_{ct}}\right)} \qquad (4)\ \text{KANEPE}$$

Donde $\rho_{jh} = A_{sh}/b_j h_{jb}$ es decir la sección transversal total A_{sh} de las patas horizontales del estribo paralelas al plano vertical de la tensión τ_j, normalizada al área de la sección transversal vertical de la junta, $b_j z_b$. Para más información puede consultar la sección 7.2.5 de KANEPE.

Compresión Diagonal en las Uniones

De acuerdo con el apartado 7.2.5 de KANEPE, el fallo del núcleo debido a la compresión diagonal se produce si el esfuerzo de compresión principal excede el esfuerzo de compresión (como se reduce por posibles deformaciones transversales de tracción) del hormigón. Si la tensión de cortante promedio en la junta, τ_j, excede el valor de τ_c dado por la Ec. (4), entonces se puede suponer que el fallo de la unión debido a la compresión diagonal se produce cuando el valor de τ_j excede el valor:

$$\tau_j \geq \tau_{ju} = nf_c\sqrt{\left(1-\frac{\nu_{top}}{n}\right)} \qquad (5)\ \text{KANEPE}$$

Donde $n=0.6(1-f_c(MPa)/250)$ es el factor de reducción de la resistencia a la compresión uniaxial debido a deformaciones transversales de tracción. Si, por el contrario, τ_j es menor que τ_c dado por la expresión (4), entonces se puede suponer que el fallo de la unión debido a la compresión diagonal se produce cuando τ_j excede el valor derivado de la expresión (5) para n=1.

Curva de Capacidad

Cada análisis de pushover produce una curva de capacidad, la cual es la relación que existe entre la cortante basal total y el desplazamiento horizontal de un punto representativo de la estructura, llamado "nodo de control", con los valores del desplazamiento de control variando entre cero y el máximo valor definido por el usuario.

DESPLAZAMIENTO OBJETIVO

El desplazamiento objetivo δ_t (§ 5.7.4.2) debe ser calculado tomando en cuenta todos los factores relevantes afectando el desplazamiento de un edificio que responde de manera inelástica. Se permite considerar el desplazamiento de un sistema un solo grado de libertan con un periodo fundamental igual al periodo fundamental de la estructura sujeta ante acciones sísmica para lo cual debe hacerse la verificación correspondiente. Una corrección apropiada se necesita para poder derivar el desplazamiento correspondiente del edificio cuya respuesta se asume de manera elástica perfectamente plástica.

Si se utiliza un método más preciso, el desplazamiento objetivo δ_t puede ser calculado usando las siguientes ecuaciones y ser corregido (cuando sea necesario) de acuerdo con §5.7.4.2 según se indica a continuación:

$$\delta_t = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot (T_e^2/4\pi^2) S_{e(T)} \qquad \text{(S5.6) KANEPE}$$

Donde $S_{e(T)}$ es la pseudo aceleración elástica (derivada del espectro del EC8) correspondiente al periodo fundamental equivalente de la estructura T_e(calcula usando el punto de contraflexión en el diagrama de fuerza-desplazamiento del sistema, según está definido en la ecuación S5.5 of § 5.7.3.5), y C_0, C_1, C_2 y C_3 son factores de corrección definidos de la siguiente manera:

C_0: coeficiente que relaciona el desplazamiento espectral del sistema elástico equivalente de rigidez K_e(S_d=[$T_e^2/4\pi^2$] $S_{e(T)}$), con el desplazamiento actual δ_t en el tope de la estructura, la cual se asume respondiendo como un sistema elasto-plástico (§ 5.7.3.4). Los valores de este coeficiente pueden tomarse iguales a 1.0, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, para un número de pisos iguales a 1, 2, 3, 5, y ≥ 10, respectivamente.

La razón C_1=$\delta_{inel}/\delta_{el}$ del máximo desplazamiento inelástico del edificio al desplazamiento elástica correspondiente puede obtenerse a partir de las siguientes relaciones:

C_1=1.0 para $T_e \geq T_C$, y

C_1=[1.0+(R-1)T_C/ T_e]/R para $T_e < T_C$,

donde T_C es el periodo de esquina que inicia el tramo descendiente del espectro de respuesta (EC8-Parte1) y R=V_{el}/V_y la razón de la demanda elástica sobre la capacidad de cedencia de la estructura. Esta razón puede estimarse de la relación:

$$R = \frac{S_e/g}{V_y/W} \cdot C_m \qquad \text{(S5.7) KANEPE}$$

donde la capacidad de cedencia V_y se calcula por la bilinealización apropiada de la relación de cortante en la base vs. el desplazamiento del edificio, como se define en §5.7.3.4. Para la simplicidad (y conservadoramente), la razón ratio V_y/W en la ecuación puede tomarse como igual a 0.15 para edificios con sistemas estructurales duales, y 0.10 para edificios con sistemas de marcos exclusivamente.

C_2: coeficiente que toma en cuenta la influencia de la curva de histéresis en el desplazamiento máximo. Sus valores pueden obtener se la Tabla S5.1

Nivel de Desempeño	T=0.1s		T≥T_C	
	Tipo Estructural 1	Tipo Estructural 2	Tipo Estructural 1	Tipo Estructural 2
Ocupación Inmediata	1.0	1.0	1.0	1.0
Seguridad de Vida	1.3	1.0	1.1	1.0
Prevención del Colapso	1.5	1.0	1.2	1.0

Tabla S5.1 de KANEPE: Valores del coeficiente C_2

Como los sistemas estructurales del Tipo 1 son estructuras que tienen ductilidad baja (p. ej. edificios construidos antes de 1985 o edificios cuya curva de capacidad está caracterizada por una capacidad de ductilidad por desplazamiento disponible menor a 2), de los cuales se espera un comportamiento histerética menor que el de las estructuras denominadas Tipo 2, que son p. ej. edificios construidos posteriores al 1985, o edificios cuya curva de capacidad muestra una capacidad de ductilidad por desplazamiento disponible mayor a 2. Dado que el hecho de que la influencia del comportamiento histerético es mayor para niveles mayores de respuesta estructural post-elástica, los valores del coeficiente C_2 están condicionados al nivel de desempeño.

C_3: Coeficiente que toma en cuenta el incremento de los desplazamientos debido a efectos de segundo orden (P -Δ). Puede tomarse igual a $1+5(\theta-0.1)/ T_e$, donde θ es el coeficiente de sensibilidad de la deriva entre pisos (ver EC8-Parte1). En el caso común (para edificios de mampostería) donde $\theta<0.1$, el coeficiente se toma como $C_3=1.0$.

Determinación de la relación idealizada elástica perfectamente plástica de fuerza y desplazamiento

La relación no lineal entre la fuerza y el desplazamiento que relaciona la cortante en la base con el desplazamiento del nodo de control debe ser reemplazada por una curva bilineal idealizada para la determinación de la rigidez lateral equivalente K_e y la capacidad correspondiente de cedencia V_y del edificio.

Se recomienda que la curva de capacidad idealizada (relación fuerza-desplazamiento) es bilineal, con una pendiente en el primer tramo igual a K_e y una pendiente en el segundo tramo αK_e. Las dos líneas que componen la curva bilineal pueden ser definidas gráficamente, basándose en el criterio de aproximado de áreas equivalentes de las secciones definidas por encima y por debajo de la intersección entre la curva real y la idealizada (figura 5.2 de KANEPE).

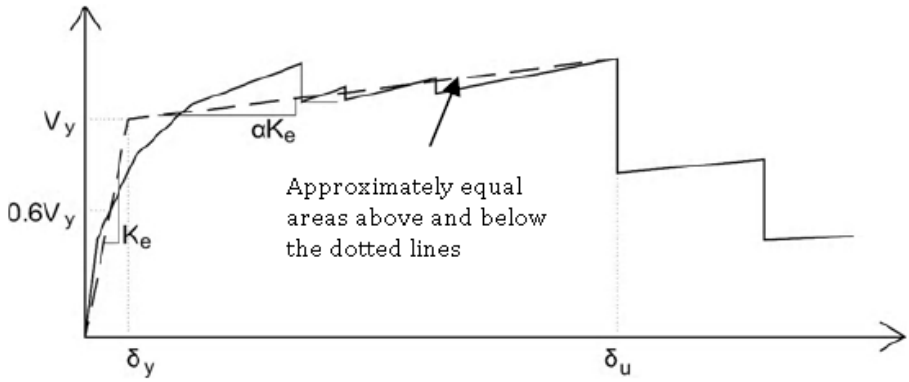


Figura 5.2 de KANEPE: Idealización de una curva de capacidad (indicativa) con una curva bilineal

La rigidez lateral equivalente K_e se determina como la rigidez secante que corresponde a una fuerza igual al 60% de la fuerza de cedencia V_y, con la última definida como la intersección de las líneas pro encima. La inclinación normalizada (α) del segundo tramo se determina por una línea recta pasando a través del punto de curva de capacidad (real) no lineal que corresponde al desplazamiento ultimo (δ_u), más allá del cual una caída significativa de capacidad de la estructura puede observarse (figura 5.2). En cualquier caso, el valor derivado de α debe ser un valor positivo (o cero), pero no mayor a 0.10 (para mantener la compatibilidad con las otras suposiciones hechas por el método de estimación de δ_t, tales como el coeficiente C_1). La fracción recomendada de la reducción de la resistencia es 15% dado que ningún miembro vertical primario ha alcanzado la falla hasta este punto (en cuyo caso la bilinealización de la curva debe hacerse para el desplazamiento que corresponde a esta falla).

Determinación del Periodo Fundamental

El periodo fundamental en la dirección del análisis debe estimarse basándose en la curva de capacidad idealizada.

El valor T_e del periodo fundamental se deriva de la siguiente expresión:

$$T_e = T\sqrt{\frac{K_0}{K_e}} \qquad \text{(5.5) KANEPE}$$

Donde T es el periodo fundamental elástico en la dirección del análisis, y la cual se deriva de un análisis de eigenvalores, K_0 es la rigidez lateral elástica correspondiente y K_e es la rigidez lateral equivalente.

Apéndice H5 - TBDY

Este apéndice se presentan los parámetros utilizados para la evaluación de las estructuras de acuerdo con el Código de Construcción y Evaluación Sísmica de Turquía TBDY.

Requisitos de Desempeño

Según las secciones 2.2, 3.4 y 3.5 de TBDY, los objetivos de la evaluación o rediseño consisten en combinaciones de un nivel de rendimiento y una acción sísmica, dada una "probabilidad aceptable de superación dentro del ciclo de vida del edificio" (terremoto de diseño). como se muestra en la tabla a continuación.

Nivel de Amenaza Sísmica	Niveles de desempeño objetivo del edificio			
	Uso Continuo (KK)	Ocupación Inmediata (HK)	Seguridad de Vida (CG)	Prevención del Colapso (BP)
DD-4 (68%/50 años)	a	b	c	d
DD-3 (50%/50 años)	e	f	g	h
DD-2 (10%/50 años)	i	j	k	l
DD-1 (2%/50 años)	m	n	o	p

Niveles de desempeño objetivo.

Los niveles de desempeño del edificio objetivo se refieren al estado de daño en la estructura definida a través de cuatro estados límite, a saber, Uso continuo (KK), Ocupación inmediata (HK), Seguridad vital (CG) y Prevención de colapso (BP).

Nivel de Desempeño de Uso Continuo (KK)

El uso continuo después del terremoto (KK), de acuerdo con TBDY, es una condición en la que se espera que el daño sea insignificante y la estructura no necesite ninguna medida de reparación. Se evita que los elementos estructurales cedan significativamente y retengan sus propiedades de resistencia y rigidez. Los componentes no estructurales, como particiones y rellenos, no deben dañarse.

Nivel de Desempeño de Ocupación Inmediata (HK)

La Ocupación Inmediata (HK), de acuerdo con TBDY, es una condición en la que se espera que no se interrumpa ninguna operación del edificio durante y después del terremoto de diseño, con la posible excepción de funciones de importancia menor. Algunas grietas finas pueden ocurrir en la estructura.

Nivel de Desempeño de Seguridad de Vida (CG)

Seguridad de Vida (CG), según TBDY, es una condición en la que se espera que ocurra un daño reparable en la estructura durante el terremoto de diseño, sin causar pérdida o lesiones graves a las personas y sin daños sustanciales a la propiedad personal o materiales que se almacenan en el edificio.

Nivel de Desempeño de Prevención del Colapso (BP)

La prevención de colapso (BP), de acuerdo con TBDY, es una condición en la que se espera un daño extenso y grave o grave (no reparable, en general) a la estructura durante el terremoto de diseño; sin embargo, la estructura conserva su capacidad de soportar las cargas verticales prescritas (durante y

durante un período posterior al terremoto), pero sin otro factor de seguridad sustancial contra el colapso total o parcial.

Los criterios para la selección de los Objetivos de rendimiento se pueden encontrar en TBDY.

INFORMACIÓN PARA LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

Para elegir el tipo de análisis admisible y los valores apropiados del factor de confianza, se definen los siguientes dos niveles de conocimiento:

- Conocimiento limitado
- Conocimiento integral

Los factores que determinan el nivel de fiabilidad de los datos obtenidos son la (i) geometría, que son las propiedades geométricas del sistema estructural y de los elementos no estructurales, p.e. paneles de relleno de mampostería, que pueden afectar la respuesta estructural; (ii) detalles, que incluyen la cantidad y detalles del refuerzo en secciones de concreto reforzado, la conexión de los diafragmas del piso a la estructura de resistencia lateral, la unión de mortero y unión de la mampostería y la naturaleza de cualquier elemento de refuerzo en la mampostería; y finalmente (iii) materiales, es decir, las propiedades mecánicas de los materiales constituyentes.

Conocimiento Limitado

El nivel de conocimiento limitado corresponde a un estado de conocimiento donde la información se obtiene a partir de dibujos de diseño con información suficiente para analizar las demandas de los componentes y calcular las capacidades de los componentes. Los dibujos de diseño muestran la configuración del sistema de carga por gravedad y del sistema resistente a fuerzas sísmicas con suficientes detalles. La información se verifica mediante una evaluación de condición visual. A falta de información suficiente de los dibujos de diseño, la información incompleta o inexistente se complementa con una evaluación exhaustiva de la condición, incluida la investigación destructiva y no destructiva.

Conocimiento Integral

El nivel de conocimiento integral corresponde a un estado de conocimiento donde la información se obtiene de documentos de construcción que incluyen dibujos de diseño, especificaciones, registros de pruebas de materiales e informes de control de calidad que cubren la construcción original y las modificaciones posteriores a la estructura. La información se verifica mediante una evaluación de condición visual. En los casos en que los documentos de construcción son incompletos, la información faltante se complementa con una evaluación exhaustiva de la condición, incluida la investigación destructiva y no destructiva. En ausencia de registros de pruebas de materiales e informes de control de calidad, las propiedades del material se determinan mediante pruebas exhaustivas de materiales de acuerdo con TBDY, Capítulo 15.

Factores de Conocimiento

En la siguiente tabla de la sección 15.2.12 de TBDY, se muestran los factores de confianza para cada nivel de conocimiento.

Nivel de Conocimiento	Factor de Conocimiento
Limitado	0.75
Integral	1.00

Tabla 15.1 de TDBY – Factores de Conocimiento

Factores de Seguridad

En TBDY, los factores de seguridad se incorporan directamente en la resistencia del miembro y los límites de deformación del miembro.

Modelos de Capacidad para Evaluaciones y Revisiones

Todas las revisiones de los miembros (capacidad de rotación de cuerda, capacidad de deformación y capacidad de corte) deben llevarse a cabo para todos los elementos de cada planta, de acuerdo con las secciones 5 y 15 de TBDY. Además, se pueden emplear revisiones de uniones viga-columna para verificar las fuerzas de cortante de la junta.

Capacidad de Rotación

La capacidad de rotación de cuerda de vigas, columnas y paredes, θ, que es el ángulo entre la tangente al eje en el extremo flexible y la cuerda que conecta ese extremo con el final del tramo de cortante (Ls = M/V = momento/cortante al final de la sección). La rotación de la cuerda también es igual a la relación de deriva del elemento, que es la desviación al final del tramo de cortante con respecto a la tangente al eje en el extremo flexible dividido por el tramo de cortante.

La capacidad de rotación de cuerda de vigas y columnas está muy influenciada por la falta de detalles apropiados de resistencia sísmica en el refuerzo longitudinal, así como también por la presencia de barras lisas, desarrollo inadecuado de empalme largo de la envergadura (vigas) y la altura (columnas), y empotramiento inadecuado en las uniones viga-columna puede controlar la respuesta de los miembros a la acción sísmica, limitando drásticamente su capacidad con respecto a la situación en la que el refuerzo se considera plenamente eficaz. Las limitaciones anteriores a la capacidad de deformación se toman en consideración.

El valor de la capacidad de rotación de cuerdas para los niveles de desempeño de uso continuo (KK) y ocupación inmediata (HK) es el valor de la capacidad de rotación de cuerdael ceder por flexión, θy, que se calcula a partir de las ecuaciones 5.3 y 5.8b de TBDY:

$$\theta_y = \frac{\varphi_y L_s}{3} + 0{,}0015\eta\left(1 + 1{,}5\frac{h}{L_s}\right) + \frac{\varphi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \qquad \text{(5.3) TBDY}$$

Donde L_s es la relación entre el momento de flexión, M y la fuerza de corte, V; y η es igual a 1,0 para vigas y columnas y 0,5 para paredes.

$$\theta_p^{(HK)} = 0 \qquad \text{(5.8b) TBDY}$$

El valor de la capacidad de rotación de acordes para el nivel de desempeño de la seguridad de vida (CG) se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\theta^{(CG)} = \theta_y + \theta_p^{(CG)}$$

Donde θ_y se calcula según la ecuación (5.3) y $\theta_p^{(CG)}$según la ecuación (5.7b) de TBDY:

$$\theta_p^{(CG)} = 0{,}75\theta_p^{(GO)} \qquad \text{(5.7b) TBDY}$$

El valor $\theta_p^{(GO)}$se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\theta_p^{(GO)} = \frac{2}{3}\left[(\varphi_u - \varphi_y)L_p\left(1 - 0{,}5\frac{L_p}{L_s}\right) + 4{,}5\varphi_u d_b\right] \qquad \text{(5.6) TBDY}$$

El valor de la capacidad de rotación de cuerda para el nivel de desempeño de la prevención de colapso (BP) es el valor de la capacidad de rotación de acordes en caso de falla, que se calcula como la suma de la rotación de acordes en cedencia y la parte plástica de la capacidad de rotación de cuerda de acuerdo con las ecuaciones 5.3 y 5.6 de TBDY.

$$\theta_u = \theta_y + \theta_p$$

La curvatura de cedencia de la sección final se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación (Apéndice 7A de KANEPE), para las secciones cuya zona de compresión es de ancho constante y para el caso en que el cedencia de la sección se deba a la deformación del acero.

$$\varphi_y = (1/r)_y = \frac{f_y}{E_s(1-\xi_y)d} \qquad \text{(A.1) KANEPE}$$

Si la sección cede debido a las deformaciones no lineales del hormigón en compresión, es decir, a la deformación de la fibra de compresión del borde mayor que $\varepsilon_c \approx 1.8\, f_c/E_c$, entonces la curvatura de cedencia se calcula de acuerdo con la siguiente expresión del Apéndice 7A de KANEPE :

$$\varphi_y = (1/r)_y = \frac{\varepsilon_c}{\xi_y d} \approx \frac{1.8 f_c}{E_c \xi_y d} \qquad \text{(A.2) KANEPE}$$

El valor más bajo de los dos valores anteriores se usa para calcular la capacidad de rotación de acordes.

Las ecuaciones propuestas por D. Biskinis [2007] se emplean para el cálculo de la curvatura final en la sección final. Si la falla se debe a la ruptura del acero, entonces la curvatura final se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\varphi_{su} = \frac{\varepsilon_{su}}{(1-\xi_{su})d}$$

Si la sección falla por aplastamiento de las fibras de concreto en los extremos, entonces la curvatura final se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\varphi_{cu} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\xi_{cu} d}$$

Se recomienda a los usuarios consultar las publicaciones relevantes para la definición de los otros parámetros y más detalles sobre la expresión.

En el caso de las secciones de columnas circulares, las ecuaciones anteriores no pueden emplearse para calcular el desempeño de los elementos y las curvaturas finales. En SeismoStruct las ecuaciones sugeridas por D. Biskinis y M. N. Fardis [2013] se emplean para φ_y y φ_u.

Miembros Encamisados

Los valores de los miembros encamisados para θ_y^* y θ_u^* que se adoptan en las verificaciones de capacidad dependen de los valores correspondientes calculados según los requisitos de la sección 5 de TBDY, de acuerdo con las siguientes limitaciones de la sección 15.10.1 de TBDY:

La rotación de acordes en el rendimiento:

$$\theta_y^* = 0.90\theta_y$$

La última rotación de acordes:

$$\theta_u^* = 0.90\theta_u$$

Envolturas FRP

La contribución de la envoltura de FRP a la capacidad de los miembros se toma en cuenta en el cálculo de la curvatura de cedencia y última debido a una falla en el concreto.

Capacidad de Deformación

El valor de la capacidad de deformación para los niveles de desempeño de uso continuo (KK) y ocupación inmediata (HK) se define mediante la siguiente ecuación 5.8a de TBDY:

$$\varepsilon_c = 0.0025$$
$$\text{y} \qquad \text{(5.8a) TBDY}$$
$$\varepsilon_s = 0.0075$$

El valor de la capacidad de deformación para el nivel de desempeño de la seguridad de vida (CG) se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_c^{(CG)} = 0.75\varepsilon_c^{(GO)}$$

y (5.7a) TBDY

$$\varepsilon_s^{(CG)} = 0.75\varepsilon_s^{(GO)}$$

Donde $\varepsilon_c^{(GO)}$se calcula de acuerdo con las siguientes ecuaciones de TBDY:

Para columnas rectangulares, vigas y paredes:

$$\varepsilon_c^{(GO)} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad \text{(5.4a) TBDY}$$

Para columnas circulares:

$$\varepsilon_c^{(GO)} = 0.0035 + 0.07\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad \text{(5.4b) TBDY}$$

y $\varepsilon_s^{(GO)}$se calcula de acuerdo con la ecuación 5.5 de TBDY:

$$\varepsilon_c^{(GO)} = 0.75\varepsilon_{su} \quad \text{(5.5) TBDY}$$

Envolturas FRP

La contribución de la envoltura de FRP a la capacidad de deformación de los miembros se toma en cuenta de acuerdo con la sección 15B.3 del Apéndice 15B de TBDY.

Capacidad de Momento Flector

La capacidad de momento flector de vigas, columnas y muros con sección prismática se calcula según el párrafo 4.1 de D. Biskinis y M.N. Fardis (2009), mientras que para la capacidad de momento flector de columnas circulares párrafo 4 de Biskinis y M.N. Fardis (2013) está empleado.

Capacidad de Cortante

La capacidad de corte se calcula a través de la siguiente expresión de acuerdo con el Apéndice 15B de TBDY, según lo controlado por los estribos, teniendo en cuenta también el incremento debido al envoltorio de FRP.

$$V_r = V_c + V_w + V_f \leq V_{max} \quad \text{(15B.1) TBDY}$$

donde V_c se calcula de acuerdo con las ecuaciones 8.1 y 8.4 de TS500:

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} b_w d \left(1 + \gamma \frac{N_d}{A_c}\right) \quad \text{(8.1) TS500}$$

$$V_c = 0.8 V_{cr} \quad \text{(8.4) TS500}$$

La contribución de la armadura transversal a la capacidad de corte se calcula de acuerdo con la ecuación 8.5 de TS00:

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} d \quad \text{(8.5) TS500}$$

La contribución de la chaqueta de FRP a la resistencia al corte se calcula a través de la siguiente expresión:

$$V_f = \frac{2\, n_f t_f w_f E_f \varepsilon_f\, d}{s_f} \quad \text{(15B.2) TBDY}$$

La resistencia al corte de un miembro no puede tomarse más que el valor correspondiente al fallo por aplastamiento de la banda, Vmax, que se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

$$V_{max} \leq 0.22\, f_{cd} b_w d \quad \text{(8.7) TS500}$$

Miembros Encamisados

El valor de la capacidad de corte, V_R^*, de los miembros encamisados que se adopta en las verificaciones de capacidad depende del valor correspondiente calculado según los requisitos del Apéndice 15B de TBDY, de acuerdo con las siguientes limitaciones de la sección 15.10.1 de TBDY :

$$V_R^* = 0.9V_R$$

Envolturas FRP

La contribución de la camisa FRP a la resistencia al corte se toma en cuenta de acuerdo con la sección 15B.3 del Apéndice 15B de TBDY, como se muestra arriba.

Elementos de Mampostería

Todas las revisiones de elementos de mampostería se llevan a cabo de acuerdo con el ASCE 41-23.

Fuerza Cortante en las Uniones

La fuerza de corte de diseño de las juntas se calcula a través de la siguiente expresión de acuerdo con TBDY:

$$V_e = 1.25\, f_{yk}(A_{s1} + A_{s2}) - V_{kol} \qquad (7.11)\ \text{TBDY}$$

La opción para considerar las tensiones de las barras de refuerzo de los análisis en lugar de las tensiones de fluencia para el cálculo de la demanda de fuerza de corte horizontal de las uniones en el análisis no lineal está disponible en la pestaña Elementos de la Configuración avanzada. En este caso, la expresión para la fuerza cortante horizontal que actúa sobre el núcleo de hormigón de las unioneses la siguente:

$$V_e = 1.25(\Sigma A_{s1i} \cdot \sigma_{1i} + \Sigma A_{s2i} \cdot \sigma_{2i}) - V_{kol}$$

El valor de la fuerza cortante de diseño de las juntas debe ser menor que su capacidad de corte como se muestra a continuación. Se emplean dos expresiones diferentes, de acuerdo con la sección 7.5 de TBDY, dependiendo de si las articulaciones tienen o no confinamiento del refuerzo transversal, como se define en la figura 7.10 de TBDY.

Para las articulaciones con confinamiento de refuerzo transversal:

$$V_e \le 1.7 b_j h \sqrt{f_{ck}} \qquad (7.12)\ \text{TBDY}$$

Para juntas sin confinamiento de refuerzo transversal:

$$V_e \le 1.0 b_j h \sqrt{f_{ck}} \qquad (7.13)\ \text{TBDY}$$

Curva de Capacidad

Cada análisis de pushover conduce a una curva de capacidad, que es una relación entre el cortante base total y el desplazamiento horizontal de un punto representativo de la estructura, denominado "nodo de control", con los valores del desplazamiento de control entre cero y un valor máximo definido por el usuario.

Desplazamiento Objetivo

El desplazamiento del objetivo se define como la demanda sísmica derivada del espectro de respuesta elástica en términos de desplazamiento de un sistema equivalente de un solo grado de libertad. Para definir el desplazamiento del objetivo de un sistema MDOF, se deben seguir una serie de pasos de acuerdo con el Apéndice 5B de TBDY.

El desplazamiento del objetivo se calculará de acuerdo con la ecuación (5B.12) de TBDY.

$$d_{1,max}^{(X)} = S_{di}(T_1) \qquad (5B.12)\ \text{TBDY}$$

dónde

$S_{di}(T_1) = C_R S_{de}(T_1)$ (5B.13) TBDY

$S_{de}(T_1)$ es la pseudoaceleración espectral elástica correspondiente al período fundamental equivalente de la estructura T_1 y C_R es un factor de modificación para relacionar los desplazamientos inelásticos máximos esperados con los desplazamientos calculados para la respuesta elástica lineal. El valor para CR se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$C_R = \frac{\mu(R_y, T_1)}{R_y} \quad \text{(5B.14) TBDY}$$

donde Ry es el factor de reducción de desempeño calculado a partir de la siguiente ecuación:

$$R_y = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}(T_1)}{\alpha_{y1}} \quad \text{(5B.15) TBDY}$$

La ecuación (5B.14) para el factor de modificación CR toma la siguiente forma usando las ecuaciones (5B.16) de TBDY:

$C_R = 1$ for $T_1 > T_B$ (5B.17a) TBDY

$$C_R = \frac{1+(R_y-1)\frac{T_B}{T_1}}{R_y} \geq 1 \text{ for } T_1 \leq T_B \quad \text{(5B.17b) TBDY}$$

Determinación de la relación idealizada elástica perfectamente plástica de fuerza y desplazamiento

La fuerza de fluencia f_y, que representa también la resistencia máxima del sistema SDOF idealizado, es igual a la fuerza de corte base en la formación del mecanismo de plástico. La rigidez inicial del sistema idealizado se determina de tal forma que las áreas bajo las curvas de fuerza-deformación reales e idealizadas son iguales.

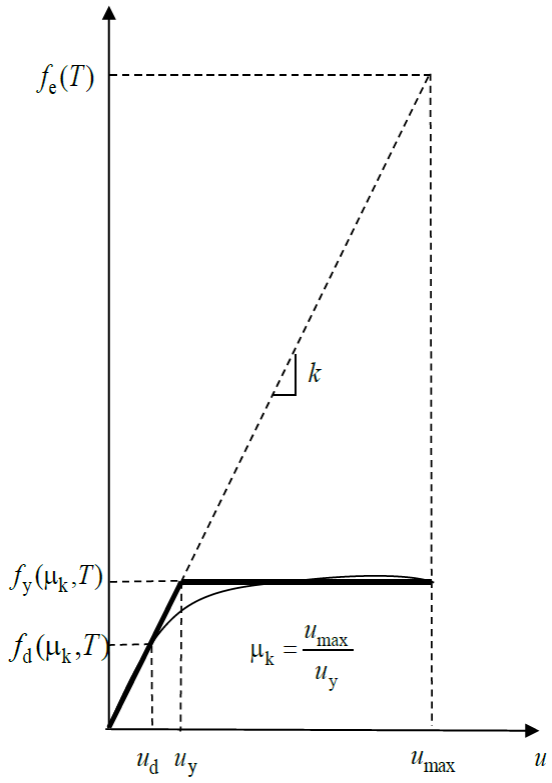


Figura 4A.1 de TBDY Determinación de la idealizada relación elasto-perfectamente plástica de fuerza-desplazamiento