

CI52001-1 Diseño Sísmico de Estructuras

Emilio Peña Albornoz

Comentario para dibujar:

Grilla

Lo primero es definir una grilla, la cual se debe crear siguiendo las unidades generales para el dibujo del modelo. Las unidades escogidas al iniciar un proyecto, serán las unidades que quedarán de base para el modelo, por lo que cada vez que se corra un análisis, los resultados y elementos presentarán sus medidas usando estas unidades.

Elementos Finitos

Elementos de Línea

Estos elementos generalmente poseen dos nodos, siendo los más usados tipo bielas y tipo viga-columna, pudiendo tener de un grado de libertad por nodo hasta 6, dependiendo de la cantidad de dimensiones que tenga el modelo.

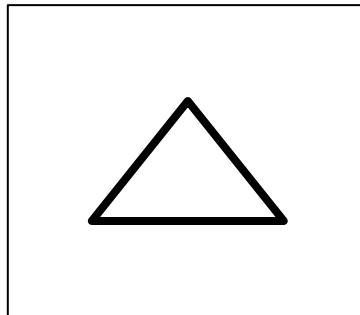


Ilustración 1. Elementos de línea conectados.

La matriz de rigidez de este tipo de elemento depende de la posición relativa de sus grados de libertad y de las propiedades de su perfil, el cual contiene la información de define el volumen del elemento. En el fondo el elemento no tiene volumen ni superficie, ya que esto resulta de la interpretación de su perfil.

Elementos Planos

Existen varios tipos de elementos planos, como triangulares de tres nodos, cuadriláteros de cuatro, ocho o nueve nodos y otros. La idea de este elemento es definir una cantidad de grados de libertad por

nodo, al conectar los nodos que definen al elemento, se genera una superficie, por lo que ahora el perfil solo contiene información del espesor, por lo que el volumen es solo una interpretación del perfil.

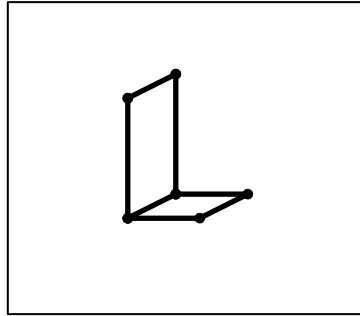


Ilustración 2. Elementos planos conectados.

Elementos Sólidos

Estos elementos necesitan mínimo cuatro nodos y al unirlos se genera un volumen, por lo que no es necesario entregar información que defina el volumen contenido, ya que esto se desprende de la información entregada por los nodos.

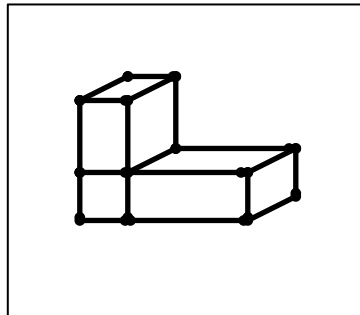


Ilustración 3. Elementos sólidos conectados.

Un elemento finito se define a partir de su geometría, propiedades y las leyes constitutivas de sus materiales. Con lo anterior se forma su matriz de masa, amortiguamiento y rigidez del elemento. La idea de trabajar con elementos finitos, es discretizar un modelo estructural continuo. Lo anterior se logra a partir de los nodos, los que tienen contenidos los grados de libertad considerados y la información de su posición, velocidad y aceleración, lo que es controlado por el aporte de rigidez, amortiguamiento e inercia que les entrega cada uno de los elementos que llegan al nodo. Finalmente con las propiedades de cada nodo se ensamblan las matrices de rigidez, amortiguamiento y masa globales de la estructura, las que se utilizan para resolver los estados de carga, ya sea de manera estática o dinámica. Es por lo anterior que los elementos se deben conectar por nodos, como por ejemplo si se desea conectar muros o vigas perpendiculares que no lleguen a un extremo, el elemento se debe dividir en ese punto para crear un nodo.



Ilustración 4. Unión de Muros en Nodos.

Todo elemento, material y sección creado, puede ser modificado. Para esto basta con seleccionarlo y utilizar las pestañas del programa.

Al modificar una sección, elemento o material, sus datos serán actualizados inmediatamente en el modelo ya dibujado.

Losas y Muros (Elementos de Área)

Es importante al momento de dibujar superficies, seleccionar los nodos siempre en el mismo sentido (Recomendación Anti Horario). De no ser así los ejes locales del elemento pueden quedar apuntando en distintos sentidos en comparación a otro elemento, lo que complica la interpretación de los datos al revisar la distribución de tensiones.-

Al momento de crear o modificar una sección de losa o muro:

En la pestaña de '*bending*' al momento de crear la sección del elemento de losa, es común asignar 0.01 [m]. Con lo anterior la losa queda extremadamente flexible, por lo que los muros logran una mayor deformación horizontal (Esto es conservador luego al diseñar). Como en este curso no se verá el diseño de los dinteles, no tendrán que rescatar los esfuerzos en la losa para calcular refuerzos en estas zonas. Al realizar el proceso anterior es necesario dibujar vigas de losa en las zonas de dinteles con el mismo espesor que la losa, de esta forma se podrán calcular los refuerzos de losa a partir de los esfuerzos entregados por aquellas vigas. Si no se dibujan los refuerzos de losa en el modelo, es recomendable mantener el espesor de la losa en la pestaña '*bending*'.

Todos los muros y vigas deben continuarse en el último nivel o cielo piso, con esto se finaliza el edificio con su correspondiente coronamiento. Para esto es recomendable dibujar un nuevo nivel donde corresponda con la altura de las vigas indicadas, donde se podrá dibujar el coronamiento de una manera más cómoda.

Vigas (Elementos de Área)

Las vigas que se dibujan usando este tipo de elementos, son aquellas que se encuentran conectando muros, las que se ven principalmente afectadas por la acción de cargas sísmicas.

Según la Teoría, se debe tener la siguiente consideración para discriminar al momento de utilizar este tipo de elementos para vigas:

“Las vigas a modelar como elementos Shell, son aquellas que **no** cumplen con la razón de forma $L / h > 4$. Este es el caso para las vigas entre muros, las cuales trabajan generalmente a corte.”

Para esto dibujar un muro en el lugar donde se dibuja la viga, pero cambiando la pestaña ‘Pier’ a ‘Spandrel’. Con esto les aparecerán las pestañas donde llenar los valores de la altura sobre y bajo la losa.

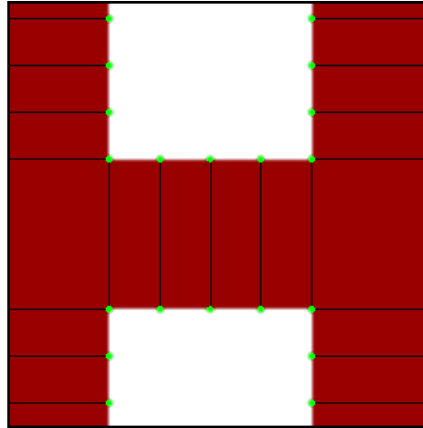


Ilustración 5. Vigas tipo ‘Spandrel’.

Vigas, (Elementos de Línea o Frame)

Las vigas que generalmente se dibujan utilizando elementos frame, son aquellas que no se encuentran entre muros. Por ejemplo, vigas de azoteas y vigas de subterráneo.

Según la Teoría, se debe tener la siguiente consideración para discriminar al momento de utilizar este tipo de elementos para vigas:

“Las vigas a modelar con elementos frame, son aquellas que cumplen con la razón de forma $L / h > 4$, donde ‘L’ es el largo de la viga y ‘h’ su alto. Estas vigas se utilizan generalmente en subterráneos y balcones”

Si se dibujan vigas como elemento frame, y estos se encuentran entre muros, se debe tener en consideración el acortamiento que se produce en el largo del muro que continúa a la viga.

Para lo anterior, se puede dibujar un elemento frame que una la viga con la posición hasta la que acortaría la altura del muro y luego darle la propiedad de cacho rígido. De no realizar este procedimiento cuando sea necesario, es mejor evitar dibujar vigas como elemento frame, cuando esta se encuentra entre muros como se ve en la ilustración 2.

VI: significa viga invertida, esto quiere decir que la viga sobresale por arriba de la losa. Para hacer esto en ETABS deben realizar lo siguiente:

Seleccionar el elemento; Assign >> Frame/Line >> Insertion Point... >> Bottom Center

Las vigas deben modelarse penetrando la altura h de la viga dentro del muro.

La armadura en ETABS no influye en la rigidez de los elementos.

Para la notación de vigas invertidas “VI 30/70”: 30 se refiere a Width ; 70 se refiere a Depth

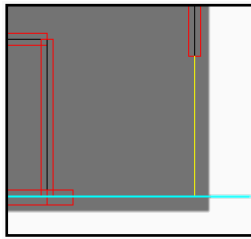


Ilustración 6. Vigas tipo Frame.

Mesh

El '*mesh*' se realiza luego de haber dibujado en su totalidad la estructura.

La losa debe ser cortada en distintos elementos finitos. La opción destinada en el programa para realizar esto es '*mesh*'. En el caso de la losa los cortes deben ser reducidos y en un principio serán guiados por los '*frame*', cortado la losa en la dirección de las en que se encuentran orientadas las vigas.

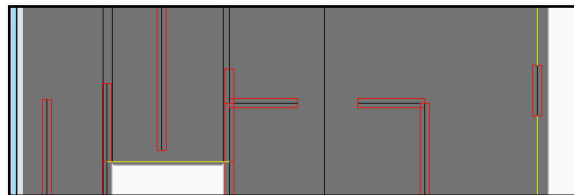


Ilustración 7. Mesh Losas.

El '*automesh*' siempre se realiza, pero de todos modos es necesario el '*mesh*' manual, ya que este divide en elementos permanentes y permite que el modelo trabaje de la manera deseada, considerada como correcta. Por otro lado '*automesh*' solo divide de manera temporal.

Todos los elementos que formen parte de un muro que sean considerados como una discontinuidad (ventanas o cambios de sección), deben ser tratados con cuidado, ya sea para distribuir de manera adecuada el flujo de tensiones o para representar de manera correcta la doble curvatura, dividiendo en 4 elementos.

El '*mesh*' vertical en zonas de discontinuidad como muros bandera, solo debe continuar por dos pisos a partir de la discontinuidad. Les subiré una imagen para que vean a lo que me refiero.

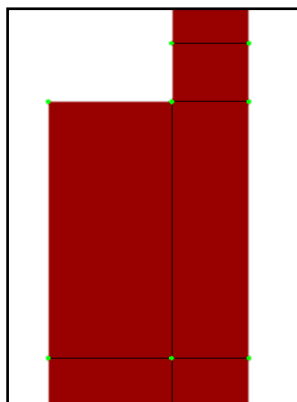


Ilustración 8. Mesh Muros con Reducción de Sección.

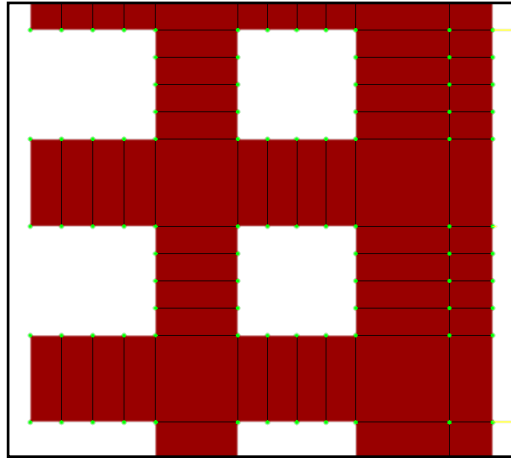


Ilustración 9. Mesh en Discontinuidades.

Solo para el último subterráneo, donde van los apoyos, se realiza un '*mesh*' vertical cada 50 cm aproximadamente, con el fin de generar apoyos para la base.

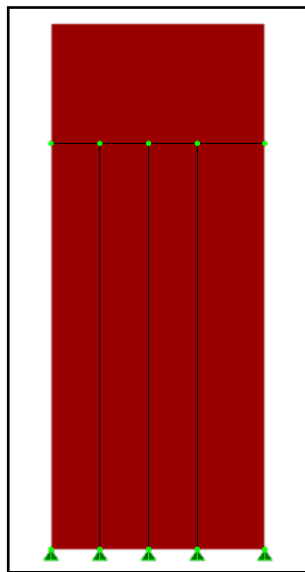


Ilustración 8. Mesh Nivel Basal.

Las indicaciones del '*mesh*' para muros, no hace diferencia entre muros interiores o perimetrales.

Subterráneo

No consideren los capiteles y los pilares del subterráneo deben ser dibujados como elementos *'frame'*.

En el suelo del último subterráneo no hay losa, generalmente se hace un *'radier'* sobre grava que va apoyado directamente en el terreno, y no se modela.

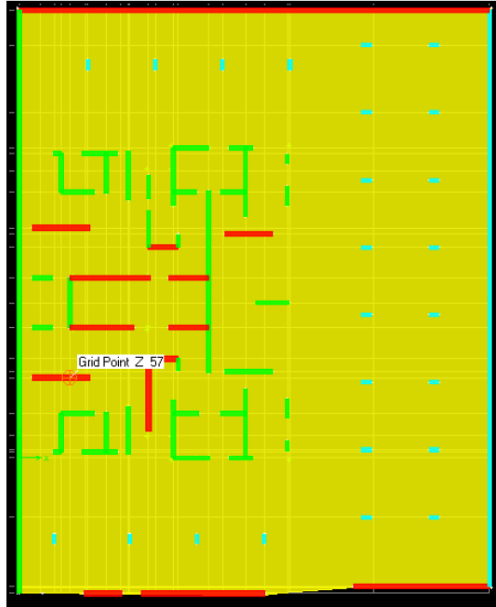


Ilustración 9. Subterráneo.

Cargas

La primera losa que hay es el cielo del segundo subterráneo, en edificación se suele hablar siempre del cielo de un piso determinado y cuando se habla de cargas son las cargas que están sobre el cielo de ese piso.

(**) Tráfico en el exterior para las cargas del cielo del primer subterráneo... esas cargas son en el exterior (típico estacionamiento de visita de los edificios), pero están sobre la losa del cielo primer subterráneo.

Igualmente las cargas de cubierta o techumbre, van sobre el cielo del último piso, a pesar de que en ese piso departamentos.

.....

SC=sobrecarga, son las cargas vigas
SL=sobrelosa, son las cargas muertas

Cielo 2º Subterráneo zona proyección de la torre
SC 0.6T/m2 bodegas

Cielo 2º Subterráneo fuera de proyección de torre
SC 0.3T/m2 tráfico
SL 0.05T/m2 desgaste (2cm de hormigón)

Cielo primer subterraneo zona torre:

SC 0.5T/m² zonas comunes

SL 0.05T/m² Suelo

Cielo primer subterraneo zona no torre:

SC 0.5 T/m² tráfico en zona exterior.

SL 0.05T/m² desgaste (2cm de hormigón)

Torre

SC 0.4 T/m² departamentos

SL 0.2 T/m² suelo y tabiquería

Cubierta

SC 0.1 T/m² mantenimiento

SL 0.2 T/m² posibles maquinas u otros usos.

.....

** Este punto puede confundir un poco, pero solo explica el calculo de cargas para las zonas del cielo del subterráneo que no se encuentran directamente bajo el edificio. En estos casos se pueden encontrar jardines o estacionamientos.

Para el diseño sísmico se suelen simplificar las cargas distribuidas, asignando la misma carga viva y muerta para todo el piso, con el fin de no tener que aumentar el 'meshado' de la losa antes señalado.

Masa

Para especificar el peso sísmico es necesario dar el detalle de la masa a considerar. Según la norma se debe considerar el 100% de la carga muerta y sobre 25% o el 50% de la carga viva según corresponda. Para esto se debe seguir el siguiente procedimiento:

Define >> MassSource...

Seleccionar From Loads

Live: 0.25 mínimo en lugares donde no es usual la aglomeración de personas o 0,50 donde si es usual.

Dead: 1.00

Para esto deben haber definido previamente Static Load Cases.

Diafragma Rígido

Un diafragma rígido iguala compatibiliza los desplazamientos de todos los elementos que llegan a él, forzándolos a trabar como sobre un cuerpo rígido. Para esto ocultar todos los elementos que no sean del tipo "Floor". Luego en una vista en planta, seleccionar la losa y seguir los siguientes pasos:

Assign >>> Shell/Area >>> Diaphragms.

Realizar este proceso para cada uno de los pisos.

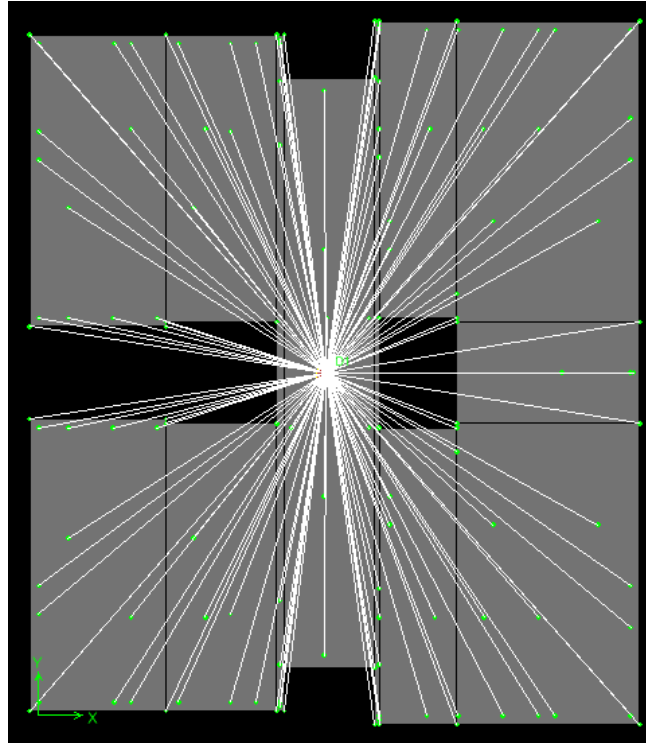


Ilustración 10. Diafragma Rígido.

Método Modal Espectral

Espectro de Respuesta y Torsión Accidental

El espectro de respuesta a utilizar, es el espectro de diseño entregado por la norma correspondiente. Este espectro debe ser agregado al modelo de la siguiente forma.

Primero es necesario crear un archivo “.txt”, el cual debe tener dos columnas, la primera con los periodos de la discretización y la segunda con el valor del espectro correspondiente a ese periodo.

Es importante tener en cuenta, que el análisis que se realizará es del tipo lineal y elástico, por lo tanto no es necesario considerar el valor R^* en el espectro que se ingresa al programa, ya que este valor puede ser trabajado posteriormente sobre los resultados de las fuerzas sin reducir.

De esta manera, cualquier otro valor que no dependa del periodo de la discretización, puede ser retirado de la evaluación del espectro, para posteriormente ser integrado a los resultados. Con lo anterior, el parámetro α es el único que es necesario ingresar para nuestro análisis modal.

$$\alpha = \frac{1 + 4,5 \left(\frac{T_n}{T_o}\right)^p}{1 + \left(\frac{T_n}{T_o}\right)}$$

Donde:

T_n = Periodo de vibración del modo n .

T_o, p = Parámetros relativos al tipo de suelo de fundación que se determina de la Tabla 6.3 según la clasificación de la Tabla 4.2

Todo resultado debe ser luego multiplicado por el factor $f_1 = \frac{SA_0}{(R^*/I)}$ y posteriormente aplicar las limitaciones de corte basal, de donde se obtendrá nuevo factor f_2 ya sea de amplificación o reducción, los cuales pueden ser aplicados sobre los nuevos resultados, los cuales ya incluyen el factor f_1 .

$$R^* = 1 + \frac{T^*}{0,10T_o + \frac{T^*}{R^*}}$$

Donde:

T^* = Periodo del modo con mayor masa traslacional equivalente en la dirección de análisis.

R_o = Valor para la estructura que se establece de acuerdo con las disposiciones de 5.7.

Finalmente los resultados serán de la siguiente forma:

$$r = f_1 f_2 r_\alpha$$

Donde:

r_α = Resultados obtenidos del modelo, de solo aplicar α como espectro de diseño.

Para agregar el espectro de diseño, solo basta con realizar lo siguiente:

Define >>> Response Spectrum Functions... >>> Spectrum from File >>> Add New Functions... >>> Browse... >>> Period vs Value >>> Ok

De agregar el espectro según el procedimiento anteriormente mencionado, no existiría diferencias entre el espectro para una u otra dirección, por lo que se puede utilizar la misma función de espectro para ambas direcciones:

(**) Define >>> Response Spectrum Cases >>> Elegir U1 o U2 dependiendo de la dirección que se desea agregar y aplicar el factor de reducción en Scale Factor >>> ok

**En este punto pueden asignar el valor correspondiente a R^* , el cual dependerá de cada dirección, lo que sería no seguir el procedimiento que solo integra el valor del α como espectro de diseño. Por otro lado, es posible y recomendable agregar como factor de escala, el valor de 'g' en las unidades correspondientes. De agregar el valor del 'g', en el factor de escala, entonces no sería necesario agregarlo luego en el valor de A_o .

Una vez agregado los casos de espectro para cada dirección, se puede agregar la torsión accidental del método modal especificado de la norma. En la norma se especifican dos métodos para el cálculo de la torsión accidental, donde el más simple de utilizar con el programa es el (b) del punto 6.3.4. Donde se calcula un momento de torsión para cada uno de los diafragmas, a partir de una excentricidad 'e'. Este valor de excentricidad es el que se debe ingresar al programa. Para esto luego de crear el espectro en cada dirección, se siguen los siguientes pasos:

Define >>> Response Spectrum Cases >>> Modify/Show Spectrum >>> posteriormente se abre la pestaña *overwrite*, donde se ingresa el valor de la excentricidad calculada por piso para el diafragma. De no haber creado los casos de espectro, puede agregarse directamente la excentricidad por pisos al momento de crear los casos para cada dirección.

Método Estático

Éste método solo puede ser utilizado según se cumplan las condiciones requeridas por norma.

Para esto es necesario calcular las fuerzas inerciales y momento de torsión, por piso y dirección de análisis.

Las fuerzas por piso se obtiene de la siguiente expresión:

$$F_k = \frac{A_k P_k}{\sum_{j=1}^N A_j P_j} Q_o$$

$$A_k = \sqrt{1 - \frac{Z_{k-1}}{H}} - \sqrt{1 - \frac{Z_k}{H}}$$

$$Q_o = CIP$$

$$C = \frac{2,75SA_0}{gR} \left(\frac{T'}{T^*} \right)^n$$

Donde:

Z_k = Altura del nivel k sobre el nivel basal.

H = Altura total del edificio sobre el nivel basal.

n, T', S = Parámetros relativos al tipo de suelo de fundación que se determinan de la Tabla 6.3 según la clasificación de la Tabla 4.2.

A_0 = Tiene el significado indicado en 6.2.3.2.

R = Factor de reducción que se establece en 5.1.

T^* = Periodo del modo con mayor masa traslacional equivalente en la dirección de análisis.

Según la norma, el coeficiente 'C' no debe ser menor que $A_0 S / 6g$ y no necesita ser mayor que el indicado en la Tabla 6.4.

El momento de torsión por piso se calcula con la siguiente expresión:

$$T_k = \pm F_k * e$$

El valor de la excentricidad e depende de la dirección de análisis y se encuentra definido en el punto 6.2.8 de la norma, con las siguientes expresiones.

$$e = 0,10b_{ky}Z_k / H \text{ Para el sismo según X}$$

$$e = 0,10b_{kx}Z_k / H \text{ Para el sismo según Y}$$

De lo anterior se obtienen 4 casos, los cuales provienen de 2 casos en cada dirección, uno para la torsión con signo positivo y otro con signo negativo.

Los casos de análisis son los presentados a continuación:

1. $F^x + T^x$
2. $F^x - T^x$
3. $F^y + T^y$
4. $F^y - T^y$

Donde el superíndice 'x' o 'y' hacen referencia a la dirección del análisis.

Para agregar cada uno de estos casos, se debe realizar el siguiente procedimiento:

Define >>> Static Load Cases... >>> Seleccionar la pestaña Quake o Seismic según la versión del programa, Luego User Loads >>> Presionar la pestaña Add New Case..

Luego seleccionar el caso recién creado y presionar la pestaña Modify/Show Case.. . Con lo anterior se abrirá otra pestaña donde se podrá ingresar las cargas por dirección, el momento y la ubicación.

Funciones Automáticas del Programa

El programa puede resolver algunos problemas típicos. Para esto realizar los siguientes pasos:

"Seleccionar todo el modelo"

Assign >> Frame/Line >> Automatic Frame Subdivide ... >> Auto Mesh at intermediate Points and Intersecting Line/Edges >> ok

"Seleccionar todo el modelo"

Assign >> Frame/Line >> Use Line for Floor Meshing >> Yes

"Seleccionar todo el modelo"

Assign >> Shell/Area >> Area Object Mesh Options ... >> Ok (Default)

"Seleccionar todo el modelo"

Assign >> Shell/Area >> Auto Line Constraint... >> ok

Es bueno realizar un check, para ver puntos muy cerca o superposición de elementos. Para esto tienen que seguir los siguientes pasos:

Analyze >> Check Model ... y seleccionen todas las opciones.

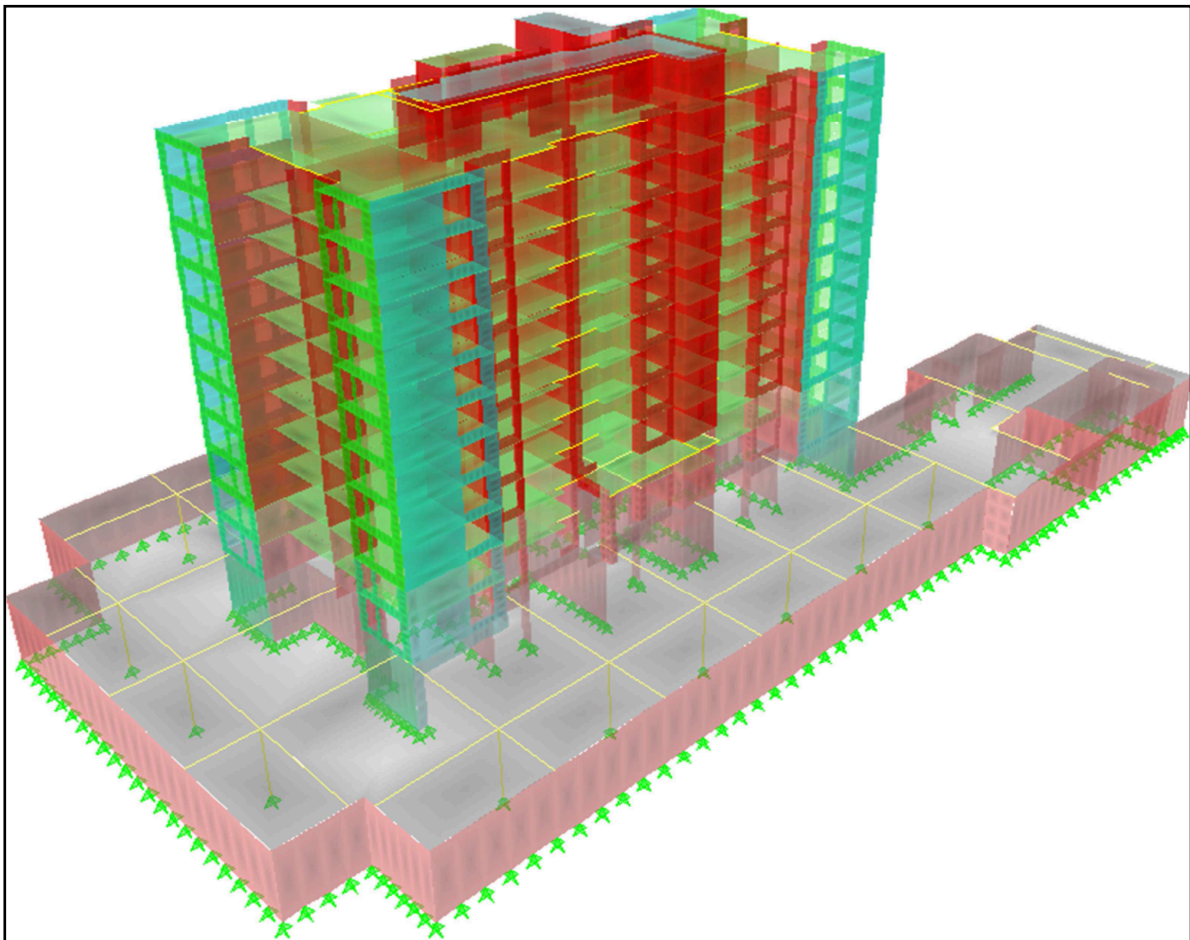


Ilustración 11. Ejemplo 1.

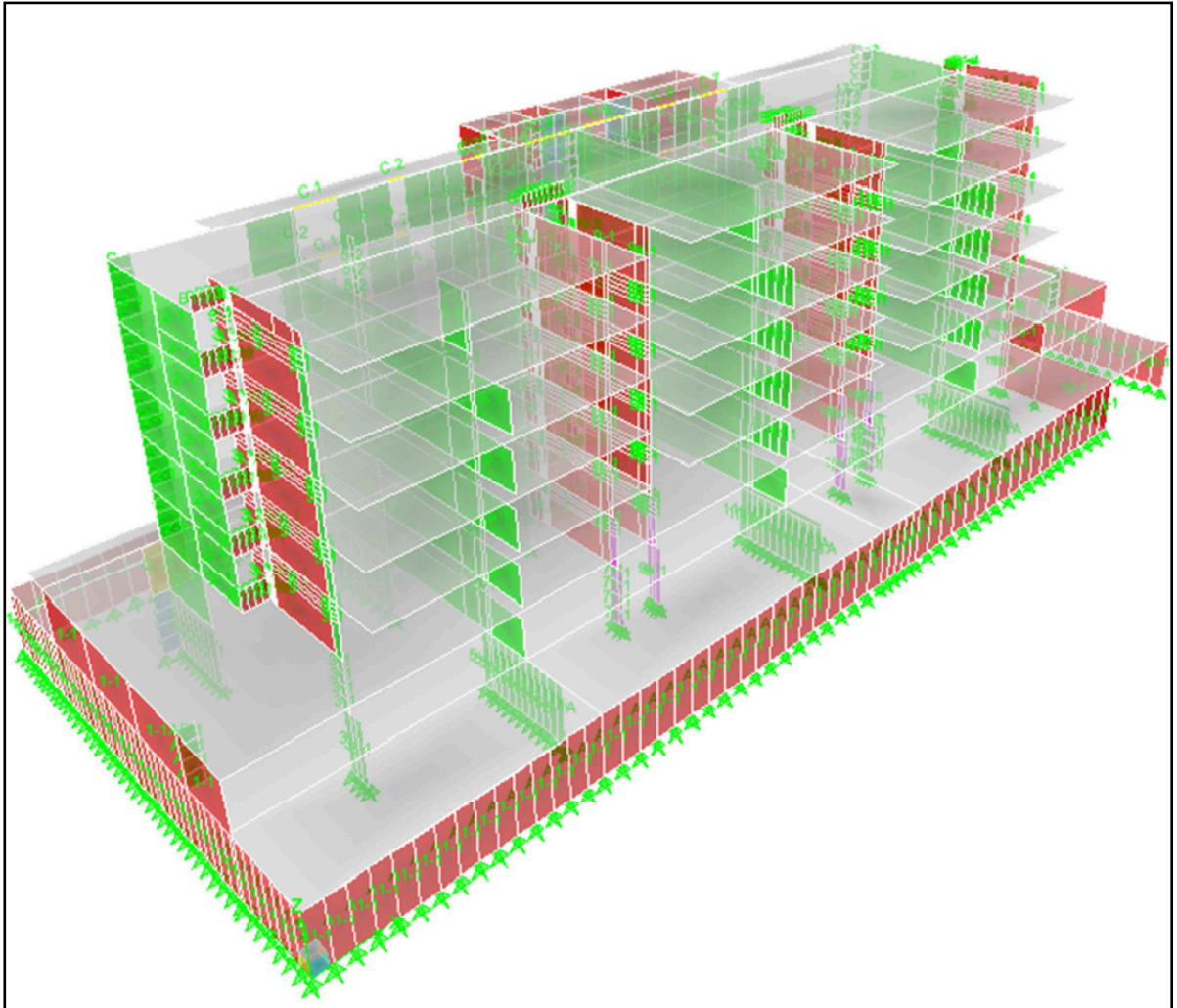


Ilustración 12. Ejemplo 2.

Todas las ecuaciones y definiciones provienen de la norma de Diseño Sísmico de Edificios NCh 433.Of1996 Modificada en 2012.