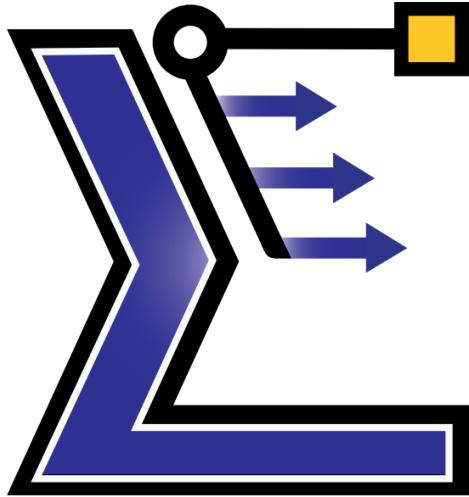


SICMA

Sistema de Idealización, Cómputo Matricial y Análisis



Manual de uso

Tabla de contenido

1.	Introducción	1
1.1.	Acerca de este manual.....	1
1.2.	Descripción general de la interfaz	1
1.3.	El lenguaje utilizado en SICMA	2
2.	Menú “Archivo”	5
2.1.	Primeros pasos	5
2.2.	Cuando ya hay un modelo abierto.....	8
3.	Menú “Definir”	10
3.1.	Espaciamiento	10
3.2.	Material	11
3.3.	Sección	13
3.4.	Elemento	14
4.	Menú “Asignar”	17
4.1.	Para un nodo.....	17
4.2.	Para un elemento	24
5.	Menú “Análisis”	30
5.1.	Grado de indeterminación	30
5.2.	Análisis de rigidez.....	30
5.3.	Editar modelo	33
6.	Menú “Vista”	34
7.	Menú “Ventana”.....	35
8.	Resumen de símbolos y atajos de teclado (shortcuts)	36
9.	Referencias.....	37

1. Introducción

El software SICMA está diseñado como una herramienta pedagógica que facilita el proceso de aprendizaje de estudiantes de ingeniería civil que están tomando un primer curso de análisis estructural. El programa ayuda a comprender, de manera didáctica, distintos conceptos que se enseñan en esta asignatura a través de la idealización estructural, como se muestra en Reyes (s.f. a) y Hibbeler (1997). Algunos de estos conceptos son: tipos de apoyos, grado de indeterminación, diagramas de fuerzas internas, efectos de temperatura, asentamientos, entre otros.

1.1. Acerca de este manual

Este manual de usuario está conducido con el desarrollo de un ejemplo que pone en práctica todas las funciones de SICMA. Cada capítulo del manual corresponde a la explicación completa de un menú de los que aparecen en la barra superior de la ventana del programa. Si bien este manual sirve para que cualquier usuario de SICMA aprenda a modelar desde cero cualquier estructura, el software procura ser lo suficientemente intuitivo para que no sea necesario acudir al manual en cada paso. Por ende, como usuario puede sentirse en completa libertad de ir directamente al capítulo de su interés cuando tenga alguna duda concreta sobre el uso de alguna función del programa.

1.2. Descripción general de la interfaz

Para empezar, vale la pena familiarizar al lector con los principales componentes de la interfaz. A continuación, un ejemplo de cómo se vería típicamente la pantalla de SICMA durante su uso:

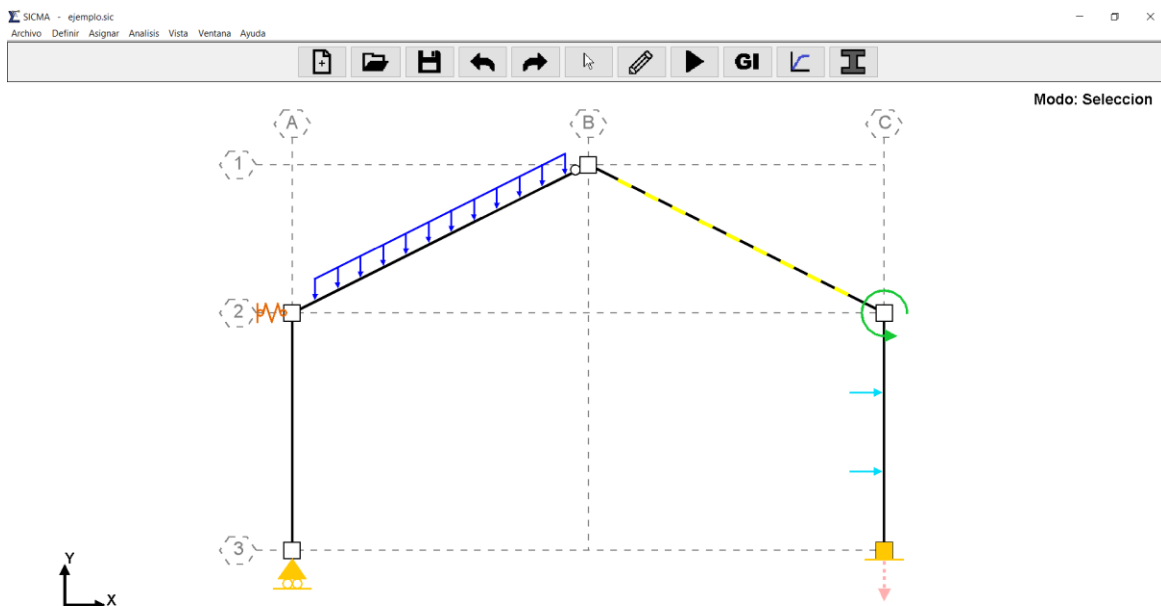


Figura 1.2.1. Vista típica del programa

Como se aprecia en la Figura 1.2.1, la interfaz de SICMA tiene una **barra superior** de menús. Estos menús contienen todas las funciones necesarias para que el usuario haga uso del programa:

Archivo Definir Asignar Analisis Vista Ventana Ayuda

Figura 1.2.2. Barra superior

Otro componente importante de la interfaz es el **panel de botones**. Este panel contiene algunas de las funciones de mayor uso en el programa para que el usuario pueda acceder a ellas de forma ágil:

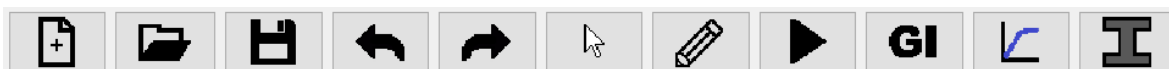


Figura 1.2.3. Panel de botones

Por último, y más importante, está el **panel del modelo**. Este panel es el recuadro blanco que aparece desde el panel de botones hacia abajo en la interfaz. En él se lleva a cabo toda la interacción necesaria para la ilustrar la estructura y llevar a cabo su posterior análisis:

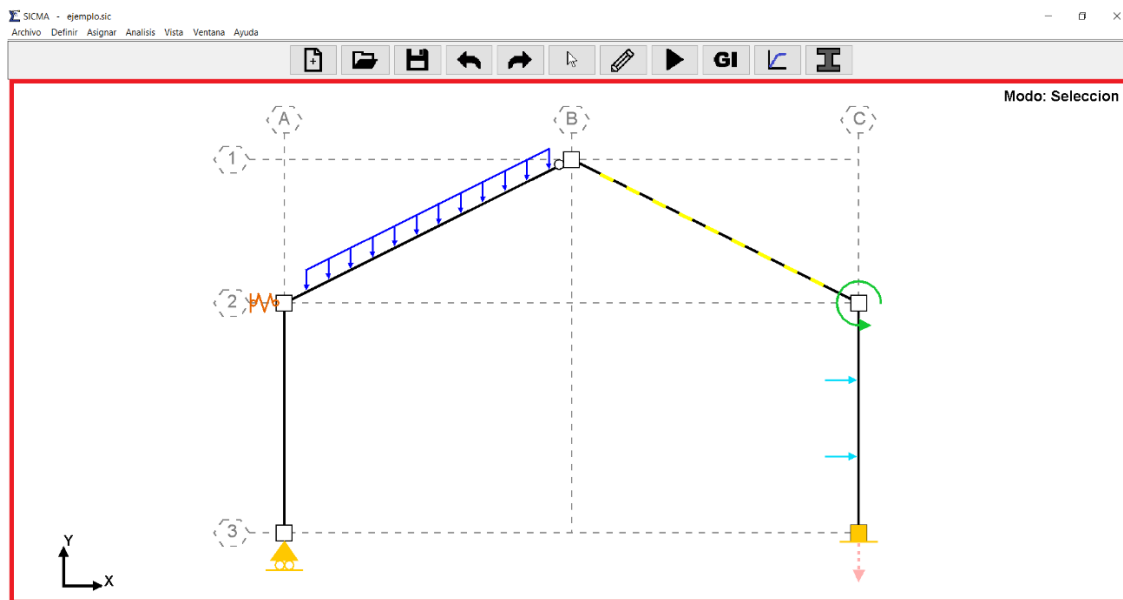


Figura 1.2.4. Panel del modelo

1.3. El lenguaje utilizado en SICMA

Como se ha mencionado, el programa SICMA trabaja con **modelos**. Un modelo es un archivo que contiene una estructura. Una estructura está principalmente compuesta por **nodos** y **elementos**. Los

nodos son aquellos ilustrados como cuadrados blancos de borde negro, mientras que los elementos son las líneas negras que los conectan. Las líneas punteadas de color gris componen la **grilla**, la cual no hace parte de la estructura, sino que es la herramienta para representar la geometría de una estructura. Por ahora, solo es relevante mencionar que la grilla es un conjunto de ejes verticales (representados con letras del alfabeto) y ejes horizontales (representados con números), y a través de su separación es que el usuario podrá definir las dimensiones de su estructura. El uso de la grilla será explicado detalladamente en el capítulo 3. *Menú “Definir”*.

Los elementos pueden tener **pasadores** y **cargas**. Los pasadores son los círculos blancos de borde negro en los extremos de los elementos, como en el elemento que está entre los nodos A2 y B1. Los pasadores sirven para representar conexiones que no transmiten momento. Por su parte, las cargas son las solicitaciones a las que se someten los elementos. Se ilustran como vectores, y pueden ser de los siguientes colores: azul oscuro para cargas asignadas según el sistema de referencia global, azul claro para cargas asignadas según el sistema de referencia local del elemento, y amarillo para efectos de temperatura.

Los nodos pueden tener **apoyos**, **cargas**, **resortes** y **asentamientos**. Los apoyos son las restricciones a los distintos grados de libertad de movimiento que puede tener un nodo, y se ilustran de color amarillo. Como SICMA trabaja en 2D, los apoyos pueden restringir el desplazamiento horizontal, el desplazamiento vertical y la rotación. Así como con los elementos, los nodos también pueden tener cargas, que son solicitaciones. En el caso de los nodos, estas se ilustran únicamente de color verde. Los resortes sirven para grados de libertad que, si bien no están restringidos, tienen cierta rigidez, y se ilustran de color naranja. Por último, los asentamientos son desplazamientos iniciales conocidos que tiene la estructura. Se denominan asentamientos porque lo más típico es encontrarlos en los apoyos que tienen contacto con el suelo, y se ilustran de color rosado.

Anteriormente se mencionó la existencia de un “sistema de referencia global” y un “sistema de referencia local del elemento”. El sistema de referencia global es el sistema común con el que se analiza la estructura. Este sistema de referencia es constante y se representa con los ejes que aparecen en la esquina inferior izquierda del panel del modelo:

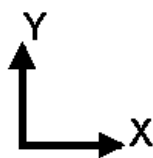


Figura 1.3.1. Ejes globales

Por otro lado, el sistema de referencia local de un elemento es un sistema útil para llevar a cabo su análisis, así como para plasmar cargas perpendiculares o paralelas a él. Para representar este sistema de referencia existen unos ejes denominados **ejes locales**, los cuales SICMA creará automáticamente al definir un elemento:

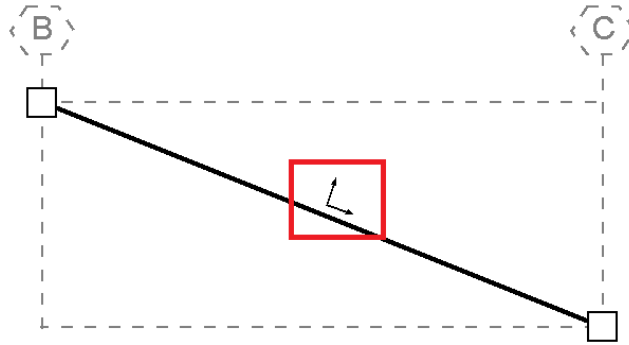


Figura 1.3.2. Ejes locales del elemento B1 – C2.

Finalmente, una característica importante de SICMA es el **modo**. Este se refiere al tipo de características habilitadas en el programa en el instante. El modo más común es el de “Selección”, pues en este es que se puede modificar las dimensiones de la estructura y asignarle a los nodos y elementos los distintos tipos de componentes descritos anteriormente. También existe el modo “Dibujo”, en el cual la única acción posible es definir un elemento (se explica en detalle en el capítulo 3.4. *Elemento*). Por último, existe el modo “Análisis”, en el cual es posible únicamente visualizar los resultados del análisis de rigidez de la estructura (i.e. diagramas de fuerzas internas y estructura deformada), mas no es posible realizar cambios en la estructura. En la esquina superior derecha se indica el modo en el que se encuentra el programa, por ejemplo:

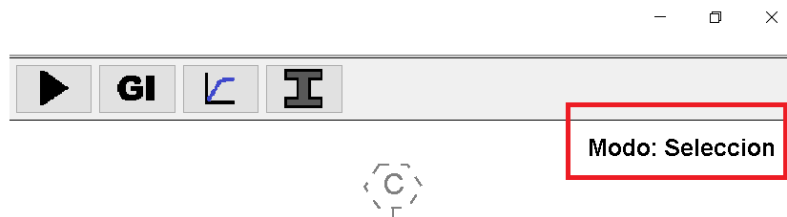


Figura 1.3.3. Dónde leer el modo del programa

2. Menú “Archivo”

Como la mayoría de los programas de hoy en día, el primer menú en la barra superior de la interfaz es uno llamado “Archivo”. Como su nombre lo indica, este menú contiene las acciones que se pueden realizar sobre el archivo que el programa tiene abierto o va a abrir. En el caso de SICMA, un archivo guarda un modelo, por lo que siempre que se mencione un “modelo” en este capítulo, debe entenderse que se trata de su archivo correspondiente.

2.1. Primeros pasos

En este manual se asume que el lector ya tiene instalado el software SICMA en su equipo. Si no es así, por favor diríjase al instalador y ejecútelo. Este le irá dando las instrucciones necesarias para que SICMA quede correctamente instalado en su equipo.

Si el software ya se encuentra instalado en el equipo, diríjase al buscador de aplicaciones, escriba el nombre “SICMA” y luego ejecútelo. Enseguida, se iniciará el programa con el panel del modelo en blanco, así:

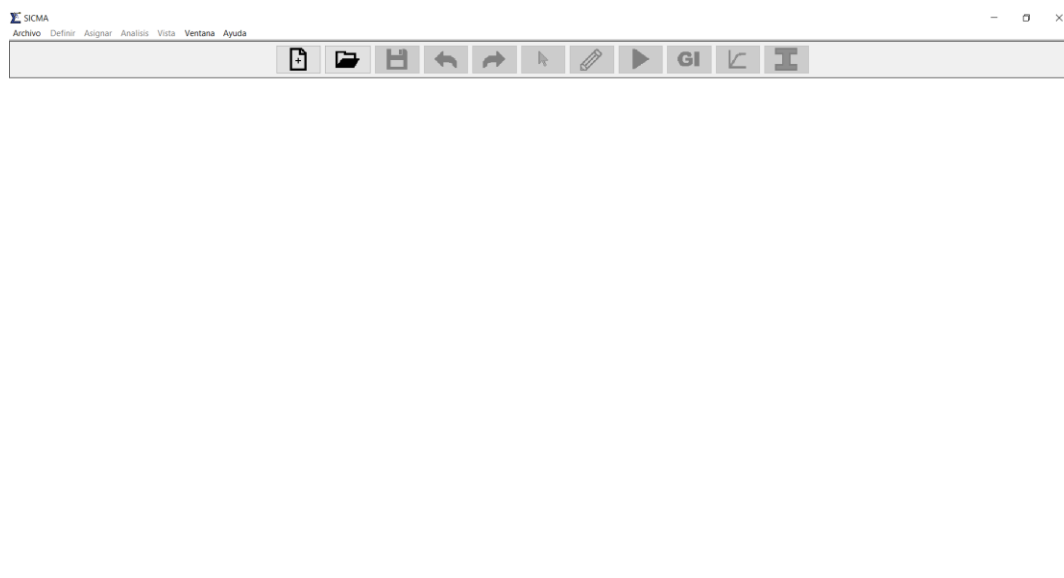


Figura 2.1.1. Visualización del programa recién abierto

Al no tener ningún modelo abierto, la mayoría de las características de SICMA no se encontrarán habilitadas. Por lo tanto, el siguiente paso a seguir es abrir un modelo. Para esto, se puede crear un nuevo modelo o abrir un modelo existente.

2.1.1. Crear un nuevo modelo

Para construir un modelo desde cero, se debe seleccionar la opción “Nuevo” en el menú “Archivo”, o presionar en el panel de botones el que tiene el siguiente ícono:



Figura 2.1.1.1. Botón para crear un nuevo modelo

Al hacer esto, se desplegará la siguiente ventana:

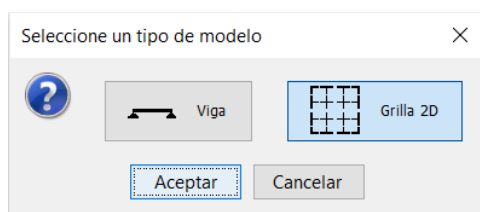


Figura 2.1.1.1. Seleccionar tipo de modelo

Como se aprecia en la imagen, se debe elegir qué tipo de modelo se desea tener: si una viga (estructura en una dimensión) o un pórtico (estructura en dos dimensiones) que se construye a partir de una grilla. Para el ejemplo a desarrollar, se elegirá la opción “Grilla 2D”. Para que sea posible construir una estructura como la que se muestra en la Figura 1.2.1, se debe diligenciar la ventana emergente como se muestra aquí:

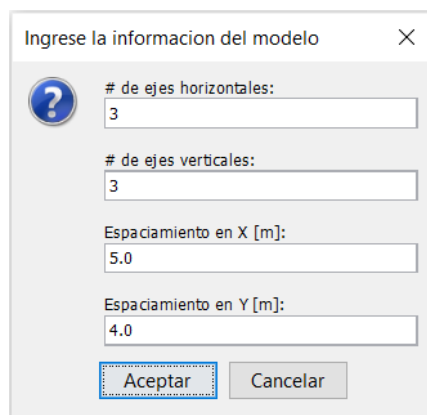


Figura 2.1.1.1. Seleccionar tipo de modelo

El número de ejes horizontales es la cantidad de líneas horizontales que tendrá la grilla, y de manera similar con el número de ejes horizontales. Por otra parte, el espaciamiento en X será la distancia

horizontal entre ejes verticales, mientras que el espaciamiento en Y será la distancia vertical entre ejes horizontales. Para el caso de un modelo tipo “Viga”, solo se solicitará la cantidad de vanos y el espaciamiento de cada vano. Si bien los espaciamientos se definen todos iguales inicialmente, podrán ser modificados individualmente posteriormente. Esto se explica en el capítulo 3.1. *Espaciamiento*.

2.1.2. Abrir un modelo existente

Si la intención es abrir un modelo creado con anterioridad, se debe presionar la opción “Abrir” en el menú, o presionar en el panel de botones el que tiene el siguiente ícono:



Figura 2.1.2.1. Botón para abrir un modelo existente

Al hacer esto, se desplegará un buscador como el siguiente:

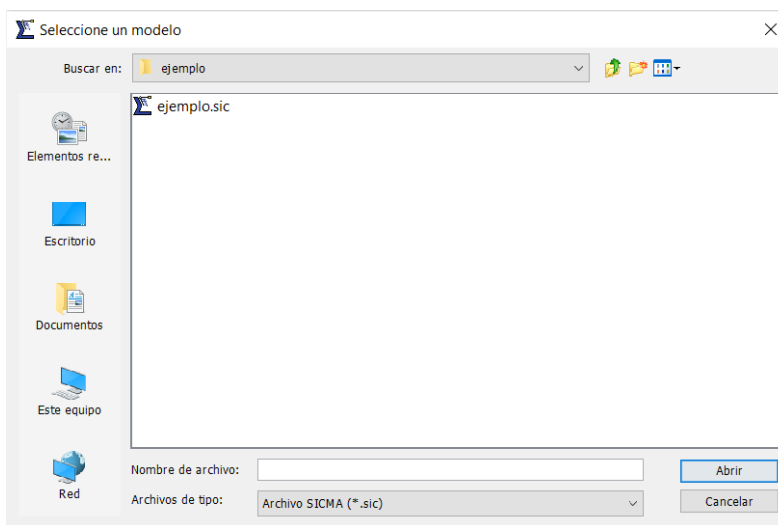


Figura 2.1.2.2. Buscador de archivos

Haga uso de este buscador para dirigirse a la carpeta en su equipo donde tenga almacenado el modelo que desea abrir. Luego, selecciónelo y presione el botón que dice “Abrir” en la esquina inferior derecha del buscador.

Hay otra forma de abrir un modelo existente. Para esto, no es necesario abrir SICMA desde el buscador de aplicaciones, sino que se puede abrir directamente desde el archivo. Primero, busque desde su equipo la carpeta donde tenga el modelo. Luego, haciendo doble click sobre este, se desplegará el software SICMA con su respectivo modelo abierto.

2.2. Cuando ya hay un modelo abierto

Una vez abierto su modelo, se habilitarán las funciones de SICMA a medida que avance en la creación de su estructura. Continuando con el modelo que se está creando desde cero, su pantalla se verá así:

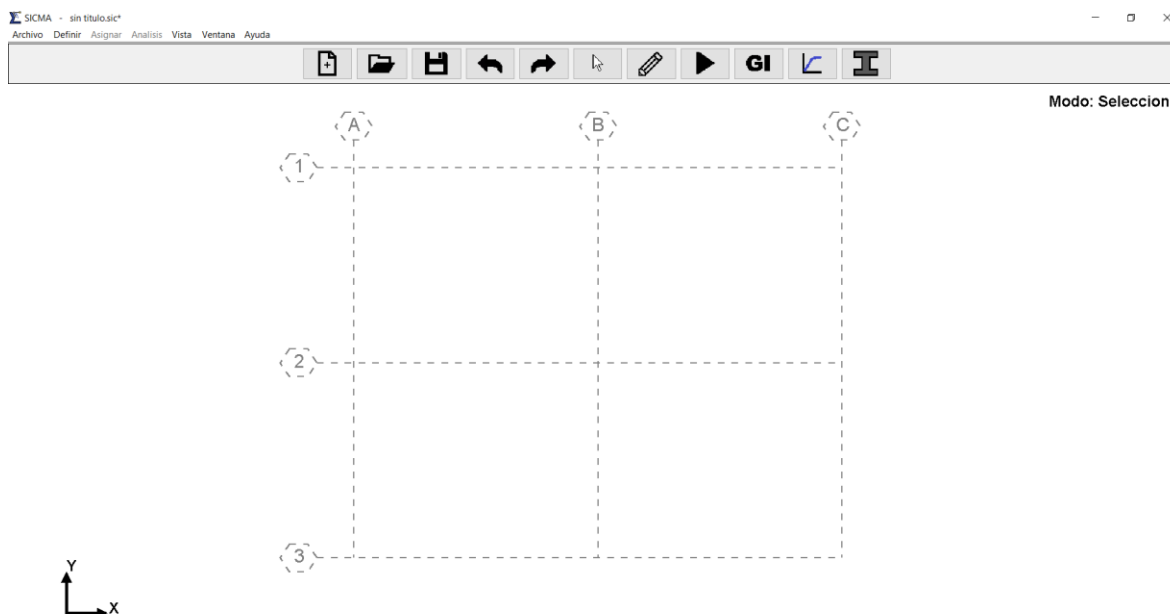


Figura 2.2.1. Grilla inicial.

Además, el menú “Archivo” tendrá el siguiente aspecto:



Figura 2.2.2. Menú “Archivo”

La siguiente acción que se aconseja realizar es guardar su modelo. Esto es recomendable realizarlo constantemente para no perder el progreso en caso de cerrar la aplicación de forma incorrecta. Para hacer esto, puede hacer uso de las opciones “Guardar” y “Guardar como”. La diferencia entre estas es que la opción “Guardar” almacenará la información sobre el archivo que se tiene abierto, mientras que la opción “Guardar como” almacenará la información del modelo en un archivo nuevo según las especificaciones del usuario (nombre y ubicación en el equipo). Si el modelo no se encuentra

guardado en un archivo, la opción “Guardar” se comportará como un “Guardar como”. En el panel de botones, la opción “Guardar” tiene el siguiente ícono:



Figura 2.2.3. Botón para guardar cambios

Al guardar el modelo con el nombre “ejemplo.sic”, ocurre el siguiente cambio:

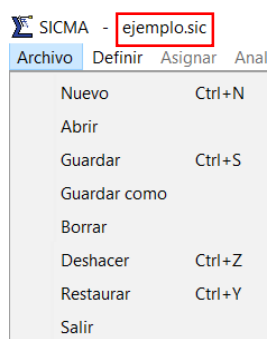


Figura 2.2.4. Nombre del modelo en la parte superior de la ventana

Esto sirve como guía para saber qué modelo se tiene abierto y si está guardado o no. Cada vez que se realice un cambio sobre el modelo, su nombre aparecerá con un asterisco (*) a la derecha, indicando que la última versión del modelo no se encuentra guardada.

Por otro lado, la opción “Borrar” sirve, como su nombre lo indica, para eliminar el archivo del modelo que se tiene abierto. Al presionar esa opción, aparecerá un mensaje de confirmación para verificar que el usuario desea eliminar por completo el archivo.

Las opciones “Deshacer” y “Restaurar” son las mismas “Undo” y “Redo”, respectivamente. Estas opciones son útiles para moverse hacia atrás o adelante entre las versiones del modelo, es decir, entre los cambios realizados sobre este. Sus íconos en el panel de botones son:



Figura 2.2.5. Botones para deshacer y restaurar cambios

Por último, la opción “Salir” permite cerrar el programa.

3. Menú “Definir”

Como se explicó en la introducción, la idealización de una estructura se hace mediante el uso de nodos y elementos. Los nodos existen únicamente en los extremos de los elementos y, por lo tanto, no necesitan ser definidos individualmente; cada vez que se defina un elemento, se crearán nodos en sus extremos. En contraste, los elementos sí necesitan ser definidos individualmente. Un elemento, a su vez, está caracterizado por un material y una sección transversal, los cuales necesitan ser definidos de manera previa a la creación del elemento. Asimismo, sus dimensiones dependerán completamente de la geometría de la grilla, por ello es útil tener la opción de modificar el espaciamiento entre los ejes de la grilla. Se procederá a explicar cómo se define cada uno de estos componentes.

3.1. Espaciamiento

En la creación del modelo, se definió un espaciamiento único en cada dirección. No obstante, el usuario puede requerir espaciamientos distintos entre ejes de una misma dirección. Por ejemplo, supóngase que para el modelo que se creó en el capítulo 2.1.1. *Crear un nuevo modelo* se requiere que el espaciamiento vertical entre los ejes 1 y 2 no sea de 4 metros, sino de 2.5 metros. Para esto, es necesario dirigirse a la opción “Espaciamiento” del menú “Definir” y presionarla. Primero, se desplegará una ventana que pregunta la dirección en la que se desea editar. Como se quiere cambiar un espaciamiento vertical, se debe seleccionar la dirección “Y”:

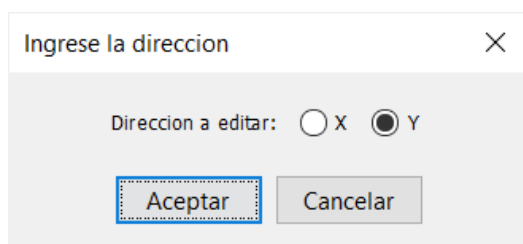


Figura 3.1.1. Dirección por editar

Al aceptar, aparecerá una nueva ventana en la que se debe indicar el par de ejes cuyo espaciamiento se desea modificar, así como la nueva distancia. Al ingresar los parámetros recién mencionados, la ventana se vería de la siguiente forma:

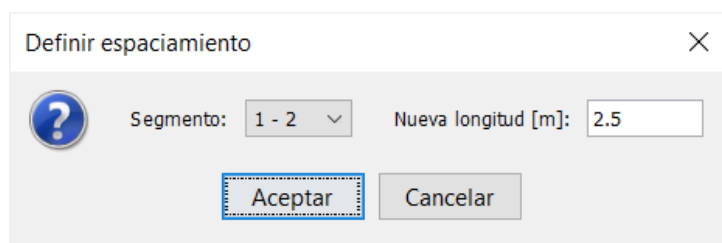


Figura 3.1.2. Definir el nuevo espaciamiento

La grilla resultante sería:

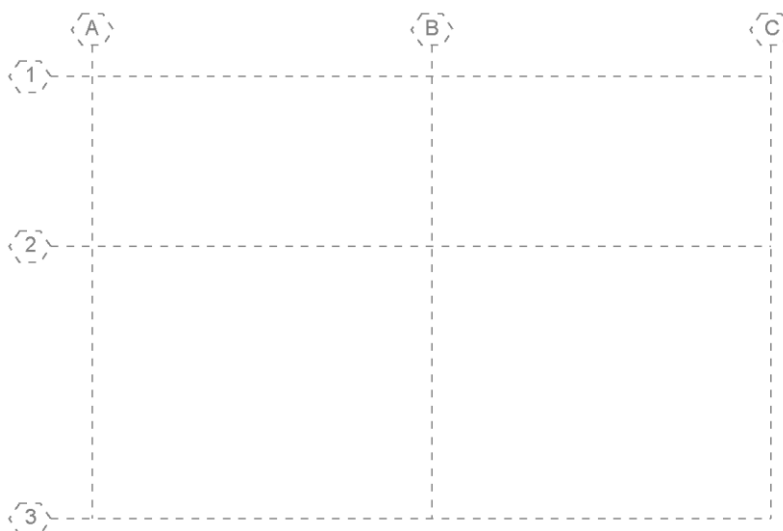


Figura 3.1.3. Grilla resultante

Es importante mencionar que el espaciamiento no necesariamente debe definirse antes de los otros componentes. Si ya se tuviera dibujada una estructura completa, aún se podría modificar el espaciamiento y la geometría de los elementos se actualizaría.

3.2. Material

Para el modelo que se está trabajando, se desea que todos los elementos sean de un concreto (hormigón) cuyo peso propio es de $23.54 kN/m^3$, su módulo de Young es de $20 GPa$ y su coeficiente de expansión térmica es de $9.9 \cdot 10^{-6} 1/^\circ C$. Para plasmar esta información en el modelo, hay que dirigirse a la opción “Material” en el menú “Definir”. Si ya se ha creado algún para el modelo en cuestión, se desplegará la siguiente ventana:

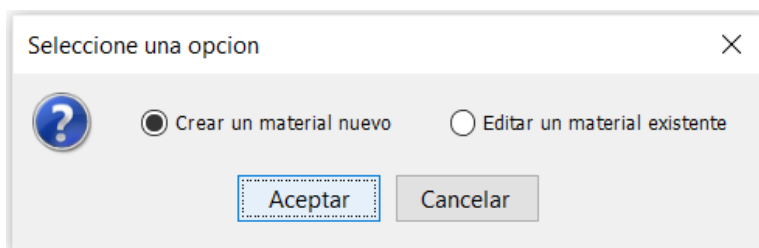


Figura 3.2.1. Alternativas para definir un material

Para el ejemplo, como se quiere crear un material nuevo, se debería elegir la opción de “Crear un material nuevo” y diligenciar la ventana emergente de la siguiente manera:

Ingrese la informacion del material

Nombre: Concreto

Peso propio [kN/m3]: 23.54

Modulo E [kPa]: 20e6

Coeficiente termico [1/°C]: 9.9e-6

Aceptar Cancelar

Figura 3.2.2. Definir un material

Aquí es importante notar que SICMA permite el uso de notación científica en los cuadros de texto numéricos. En este caso, 20GPa corresponde a $20 \times 10^6\text{kPa}$, así que se puede ingresar el valor en cualquiera de estos formatos y el programa lo entenderá: “20000000”, “20e6” o “20E6”.

Otra forma de acceder a la opción de definir un material es mediante el panel de botones, buscando el que tenga este ícono:



Figura 3.2.3. Botón para definir un material

Si por algún motivo se deseara cambiar el peso propio del material a 24kN/m^3 , habría que volverse a dirigir a la opción de “Material” en el menú “Definir”, y luego seleccionar la opción “Editar un material existente” en la ventana emergente de la Figura 3.2.1. Así se debería ver la ventana resultante luego de diligenciar la información:

Editar Material

Material: Concreto

Atributo:

☒ Peso propio [kN/m3]

☐ Modulo de elasticidad [kPa]

☐ Coeficiente termico [1/°C]

Nuevo valor: 24

Aceptar Cancelar

Figura 3.2.4. Editar un material existente

3.3. Sección

Ahora, se desea que los elementos tengan una sección transversal cuadrada cuyo lado sea de 30 centímetros. En beneficio de la generalización, SICMA solicita el área y la inercia (segundo momento de área) de una sección transversal, mas no sus dimensiones per se. Por esta razón, primero deben encontrarse estos valores con la sección transversal de ejemplo:

$$\text{Área} = (0.30m)^2 = 0.09m^2$$

$$\text{Inercia} = \frac{(0.30m)^4}{12} = 0.000675m^4$$

Entonces, al seleccionar la opción “Sección” en el menú “Definir”, aparecerá una ventana similar a la que se muestra en la Figura 3.2.1. En esta ventana se selecciona la opción “Crear una sección nueva” y se diligencia la información como se muestra a continuación:

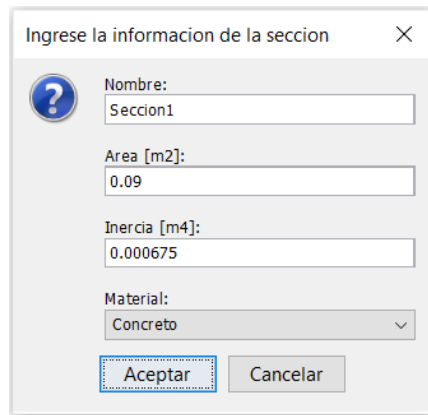


Figura 3.3.1. Definir una sección transversal

Otra forma de acceder a la opción de definir una sección es mediante el panel de botones, con el que tenga este ícono:



Figura 3.3.2. Botón para definir una sección

Al igual que los materiales, las secciones también se pueden modificar después de creadas. Para esto, hay que volver a abrir la opción “Sección” en el menú “Definir” y luego seleccionar la opción de “Editar una sección existente”.

3.4. Elemento

Una vez creados al menos un material y una sección, se habilitará en el menú “Definir” la opción de “Elemento”. Al presionarla, aparecerá una ventana en la cual se debe seleccionar la sección transversal que se desea que tenga el elemento. No hace falta seleccionar un material dado que cada sección transversal ya tiene definido un material. Después de elegir la sección que tendrá el elemento a dibujar, se habilitará el modo “Dibujo”¹. Este modo estará caracterizado por nos puntos amarillos parpadeantes que aparecerán en las intersecciones de la grilla, indicando que solo pueden dibujarse elementos seleccionando aquellas intersecciones:

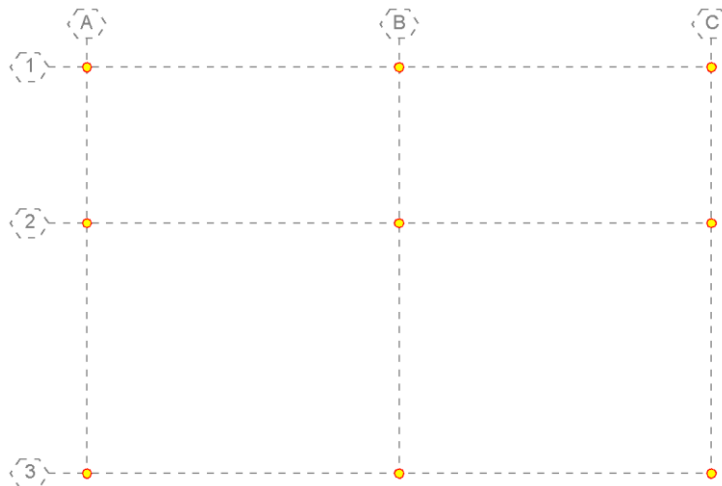


Figura 3.4.1. Indicadores de intersecciones en la grilla

Conectando algunas intersecciones se obtiene la siguiente estructura:

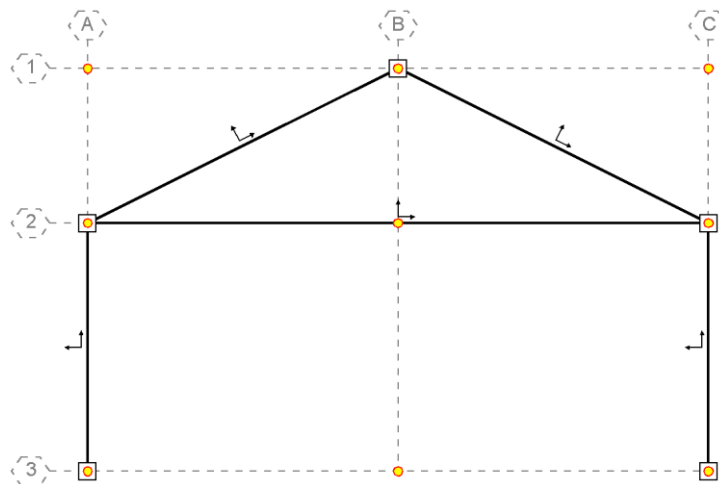


Figura 3.4.2. Ejemplo de estructura dibujada en la grilla

¹ En el capítulo 1.3. *El lenguaje utilizado en SICMA* se explica qué es un modo

Hay que aclarar que, mientras el modo “Dibujo” esté activado, todos los elementos que se creen tendrán la sección transversal que se eligió al seleccionar la opción “Elemento” en el menú “Definir”. Otra forma de acceder a esta opción es mediante el panel de botones, con el botón que tiene el siguiente ícono:



Figura 3.4.3. Botón para activar modo “Dibujo”

Una vez se haya terminado de dibujar la estructura, o se desee utilizar una sección transversal diferente para crear más elementos, se debe retornar el modo “Selección”. Para esto, hay que presionar la tecla “Esc” del teclado u oprimir el botón que tiene este ícono en el panel de botones:



Figura 3.4.4. Botón para activar modo “Selección”

A diferencia de los materiales y las secciones, a los elementos no se les pueden modificar sus atributos de creación, es decir, su sección y los puntos que conecta. La única forma de corregir esto es eliminando el elemento y volviéndolo a crear entre puntos distintos o con una sección distinta. Para eliminar un elemento, primero se debe seleccionarlo. Supóngase que, en este caso, se quiere eliminar el elemento que conecta los nodos A2 y C2:

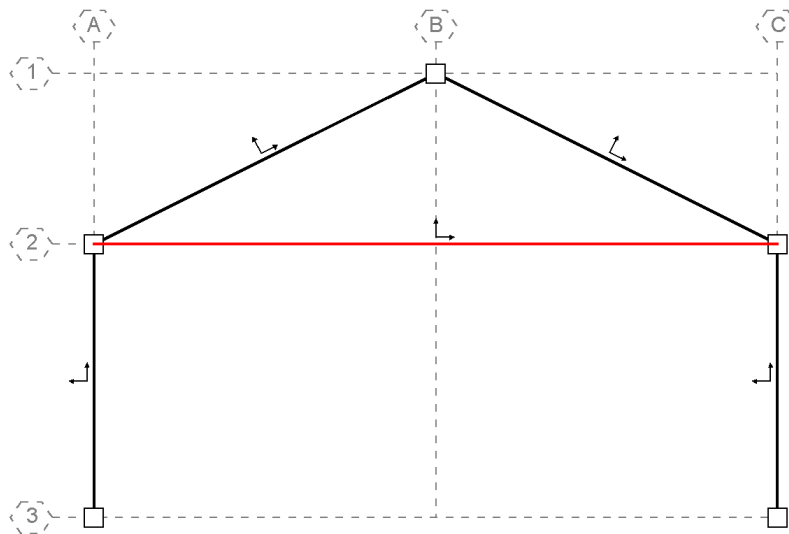


Figura 3.4.5. Selección del elemento que se desea eliminar

Luego, se oprime la tecla “Supr” (“Delete” en inglés) o la tecla “Retroceso” (“Backspace” en inglés), y el elemento desaparecerá del modelo. La otra forma de eliminarlo es haciendo click derecho sobre él, y luego se oprime la opción “Eliminar”:

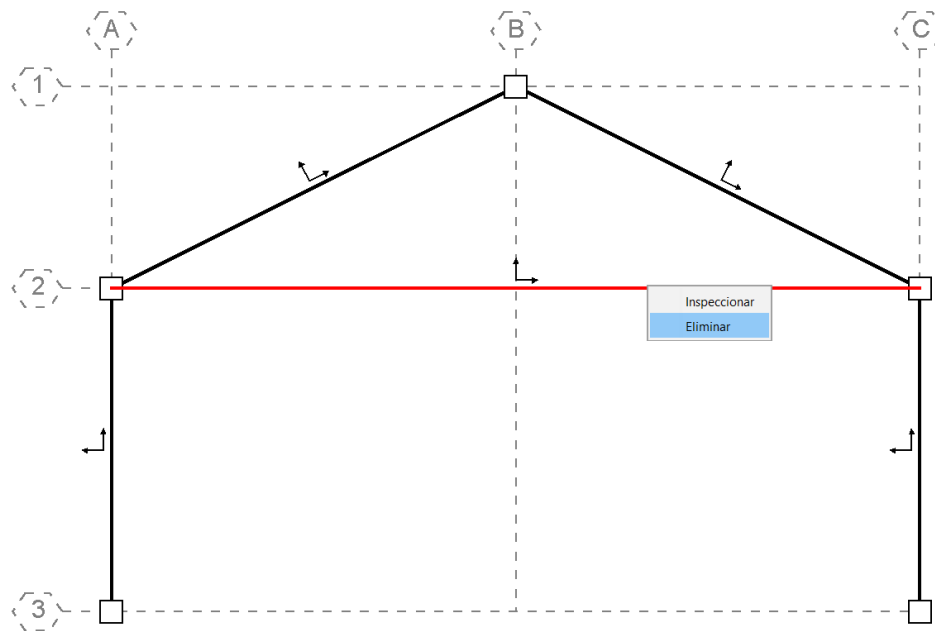


Figura 3.4.6. Eliminar el elemento seleccionado

4. Menú “Asignar”

Como se mencionó en el capítulo 1.3. *El lenguaje utilizado en SICMA*, los nodos y los elementos pueden tener distintas propiedades que ayudan a caracterizar la estructura, como lo son las cargas, los apoyos, los resortes, entre otros. Todas estas propiedades se consignan en el menú “Asignar”. Este menú no tiene opciones fijas, sino que estas varían de acuerdo con lo que se tenga seleccionado; para los nodos habilita unas opciones, y para los elementos habilita otras. Si no se tiene seleccionado ninguno de ellos, el menú “Asignar” mostrará el siguiente mensaje:

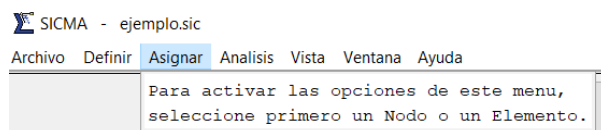


Figura 4.1. Menú “Asignar” cuando no hay nada seleccionado

4.1. Para un nodo

Para seleccionar un nodo, hay que hacer click sobre él. Estará correctamente seleccionado si se ve de la siguiente forma:



Figura 4.1.1. Nodo seleccionado

Una vez seleccionado un nodo, el menú “Asignar” habilitará siguientes opciones: “Apoyos”, “Cargas”, “Resortes” y “Asentamientos”. Si se desea conocer en detalle las propiedades asignadas a un nodo, se puede realizar click derecho o doble click sobre él y se desplegará la siguiente ventana:

Información del Nodo	
Apoyos	Desplazamiento X: <input type="text" value="false"/>
	Desplazamiento Y: <input type="text" value="false"/>
	Giro: <input type="text" value="false"/>
Cargas	Direccion X [kN]: <input type="text" value="0.0"/>
	Direccion Y [kN]: <input type="text" value="0.0"/>
	Momento [kN*m]: <input type="text" value="0.0"/>
Resortes	Rigidez en X [kN/m]: <input type="text" value="0.0"/>
	Rigidez en Y [kN/m]: <input type="text" value="0.0"/>
	Giro [kN*m/rad]: <input type="text" value="0.0"/>
Asentamientos	Desplazamiento X [m]: <input type="text" value="0.0"/>
	Desplazamiento Y [m]: <input type="text" value="0.0"/>
	Giro [rad]: <input type="text" value="0.0"/>

Figura 4.1.2. Ventana de propiedades de un nodo

4.1.1. Apoyos

Como se aprecia en la Figura 4.1.2, los apoyos de un nodo se asignan como variables booleanas, es decir, de verdadero o falso. Los apoyos son útiles para restringir grados de libertad de movimiento de un nodo. Si, por ejemplo, se quiere que el nodo A3 del ejemplo que se ha venido trabajando tenga restringido únicamente el desplazamiento vertical, hay que buscar que el valor de “Desplazamiento Y” en los apoyos sea verdadero (*true* en inglés). Para hacer esto, hay que seleccionar el nodo y luego dirigirse a la opción “Apoyos” del menú “Asignar”. La ventana emergente debe ser configurada de la siguiente forma:

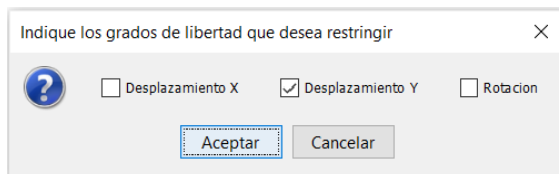


Figura 4.1.1.1. Asignar apoyos

Observe cómo cambia el nodo A3 y su respectiva ventana de propiedades:

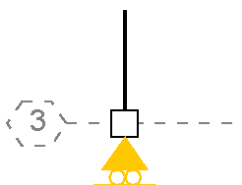


Figura 4.1.1.2. Nodo A3 con apoyo


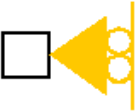
Informacion del Nodo	
Apoyos	Desplazamiento X: false
	Desplazamiento Y: true
	Giro: false
Cargas	Direccion X [kN]: 0.0
	Direccion Y [kN]: 0.0
	Momento [kN*m]: 0.0
Resortes	Rigidez en X [kN/m]: 0.0
	Rigidez en Y [kN/m]: 0.0
	Giro [kN*m/rad]: 0.0
Asentamientos	Desplazamiento X [m]: 0.0
	Desplazamiento Y [m]: 0.0
	Giro [rad]: 0.0







Figura 4.1.1.3. Propiedades del nodo A3

Figura 4.1.1.4. Estructura con apoyos

Como se puede observar, la ilustración de los apoyos cambia según los grados de libertad que se encuentren restringidos. A continuación, una tabla que muestra todas las combinaciones posibles de apoyos con sus respectivas ilustraciones:

Tabla 4.1.1.5. Tipos de apoyos

Apoyos			Ilustración
Desplazamiento en X	Desplazamiento en Y	Rotación	
Falso	Falso	Falso	
Verdadero	Falso	Falso	

Falso	Verdadero	Falso	
Falso	Falso	Verdadero	
Verdadero	Verdadero	Falso	
Falso	Verdadero	Verdadero	
Verdadero	Falso	Verdadero	
Verdadero	Verdadero	Verdadero	

De la anterior tabla es importante notar que, si se desea eliminar los apoyos asignados a un nodo, lo que debe hacerse es asignar todos sus apoyos en “Falso”. Es decir, seleccionar el nodo, ir a la opción de “Apoyos” en el menú “Asignar”, y luego asegurarse de que ninguna casilla quede seleccionada en la ventana emergente.

4.1.2. Cargas

En la Figura 4.1.2 se aprecia que un nodo puede tener tres tipos de cargas: horizontal (en dirección X), vertical (en dirección Y) y momento, las cuales se inicializan en cero. Para el ejemplo, interesa que haya un momento de $20 \text{ kN} \cdot \text{m}$ aplicado sobre el nodo C2. Entonces, se debe seleccionar e ir a la opción “Cargas” del menú “Asignar”. La ventana emergente se diligencia como se muestra a continuación:

Ingrese la informacion de la carga

Direccion:

☐ X

☐ Y

☒ Momento

Valor [kN] o [kN*m]:

20

Aceptar Cancelar

Figura 4.1.2.1. Agregar carga a un nodo

En el modelo, aparecerá la respectiva carga de color verde:

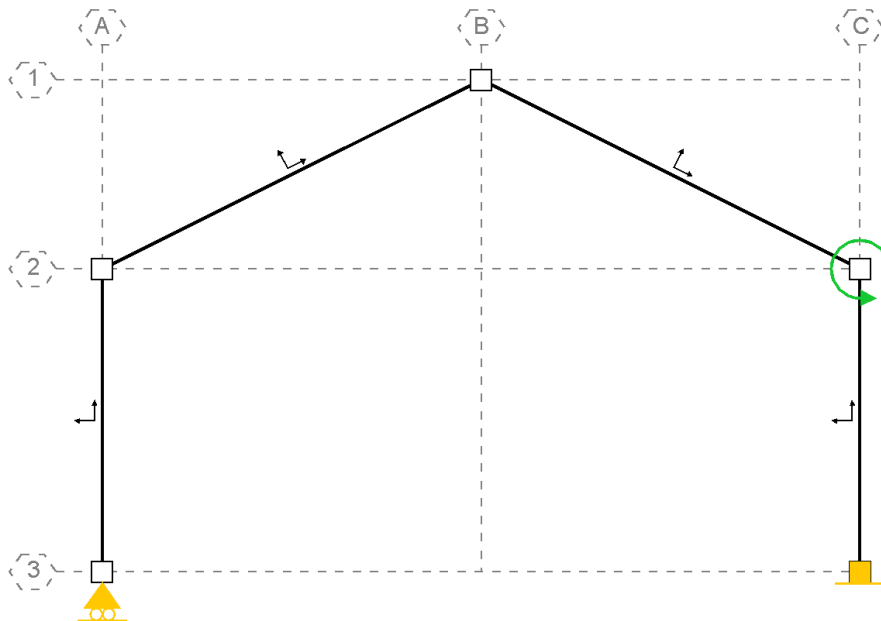


Figura 4.1.2.2. Momento aplicado sobre el nodo C2

Si se deseara eliminar la carga, habría que realizar el mismo procedimiento recién descrito y asignar un valor de 0.

4.1.3. Resortes

Los resortes son una propiedad similar a las cargas, pues constan de un valor numérico (en este caso, la rigidez o constante elástica del resorte) y una dirección. En SICMA, **los nodos solo pueden tener resortes en grados de libertad no restringidos** (es decir, sin apoyos en esa dirección). Suponga que ahora se quiere colocar un resorte horizontal sobre el nodo A2 con una rigidez de 50000 kN/m .

Entonces, luego de seleccionar el nodo, se va a la opción de “Resortes” en el menú “Asignar”, y se diligencia la ventana emergente como se muestra a continuación:

Ingresa la informacion del resorte

Direccion:

☒ X

☐ Y

☐ Giro

Rigidez [kN/m] o [kN*m/rad]:

50000

Aceptar Cancelar

Figura 4.1.3.1. Asignar un resorte a un nodo

En el modelo, aparecerá el respectivo resorte de color naranja:

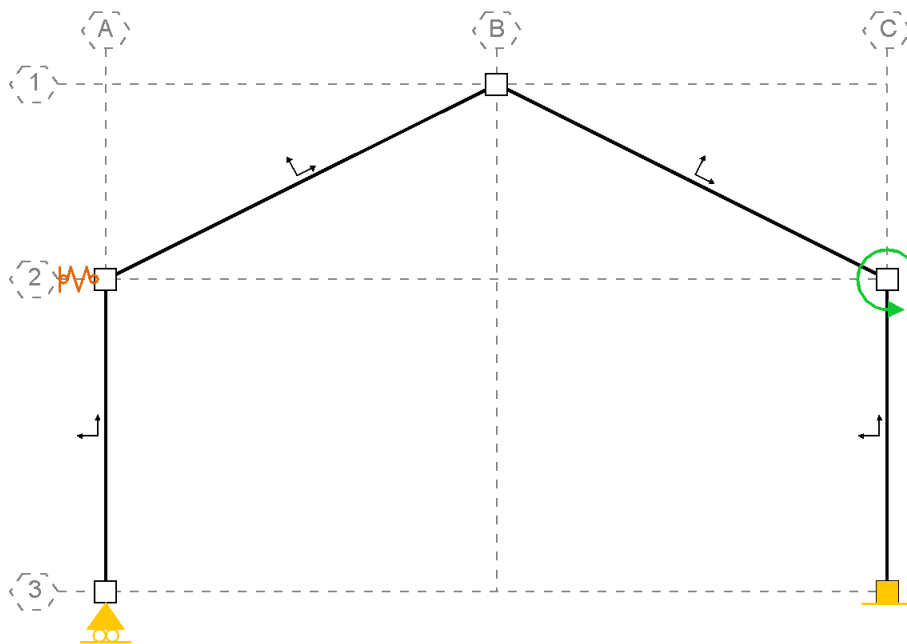
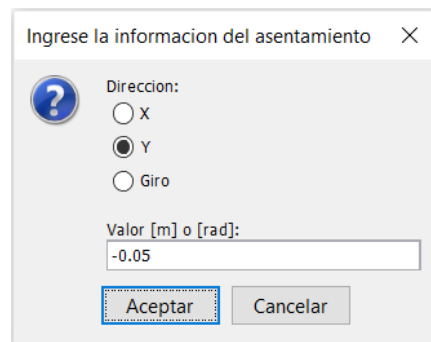


Figura 4.1.3.2. Resorte en el nodo A2

Si se deseara eliminar el resorte, habría que realizar el mismo procedimiento recién descrito y asignar un valor de 0 para la rigidez.

4.1.4. Asentamientos

En el capítulo 1.3. *El lenguaje utilizado en SICMA* se describieron los asentamientos como “desplazamientos iniciales conocidos”. Todavía más, los asentamientos **solamente pueden existir en grados de libertad restringidos** (es decir, con apoyos en esa dirección). En el ejemplo, se va a asignar un asentamiento de 5cm en dirección -Y al nodo C3. Para llevar esto a cabo, se selecciona el nodo, se va a la opción “Asentamientos” del menú “Asignar” y se ingresa la siguiente información en la ventana emergente:



Ingresar la información del asentamiento

Dirección:

☐ X

☒ Y

☐ Giro

Valor [m] o [rad]:

-0.05

Aceptar Cancelar

Figura 4.1.4.1. Asignar un asentamiento a un nodo

El asentamiento se verá de color rosado en el modelo:

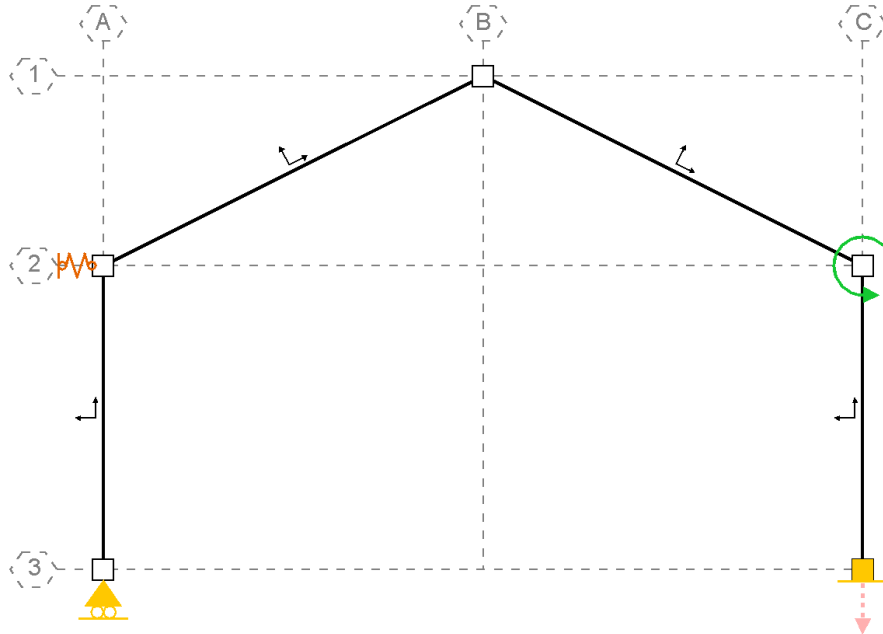


Figura 4.1.4.2. Asentamiento en el nodo C3

Si se deseara eliminar el asentamiento, habría que realizar el mismo procedimiento recién descrito y asignar un valor de 0.

4.2. Para un elemento

De la misma manera que con los nodos, un elemento debe ser seleccionado para poderle asignar pasadores o cargas. Como se mostró en el capítulo 3.4. *Elemento*, un elemento se selecciona haciendo click sobre él. Un elemento habrá sido correctamente seleccionado si pasa a ser de color rojo como en la Figura 3.4.5. En la Figura 3.4.6 se aprecia que al hacer click derecho sobre un elemento existe la opción de “Inspeccionar” sus atributos, algo que también puede realizarse haciendo doble click sobre este. Enseguida, aparecerá una ventana con toda la información del elemento, como la que se muestra aquí:

Información del Elemento			
General	Tipo:	TIPO_1	
	Longitud [m]:	4.0	
	Angulo [rad]:	1.571	
Cargas - Direccion: 'X' global	Distribuida [kN/m]:	0.0	
	Puntual en L/2 [kN]:	0.0	
	Puntuales cada L/3 [kN]:	0.0	
Material	Nombre:	Concreto	
	Gamma [kN/m3]:	24.0	
	Modulo E [kPa]:	2.000e+07	
	Coefficiente termico [1/°C]:	9.900e-06	
Cargas - Direccion: 'Y' global	Distribuida [kN/m]:	0.0	
	Puntual en L/2 [kN]:	0.0	
	Puntuales cada L/3 [kN]:	0.0	
Seccion	Nombre:	Seccion1	
	Area [m2]:	0.09	
	Inercia [m4]:	6.750e-04	
Cargas - Direccion: 'x' local	Distribuida [kN/m]:	0.0	
	Puntual en L/2 [kN]:	0.0	
	Puntuales cada L/3 [kN]:	0.0	
Cargas - Direccion: Gravedad	Distribuida [kN/m]:	0.0	
	Puntual en L/2 [kN]:	0.0	
	Puntuales cada L/3 [kN]:	0.0	
Cargas - Direccion: 'y' local	Distribuida [kN/m]:	0.0	
	Puntual en L/2 [kN]:	0.0	
	Puntuales cada L/3 [kN]:	0.0	
Cargas - Efecto de temperatura	h [m]:	0.0	
	ΔT_s [°C]:	0.0	
	ΔT_f [°C]:	0.0	

Figura 4.2.1. Ventana de propiedades del elemento A3-A2

Como se puede observar, esta ventana de propiedades contiene información geométrica, el material, la sección y todos los distintos tipos de cargas que pueden ser asignados. Estos últimos serán explicados más adelante en los capítulos 4.2.2. *Cargas* y 4.2.3. *Efecto de temperatura*.

4.2.1. Pasadores

Los pasadores de un elemento se definen asignándole un **tipo** al elemento. A continuación, los distintos tipos de elementos que pueden existir:

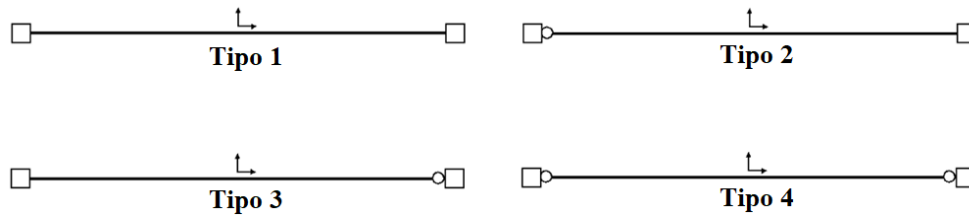


Figura 4.2.1.1. Tipos de elementos²

Para el ejemplo, se desea que el elemento que va de A2 a B1 sea Tipo 3. Primero, se debe seleccionar el elemento correspondiente. Posteriormente, hay que dirigirse a la opción de “Pasadores” en el menú “Asignar”, y se selecciona el tipo deseado en la ventana emergente:

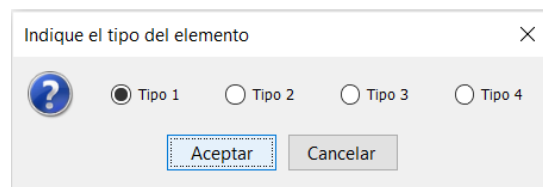


Figura 4.2.1.2. Asignar pasadores a un elemento

La estructura se verá así:

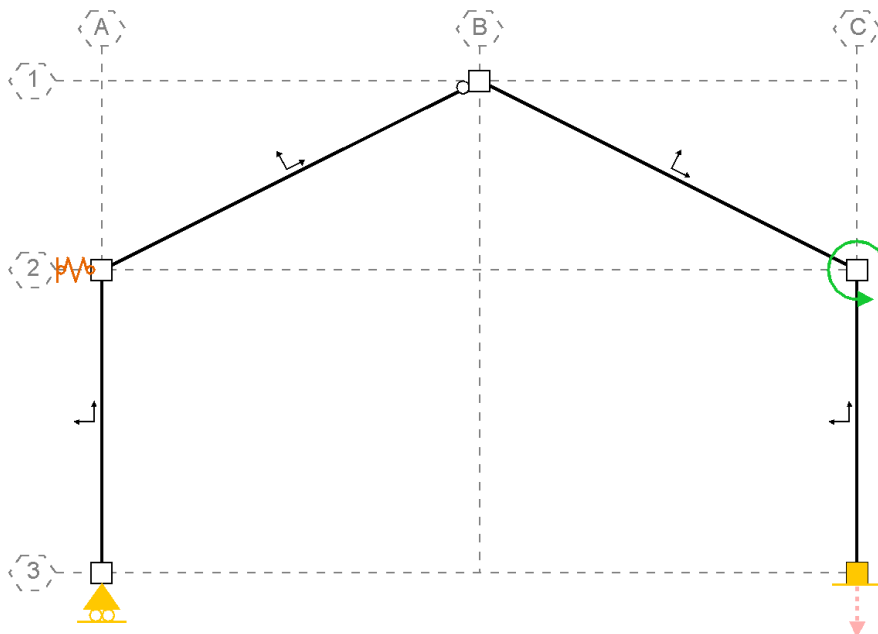


Figura 4.2.1.3. Pasadores en el elemento A2-B1

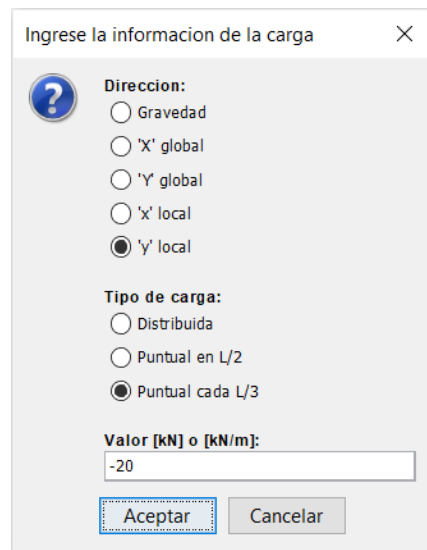
² Para diferenciar los elementos Tipo 2 y Tipo 3, tenga en cuenta la orientación de sus ejes locales.

Si desea eliminar los pasadores de un elemento, debe realizar el procedimiento recién descrito y definirlo de Tipo 1.

4.2.2. Cargas

Las cargas en los elementos pueden ser no solo efectos puntuales, sino efectos distribuidos a lo largo del elemento. Además, no necesariamente están orientadas según el sistema de coordenadas global, sino que pueden estar orientadas según el local. SICMA ilustra las cargas en coordenadas globales de color azul oscuro, mientras que las cargas en coordenadas locales de color azul claro.

Las cargas puntuales pueden ser colocadas en la mitad de la luz del elemento ($L/2$) o cada tercio de la luz del elemento (cada $L/3$). Suponga que, para el ejemplo, se desean ubicar cargas puntuales de $20kN$ al elemento C3-C2 cada $L/3$. Estas cargas deben ser perpendiculares a él (es decir, horizontales) y deben ir hacia la derecha. Para esto hay dos alternativas en cuanto a la elección de la dirección: asignarlas en dirección X global o en dirección -y local. Entonces, se debe seleccionar el elemento, ir a la opción “Cargas” en el menú “Asignar”, y luego diligenciar la siguiente información:



Ingresar la información de la carga

Direccion:

- ☐ Gravedad
- ☐ 'X' global
- ☐ 'Y' global
- ☐ 'X' local
- ☒ 'Y' local

Tipo de carga:

- ☐ Distribuida
- ☐ Puntual en $L/2$
- ☒ Puntual cada $L/3$

Valor [kN] o [kN/m]:

-20

Aceptar Cancelar

Figura 4.2.2.1. Asignar cargas puntuales a un elemento

Ahora, se quiere que el elemento A2-B1 tenga una carga distribuida de $10kN/m$ apuntando verticalmente hacia abajo. Como el elemento está inclinado, no se puede hacer uso del sistema de coordenadas locales para plasmar esta carga. Las opciones que se pueden utilizar son: asignarla en dirección -Y o en dirección de la gravedad (son equivalentes). Entonces, se debe seleccionar el elemento, ir a la opción “Cargas” en el menú “Asignar”, y luego diligenciar la siguiente información:

Ingrese la información de la carga

Dirección:

- ☒ Gravedad
- ☐ 'X' global
- ☐ 'Y' global
- ☐ 'x' local
- ☐ 'y' local

Tipo de carga:

- ☒ Distribuida
- ☐ Puntual en L/2
- ☐ Puntual cada L/3

Valor [kN] o [kN/m]:

10

Aceptar Cancelar

Figura 4.2.2.2. Asignar carga distribuida a un elemento

Las cargas se verán reflejadas en el modelo así:

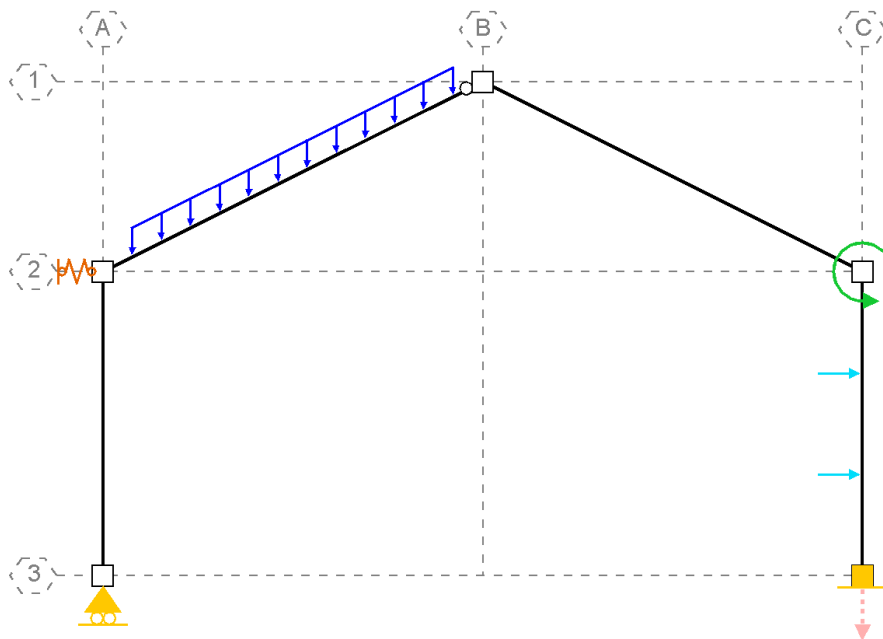


Figura 4.2.2.3. Ilustración de cargas en elementos

Para eliminar una carga de un elemento, se debe realizar el mismo procedimiento recién descrito y asignar un valor de 0 en la dirección deseada. Para verificar su correcta eliminación, vaya a la ventana de propiedades del elemento haciendo click derecho o doble click sobre este, como se explicó en los primeros párrafos del capítulo 4.2. *Para un elemento.*

4.2.3. Efecto de temperatura

Los efectos de temperatura son otra variable importante que puede afectar la deformación de la estructura. SICMA necesita tres datos para asignarle un efecto de temperatura a un elemento: la altura total de la sección transversal, un cambio de temperatura axial ΔT_a y un gradiente de temperatura ΔT_f . Para el ejemplo, se agregarán efectos de temperatura al elemento B1-C2 con un ΔT_a de -15°C y un ΔT_f de -20°C . Además, en el capítulo 3.3. *Sección* se vio que la altura total de la sección es de 30 centímetros. Estos datos se plasman en el programa seleccionando el elemento, dirigiéndose a la opción “Efecto de temperatura” en el menú “Asignar” y diligenciando la siguiente información:

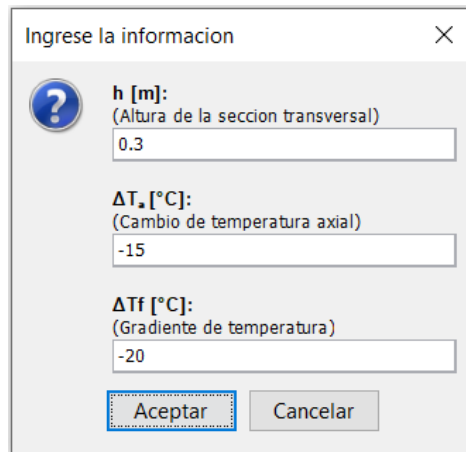


Figura 4.2.3.1. Asignar efecto de temperatura

El efecto de temperatura se verá reflejado con una línea punteada amarilla, así:

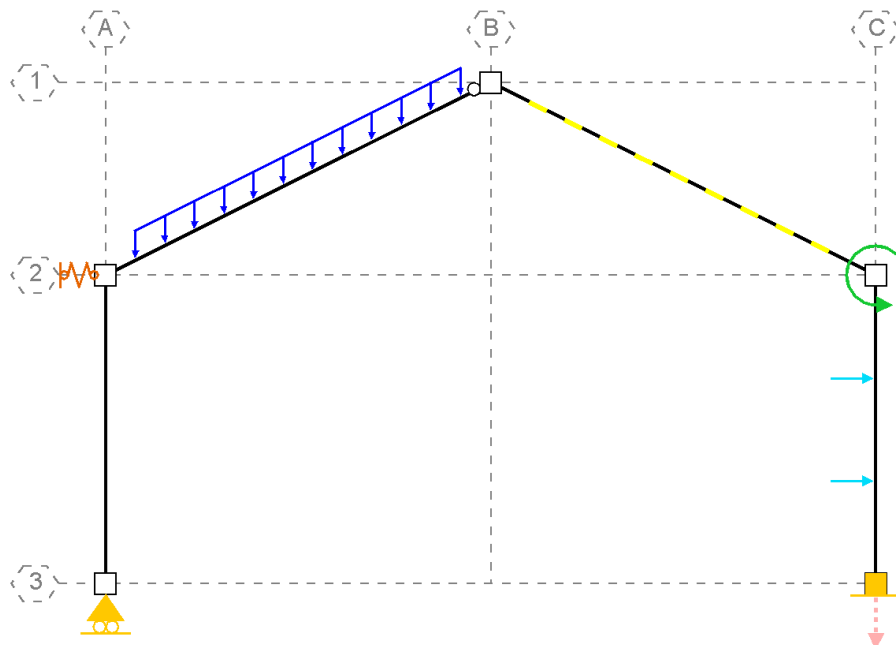


Figura 4.2.3.2. Carga de temperatura en el elemento B1-C2

Si se desea eliminar un efecto de temperatura, se debe realizar el procedimiento recién descrito y asignar valores de 0 a ΔT_a y ΔT_f . SICMA no permitirá colocar un valor de 0 en la altura de la sección, sin embargo, puede colocarse cualquier valor positivo y habrá sido correctamente eliminado el efecto de temperatura.

5. Menú “Análisis”

5.1. Grado de indeterminación

El grado de indeterminación (GI) de la estructura se calcula con el método descrito en Reyes (*s.f.* a):

$$GI = 3E - (3N + A + P)$$

Donde E es el número de elementos, N es el número de nodos libres, A es el número de grados de libertad en los nodos con apoyos, y P es el número de pasadores.

Para obtener este cálculo, hay que dirigirse a la opción “Grado de Indeterminación” del menú “Análisis”. En el caso de la estructura del ejemplo, el resultado es el siguiente:

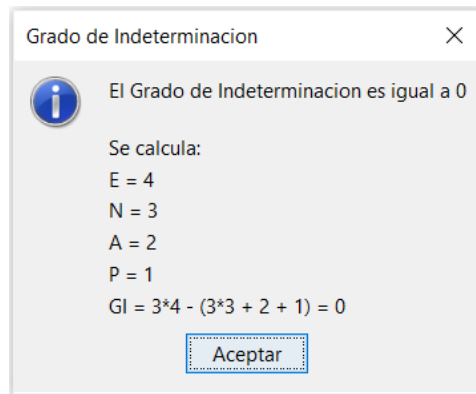


Figura 5.1.1. Cálculo del grado de indeterminación

SICMA mostrará en detalle el valor de cada una de las variables que componen la fórmula y el resultado que se obtiene. También se puede acceder a esta función mediante el siguiente botón:



Figura 5.1.2. Botón del grado de indeterminación

5.2. Análisis de rigidez

Esta es la parte más importante del análisis, pues aquí es donde se obtienen los resultados más relevantes de la estructura. SICMA implementa el método matricial de rigidez que explica Reyes (*s.f.* b), el cual es, a su vez, una adaptación del método de elementos finitos. Este método calcula los desplazamientos en cada uno de los nodos, y a partir de ahí se calculan reacciones en los apoyos y fuerzas internas en los elementos.

Para hacer uso de esta función, se debe guardar el modelo una vez esté completo. Después, se debe seleccionar la opción “Análisis de rigidez” en el menú “Análisis”. Otra forma de acceder a esta opción es mediante el siguiente botón:



Figura 5.2.1. Botón de Análisis de rigidez

Primero, SICMA le preguntará al usuario si desea incluir el peso propio de la estructura en los cálculos, tal como se muestra en esta imagen:

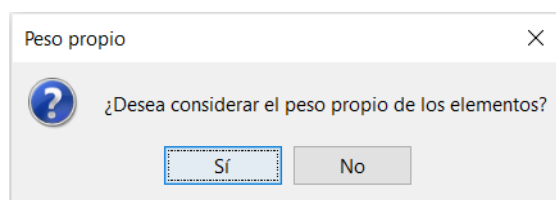


Figura 5.2.2. Considerar peso propio en el análisis

Para el modelo del ejemplo, no se desea considerar el peso propio de la estructura en el análisis. Al seleccionar esta opción, SICMA confirmará si se pudo llevar a cabo el análisis correctamente y se activará el modo “Análisis”, que se ve así:

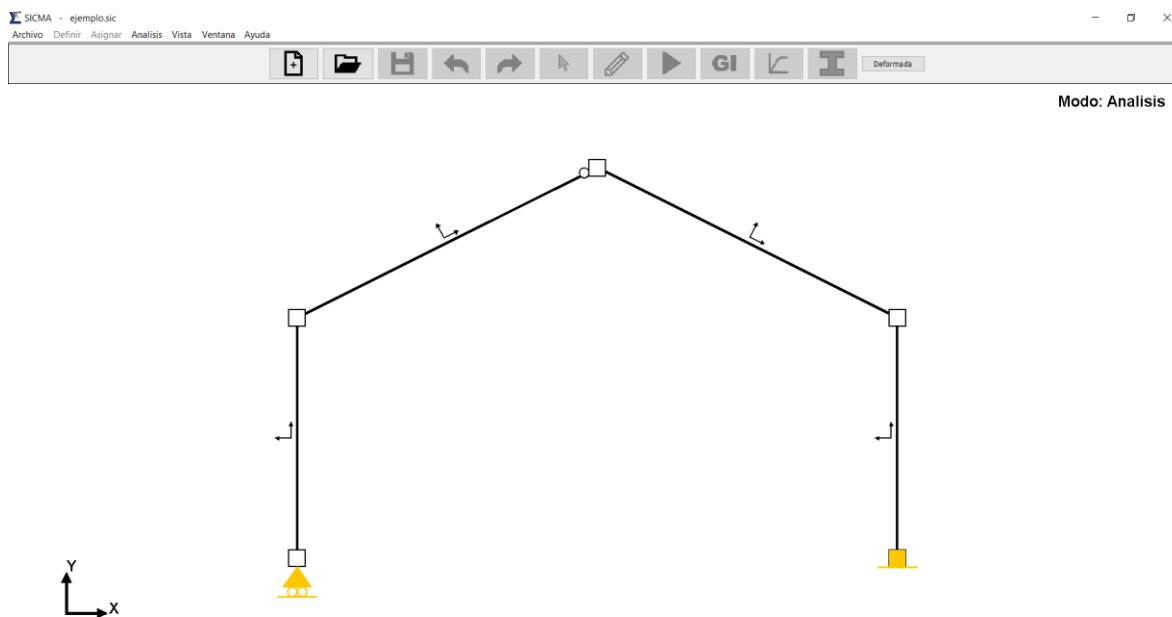


Figura 5.2.3. Modo análisis

En el modo “Análisis”, se habilita un nuevo botón en el panel de botones:

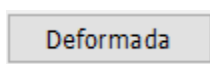


Figura 5.2.4. Botón de la deformada

Como su nombre lo sugiere, este botón permite visualizar la silueta deformada de la estructura como resultado del análisis:

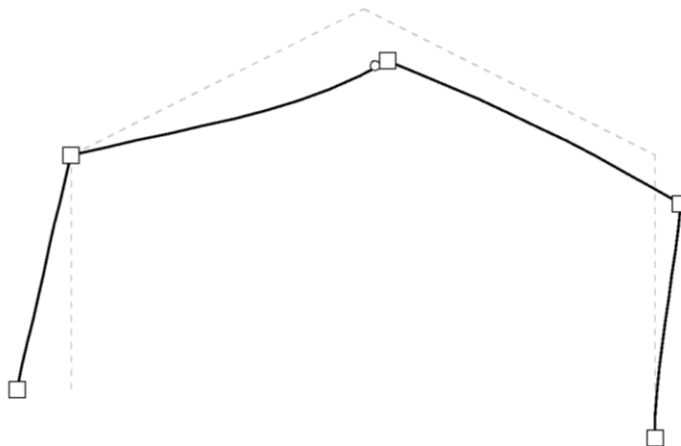


Figura 5.2.5. Silueta deformada

Si se desea leer los resultados del análisis con mayor detalle, es recomendable desactivar la visualización de la deformada. Si se quieren saber, por ejemplo, las reacciones en el nodo C3, se debe hacer click sobre él y se desplegará la siguiente ventana:

Resultados del Nodo		✕
Desplazamientos	X [m]:	0.0
	Y [m]:	-0.05
	Giro [rad]:	0.0
Reacciones	X [kN]:	-60.404
	Y [kN]:	15.42
	Momento [kN*m]:	115.527
Fuerzas en resortes	X [kN]:	0.0
	Y [kN]:	0.0
	Momento [kN*m]:	0.0

Figura 5.2.6. Ventana de análisis del nodo C3

Como se puede ver, en esta ventana también se plasman los desplazamientos del nodo y las fuerzas que sufren sus resortes (si tiene). Si ahora se quieren ver los resultados de las fuerzas internas del elemento B1-C2, se debe hacer click sobre él y se desplegará la siguiente ventana:

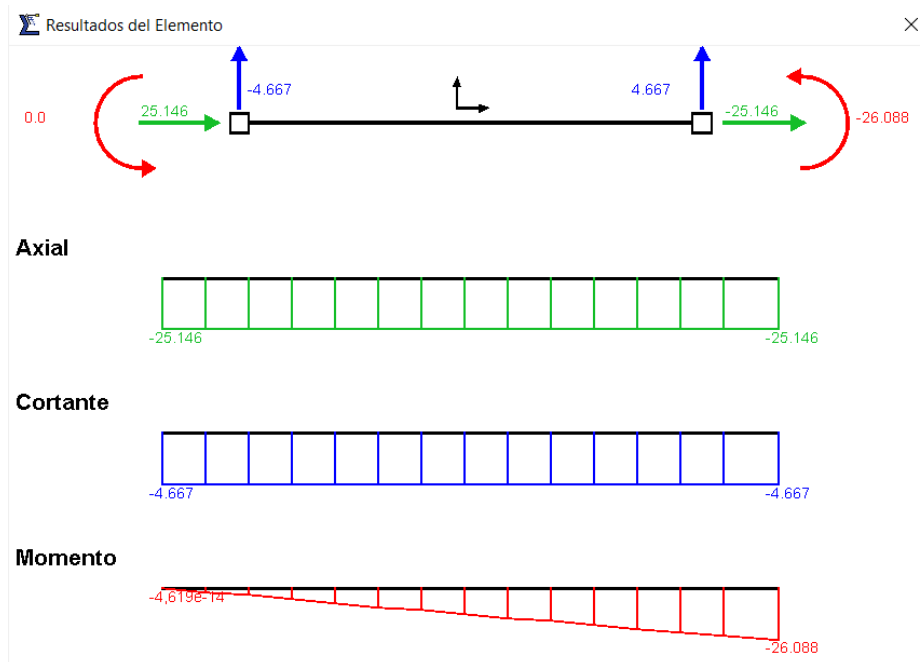


Figura 5.2.7. Ventana de análisis del elemento B1-C2

En esta ventana se muestran las fuerzas internas del elemento según sus coordenadas locales. Por eso, en la parte superior aparece un boceto del elemento con sus respectivos ejes locales, y allí aparecen las fuerzas internas en sus extremos. Debajo de este boceto aparecen los diagramas de fuerzas internas a lo largo del elemento.

5.3. Editar modelo

Como se vio anteriormente, SICMA cambia al modo “Análisis” al ejecutar el análisis de rigidez. Cuando se está en este modo, ningún cambio puede ser realizado sobre la estructura. Para volver a realizar cambios en el modelo una vez ejecutado el análisis de rigidez, se debe presionar la opción “Editar modelo” en el menú “Análisis” para que SICMA pase al modo “Selección”, en el cual sí es posible realizar cambios en el modelo.

6. Menú “Vista”

Este menú sirve para elegir qué objetos o propiedades se desean visualizar en el modelo. Contiene las siguientes opciones:

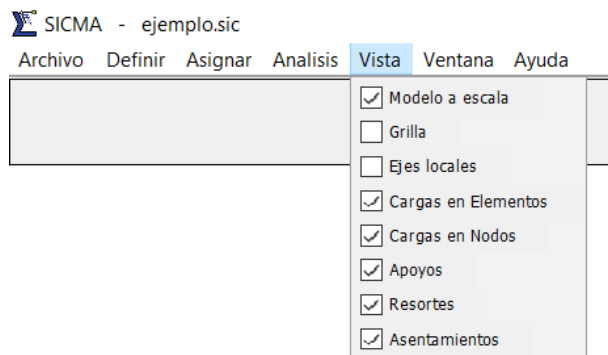


Figura 6.1. Uso del menú “Vista”

Con la anterior configuración, el modelo se vería así:

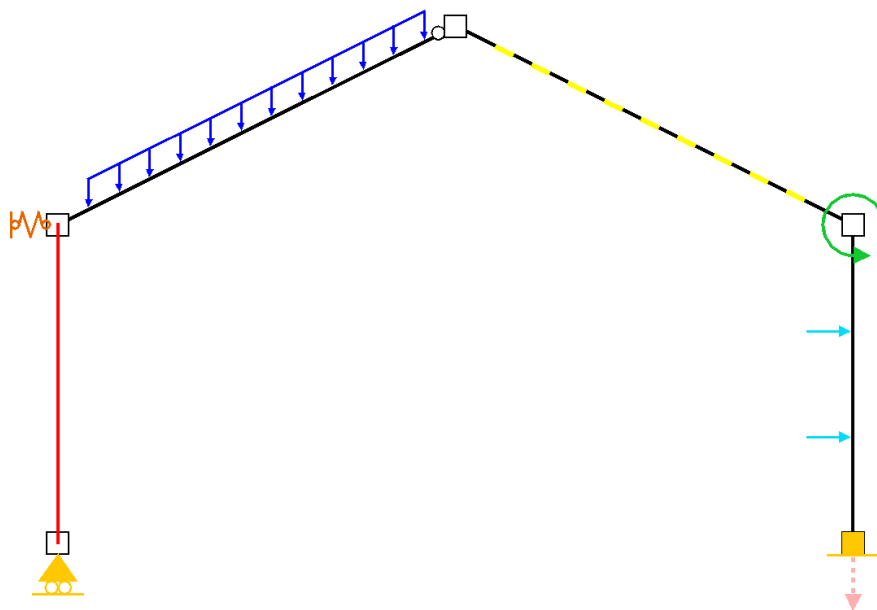


Figura 6.2. Vista personalizada del modelo

7. Menú “Ventana”

Este menú tiene como objetivo que el usuario de SICMA pueda personalizar el panel de botones según su gusto. En él se puede seleccionar qué botones se desea tener activos para facilitar el uso del programa. Si, por ejemplo, el usuario no considerara necesarios los botones de “GI”, “Nuevo material” y “Nueva sección”, podría configurar su panel de botones de la siguiente forma:

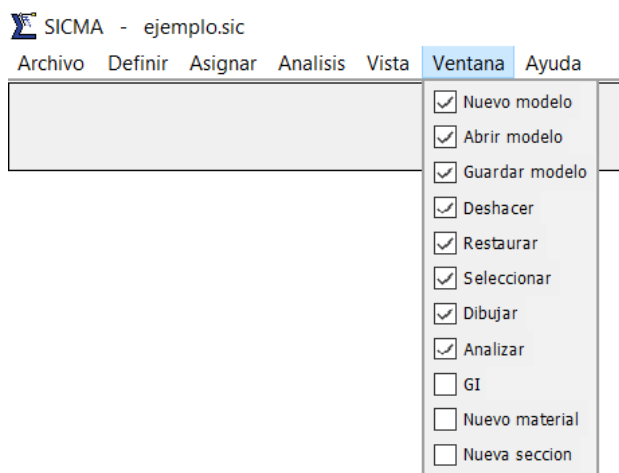













Figura 7.1. Uso del menú “Ventana”

El panel de botones pasaría a verse de esta forma:



Figura 7.2. Panel de botones personalizado

8. Resumen de símbolos y atajos de teclado (shortcuts)

Acción	Atajo de teclado	Botón (si aplica)
Ir al modo “Selección” o limpiar selección actual	Esc	
Borrar elemento seleccionado	Supr / Retroceso	
Ir al modo “Dibujo”	Ctrl + D	
Editar modelo (salir del modo “Análisis”)	Ctrl + E	
Definir espaciamiento	Ctrl + G	
Definir una sección	Ctrl + H	
Calcular grado de indeterminación	Ctrl + I	
Asignar carga al objeto seleccionado (nodo o elemento)	Ctrl + L	
Definir un material	Ctrl + M	
Crear un nuevo modelo	Ctrl + N	
Abrir un modelo existente	Ctrl + O	
Ejecutar análisis de rigidez	Ctrl + R	
Guardar modelo	Ctrl + S	
Asignar efecto de temperatura al elemento seleccionado	Ctrl + T	
Restaurar / Redo	Ctrl + Y	
Deshacer / Undo	Ctrl + Z	

9. Referencias

Hibbeler, R.C. (1997). *Análisis Estructural* (Tercera Edición). Prentice Hall.

Reyes, J. C. (s.f. a). Introducción. En Reyes, J. C. (Comp), *ICYA 2203: Análisis de sistemas estructurales*. Universidad de los Andes.

Reyes, J. C. (s.f. b). Método matricial de rigidez: implementación computacional. En Reyes, J. C. (Comp), *ICYA 2203: Análisis de sistemas estructurales*. Universidad de los Andes.