

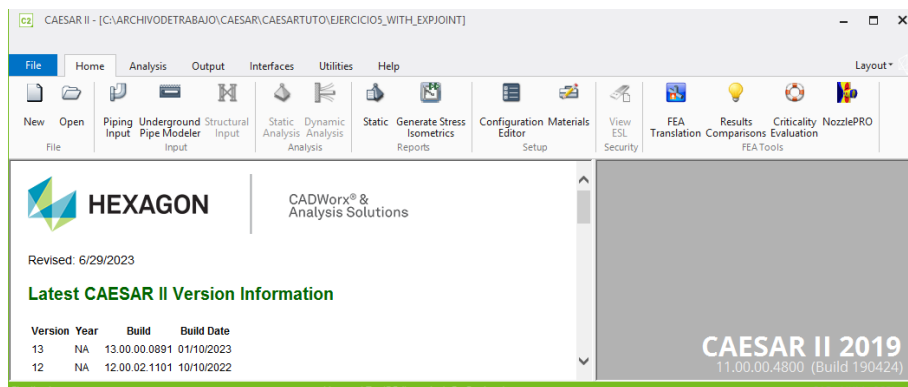
Introducción

CAESAR II es un software de análisis de tensión de cañerías que utiliza la teoría de vigas para evaluar los sistemas de cañerías según numerosos estándares internacionales. CAESAR II no es un software de análisis de elementos finitos (FEA), sino que utiliza un modelo lineal construido con elementos conectados por nodos.

Los ejercicios que acompañan esta introducción presentarán el programa CAESAR II y demostrarán varios métodos de modelado y análisis que sirven para evaluar y corregir sistemas de cañerías.

Interface

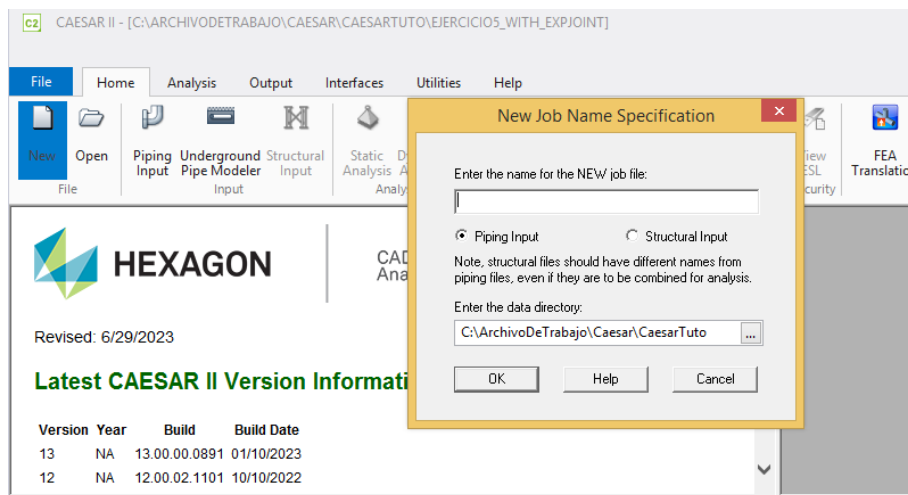
Al iniciar CAESAR II, aparece la ventana principal.



Desde esta ventana se inician todas las tareas. Esto incluye abrir/crear un archivo de entrada, revisar casos de carga, revisar resultados o acceder a cualquier módulo auxiliar que se abrirá en su propia ventana separada. Al abrir (Open) un archivo existente, éste se abrirá, pero seguiremos en la ventana principal. A continuación, puede optar por ir al procesador de entrada (Piping Input), al procesador de salida (Static) o a los distintos módulos auxiliares que junto con sus interfaces veremos a medida que vayamos avanzando con esta introducción.

Directorio de datos por defecto

CAESAR II tiene la opción de especificar el directorio de trabajo predeterminado, es decir que todos los archivos con los que se trabaja se guardarán/abrirán desde esta ubicación predeterminada. Por supuesto, también se puede navegar usando las funciones del explorador de Windows, esta configuración es solo la ubicación predeterminada al seleccionar New/Open.



Seleccione New. En el cuadro que se abre veremos el directorio de trabajo actual (data directory). Haciendo clic en el botón de puntos suspensivos podemos cambiar el directorio de trabajo. Además podemos darle nombre al archivo de trabajo (Enter the name for the job NEW job file).

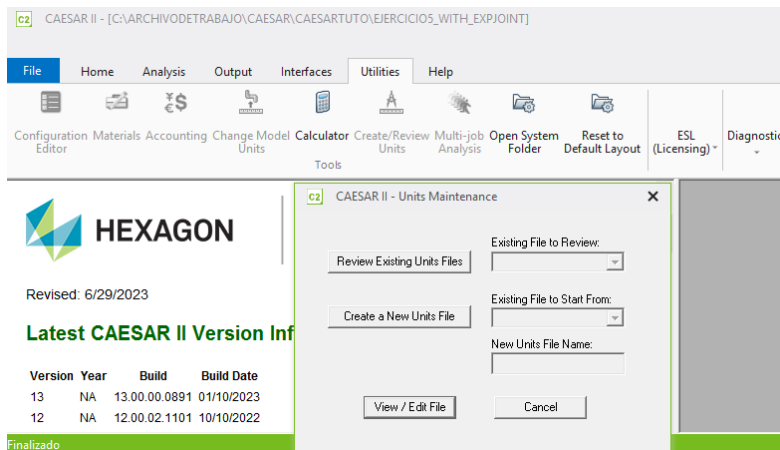
Defina un el subdirectorio de trabajo que desee usar.

Unidades

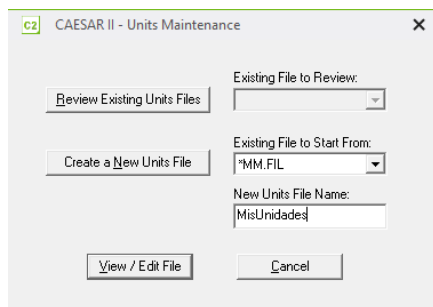
CAESAR II realiza todos los cálculos internos en unidades inglesas. Para permitir la entrada y revisión de datos en unidades alternativas (como SI), CAESAR II utiliza archivos de unidades que convierten las internas de CAESAR II a la unidad preferida del usuario. Cada archivo CAESAR II (denominado "Archivo de trabajo") utiliza un archivo de unidades particular que se especifica en la creación del trabajo. Los archivos se pueden convertir de un archivo de unidades a otro si es necesario. Los archivos de unidades tienen la extensión *.FIL y están ubicados en el directorio del Sistema CAESAR II, o en el mismo directorio que el archivo de trabajo. El archivo a utilizar se especifica en el archivo de configuración.

Crear un archivo de unidades propio

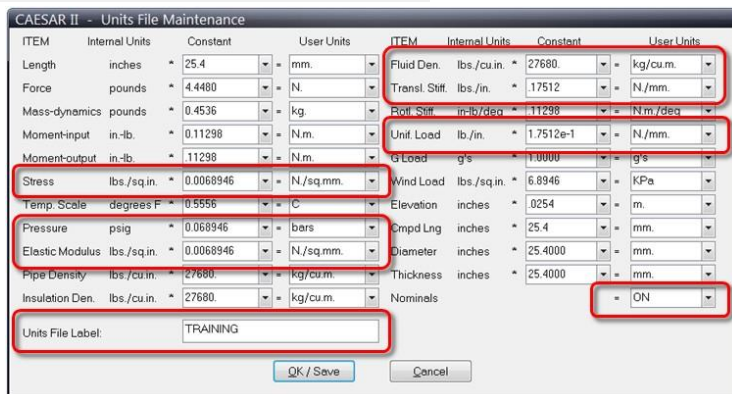
A lo largo de los ejercicios, se utilizarán unidades específicas para varios parámetros, como presión, densidad, etc. Por lo tanto necesitamos un archivo de unidades que sea diferente a los archivos predeterminados proporcionados. Entonces crearemos nuestro propio archivo de unidades CAESAR II.



Desde la ventana principal seleccione “Utilities” → “Create/Review Units”. El cuadro que aparece nos permite la creación de un nuevo archivo de unidades (“Create a New Units File”), o la revisión de uno existente (“Review Existing Units File”). Esto último será útil si recibimos un archivo de unidades de otro trabajo y deseamos verificar las unidades en uso de este archivo.



Elija Crear nuevo archivo de unidades y, para usar un archivo de muestra como punto de inicio, seleccione *MM.FIL. Asigne un nombre al nuevo archivo y haga clic en View/Edit file.



Del archivo por defecto MM cambiamos, las siguientes unidades:

Stress	→	N/sq.mm.
Pressure	→	bars
Elastic Modulus	→	N/sq.mm.
Pipe Density	→	kg/cu.m.
Insul. Density	→	kg/cu.m.
Fluid density	→	kg/cu.m.
Transl. Stiffness	→	N/mm
Uniform Load	→	N/mm

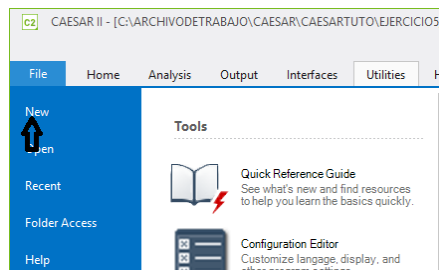
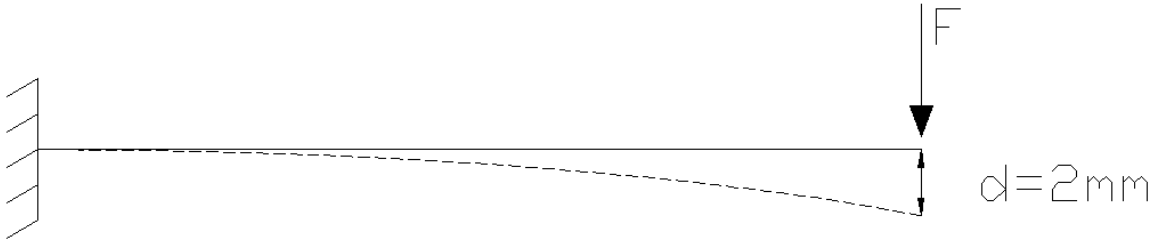
Asegúrese de que “Nominals” esté configurad en ON. Esto permite la entrada de tamaños y SCH nominales de cañerías en la entrada, que se convertirán en diámetros y espesores reales (por ej. al ingresar 4 en el campo de diámetro, CAESAR II lo convertirá a 114,3 mm).

Asígnele un nombre al nuevo archivo de unidades para identificarlo fácilmente.

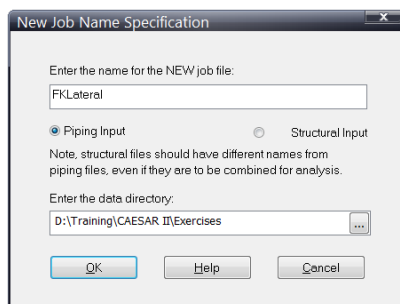
F = Kx como ejemplo

Para probar que CAESAR II usa un modelo de barra y la teoría de vigas, usaremos un ejemplo de voladizo simple. Este ejemplo presentará los métodos básicos de modelado en CAESAR II y presentará la hoja de cálculo de entrada ("Input Spread Sheet"), el editor de casos de carga (Load Case editor) y el procesador de salida (Output Processor). Además, compararemos los resultados de CAESAR II con algunos cálculos manuales simples.

CAESAR II calcula las fuerzas usando $F = Kx$. Utilizando el siguiente ejemplo, crearemos un modelo en voladizo simple, fijo en un extremo y aplicaremos un desplazamiento de 2 mm en el otro extremo. Luego podemos calcular la fuerza requerida para generar este desplazamiento de 2 mm y verlo en los resultados.

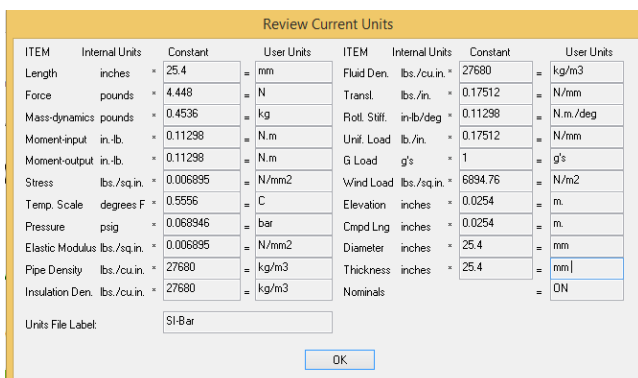


Primero crearemos el modelo en CAESAR II.

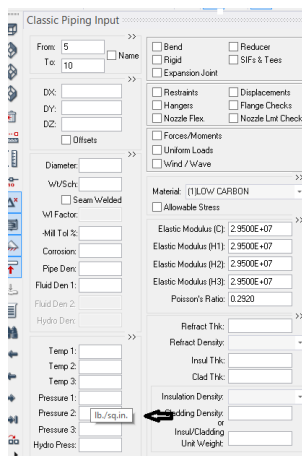


Le pedimos a CAESAR II que cree un nuevo archivo, llamado FKLateral.c2. Este como todo los archivos .c2 que guardaremos más adelante se pueden descargar de la sección adjuntos ("Attachments") de Adobe.

Después de crear el nuevo archivo de trabajo se abrirá por primera vez la ventana de unidades para que el usuario las confirme.



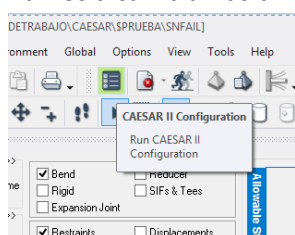
Note que el archivo de unidades que se muestra aquí para nuestro archivo es SI-Bar (unidades predeterminadas de CAESAR II), y no el archivo de unidades que acabamos de crear. De manera predeterminada, CAESAR II usa el archivo de unidades establecido en Configuración/Instalación (Configuration/Setup) como el archivo predeterminado para nuevos trabajos (y también como las unidades que se usarán para mostrar los resultados de salida). Haga clic en OK.



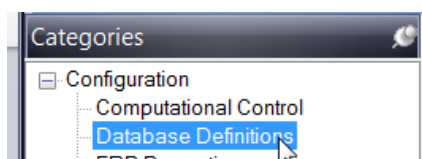
Al hacer clic en OK en la pantalla de revisión de unidades, se abrirá la hoja de cálculo de entrada. Para confirmar/verificar las unidades, coloque el cursor sobre cualquier campo en la entrada; las unidades utilizadas en este campo se mostrarán en la información que nos da el globo.

Vemos que a pesar que habíamos cambiado las unidades de presión a bares, el campo de presión nos muestra las unidades como lb./sq.in.

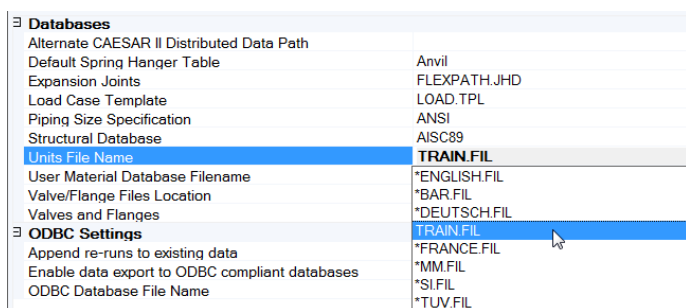
Vamos a cambiar las unidades y volveremos a la entrada con las unidades correctas mostradas:



Hacemos clic en el ícono “CAESAR II Configuration”



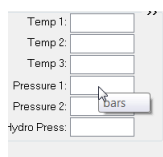
En la ventana que aparece seleccionamos “Database Definitions” del árbol de “Categories” de la izquierda.



Del menú desplegable de “Units File Name” seleccione el archivo generado anteriormente.



Guarde los cambios (“Save and exit”).

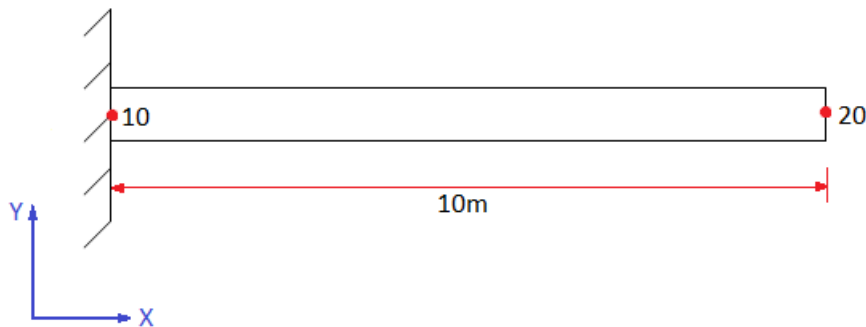


Nuevamente, las unidades a usar se mostrarán en el globo de cada casillero.

Verificamos que ahora las unidades que se muestran ahora son las nuevas que hemos creado.

Entrada del modelo

Crearemos el modelo simple de una viga con un desplazamiento de 2 mm en un extremo y el otro extremo libre. El modelo será como el de la figura siguiente:



Un caño de 8" de diámetro y un espesor de pared estándar. El elemento de 10m de longitud va del nodo 10 al nodo 20 en la dirección X. Está anclado en un extremo y el otro libre.

From: 10 To: 20 ☐ Name

DX: 10000.000 mm
DY:
DZ:
☐ Offsets

Diameter: 219.0750
Wt/Sch: 8.1788

La hoja de cálculo de entrada tendrá por defecto los nodos 10 a 20, así que simplemente ingrese 10000 en el campo DX, la unidad será mm como especificamos. Ingrese el diámetro de la cañería y el espesor: 8" NS y STD. Como tenemos "Nominals" configurado en ON, simplemente escriba 8 en el diámetro y presione Enter. CAESAR insertará automáticamente el diámetro exterior real para la cañería de 8" (219.075mm). Repita para el espesor; simplemente escriba "S" y presione Enter. CAESAR insertará automáticamente 8.1788 mm (espesor SCH Std de la cañería de 8")

Material: (106)A106 B ☐ Allowable Stress

Elastic Modulus (C): 2.0339E+008
Elastic Modulus (H1): 2.0340E+008
Elastic Modulus (H2): 2.0339E+008
Elastic Modulus (H3): 2.0339E+008
Poisson's Ratio: 0.2920

Ahora debemos completar las propiedades de la cañería. Necesitamos conocer las propiedades del material para realizar el análisis. Seleccione A106 – B de la lista de materiales. Tenga en cuenta que todos los materiales tienen un número para identificarlos, simplemente puede escribir el número de material aquí; en este caso 106 para A106-B.

Code: B31.3
SC: 137.892

SH1:	137.892	F1:	
SH2:	137.892	F2:	
SH3:	137.892	F3:	
SH4:	137.892	F4:	

Al seleccionar el material, se completará el módulo de elasticidad y la relación de Poisson y valores admisibles en el área de tensión admisible, según el código de diseño seleccionado (B31.3 predeterminado).

☒ Restraints ☐ Displacements
☐ Hangers ☐ Flange Checks
☐ Nozzle Flex. ☐ Nozzle Lmt Check

Ya tenemos la cañería. Ahora necesitamos anclarlo en un extremo (nodo 10) y aplicar un desplazamiento en el otro extremo (nodo 20).

Coloque el ancla haciendo doble clic en la casilla de verificación “Restrains”. Se debe hacer doble clic en todas las casillas de verificación que se muestran en la columna central de la hoja de cálculo para marcarlas o desmarcarlas.

Para definir una restricción, debe especificar el número de nodo al que se adjuntará la restricción, más el tipo de restricción. Presione F1 para obtener más información sobre los diferentes tipos de restricciones. Necesitamos un ancla, así que seleccione ANC y ubíquelo en el nodo 10. Ahora aplicamos el desplazamiento de 2 mm en el otro extremo.

Haga doble clic en la casilla de verificación “Displacements” para aplicar un desplazamiento.

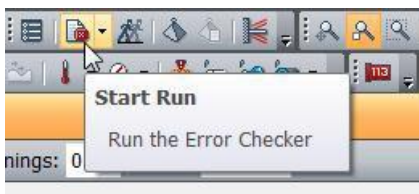
	Vector 1	Vector 2	Vector 3	Vector
DX				
DY	-2.0000			
DZ				
RX				
RY				
RZ				

Especifique el desplazamiento en el nodo 20 y de 2 mm hacia abajo en la dirección Y – es decir, ingrese -2 en la fila DY.

Deje las filas restantes vacías; no especifique 0. Especificar 0 fija el nodo en la dirección especificada. Ingresar 0 en cada fila sería lo mismo que un ancla. Dejar los valores en blanco deja las direcciones restantes libres.

Finalmente para completar el análisis debemos especificar la temperatura y presión de diseño. En nuestro caso, estos no son realmente relevantes ya que solo nos interesa el desplazamiento, así que solo ingrese en los campos correspondientes 21°C en T1 y 1bar en P1. Guardamos el modelo como FKLATERAL.C2 (como dijimos este y todos los que guardemos podemos encontrarlos en los Attachments)

Ahora analizaremos nuestro sistema.



Antes del análisis, se debe verificar si hay errores de entrada e identificar cualquier problema que pueda impedir que se ejecute el análisis (como ser especificar un anclaje y un desplazamiento aplicado en el mismo punto), o cualquier cosa que pueda proporcionar resultados incorrectos (como factores de intensificación de tensión no especificados en una intersección geométrica).

Ejecute el verificador de errores “Start Run” para verificar el modelo.

Errors and Warnings																																																	
Errors: 0		Warnings: 0	Notes: 1																																														
	Message Type	Message Number	Element/Node Number	Message Text																																													
1	NOTE			<p style="text-align: center;">CENTER OF GRAVITY REPORT</p> <table> <tr> <th></th><th>Total Wght</th><th>X cg</th><th>Y cg</th><th>Z cg</th></tr> <tr> <th></th><th>N.</th><th>mm.</th><th>mm.</th><th>mm.</th></tr> <tr> <td>Pipe</td><td>4162.5</td><td>5000.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td></tr> <tr> <td>Insulation</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td></tr> <tr> <td>Refractory</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td></tr> <tr> <td>Fluid</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td></tr> <tr> <td>Pipe+Ins+Rfrty</td><td>4162.5</td><td>5000.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td></tr> <tr> <td>Pipe+Fluid</td><td>4162.5</td><td>5000.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td></tr> <tr> <td>Pipe+Ins+Rfrty+Fld</td><td>4162.5</td><td>5000.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td></tr> </table>		Total Wght	X cg	Y cg	Z cg		N.	mm.	mm.	mm.	Pipe	4162.5	5000.0	0.0	0.0	Insulation	0.0	0.0	0.0	0.0	Refractory	0.0	0.0	0.0	0.0	Fluid	0.0	0.0	0.0	0.0	Pipe+Ins+Rfrty	4162.5	5000.0	0.0	0.0	Pipe+Fluid	4162.5	5000.0	0.0	0.0	Pipe+Ins+Rfrty+Fld	4162.5	5000.0	0.0	0.0
	Total Wght	X cg	Y cg	Z cg																																													
	N.	mm.	mm.	mm.																																													
Pipe	4162.5	5000.0	0.0	0.0																																													
Insulation	0.0	0.0	0.0	0.0																																													
Refractory	0.0	0.0	0.0	0.0																																													
Fluid	0.0	0.0	0.0	0.0																																													
Pipe+Ins+Rfrty	4162.5	5000.0	0.0	0.0																																													
Pipe+Fluid	4162.5	5000.0	0.0	0.0																																													
Pipe+Ins+Rfrty+Fld	4162.5	5000.0	0.0	0.0																																													

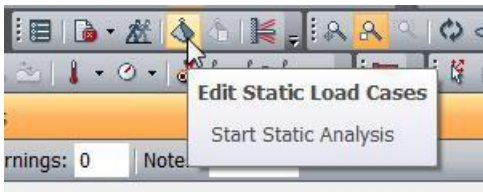
Se debería ver solo una nota en el informe del verificador de errores: la CENTER OF GRAVITY REPORT. Esto puede ser útil para identificar problemas como por ej. la indicación incorrecta de la densidad, que nos daría un peso incorrecto.

Errors and Warnings				
Errors: 1		Warnings: 0	Notes: 0	
	Message Type	Message Number	Element/Node Number	Message Text
1	ERROR	57E	10-20	<p>At node 10 there is a DISPLACEMENT and a RESTRAINT specified. This results in a numerically overspecified boundary condition. The user should either give the displacements of the point, or restrain the point, but not both. If modelling initial thermal movements at a restraint, define some unique connecting node for the restraint, and specify the displacement for the connecting node.</p>

Si vemos algo diferente a esta C de G, hay que revisar el modelo para identificar el problema. En este ejercicio podemos tener un error común que es indicar un desplazamiento y un anclaje en el mismo nodo.

Verifique que el anclaje esté especificado en el Nodo 10 y que el desplazamiento esté especificado en el Nodo 20.

Editor de casos de carga

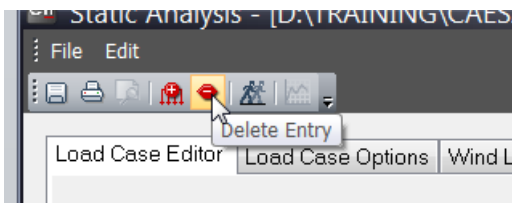


Una vez que la verificación de errores de bien guardamos el modelo como FKLATERAL1.C2, y crearemos casos de carga para analizar el sistema. Acceda al editor de casos de carga “Edit Static Load cases”; este botón solo está disponible después de una verificación de errores exitosa.

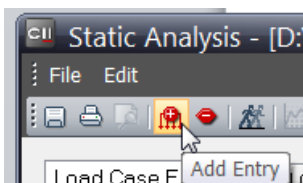
Load Cases					
Wind Loads Wave Loads					
Loads Defined in Input					
W - Weight D1 - Displacement Case #1 T1 - Thermal Case #1 P1 - Pressure Case #1 WW - Water Filled Weight WNC - Weight No Contents					
Drag a column header and drop it here to group by that column					
	Exclude	Definition	Name	Stress Type	Alternate SUS/OCC
L1	<input type="checkbox"/>	W+D1+T1+P1	OPERATING CASE CONDITIO	OPE	
L2	<input type="checkbox"/>	W+P1	ALTERNATE SUSTAINED STRE	SUS	<input checked="" type="checkbox"/> L1
L3	<input type="checkbox"/>	W+P1	SUSTAINED CASE CONDITIO	SUS	
L4	<input type="checkbox"/>	L1-L3	EXPANSION CASE CONDITIO	EXP	

Se mostrará el editor de casos de carga.

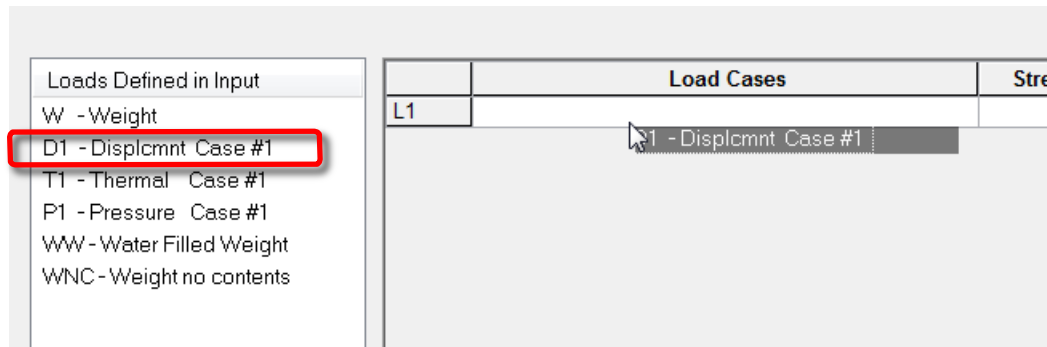
Los casos de carga predeterminados son los casos Operativo, Sostenido y de Expansión, según lo exigen los códigos de diseño, como B31.3.



Elimine todos estos casos de carga, ya que solo nos preocupa el desplazamiento.



Agregue una nueva fila.



En el caso de carga podemos agregar cualquiera de las cargas definidas en la entrada en el caso de carga. Como solo nos preocupa el desplazamiento, arrastre "D1 – Displcmnt Case#1" a la fila L1.

	Load Cases	Stress Type
L1	D1	SUS

Seleccione también como "Stress Type" SUS (sostenido).

El análisis ahora tendrá en cuenta sólo la reacción de desplazamiento.

Antes de analizar el sistema haremos el cálculo manual para verificar resultados.

Cálculo manual

Como sabemos

$$F = \text{Force}$$

$$K = \text{Stiffness}$$

$$x = \text{Displacement}$$

La rigidez K es

$$K = \frac{3EI}{L^3}$$

$$I = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4)$$

$$E = 203 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$$

$$L = 10,000 \text{ mm}$$

$$D = 219.08 \text{ mm}$$

$$d = 202.72 \text{ mm}$$

$$K = \frac{3 \times 203E3 \times \frac{\pi}{64}(219.08^4 - 202.72^4)}{(10E3)^3}$$

$$K = 18.379 \text{ N/mm}$$

Donde D = DO de la cañería, d = ID, E módulo de elasticidad y L la longitud.

Entonces, si deseamos saber qué fuerza se requiere para desplazar el voladizo 2 mm, podemos calcular esto muy fácilmente.

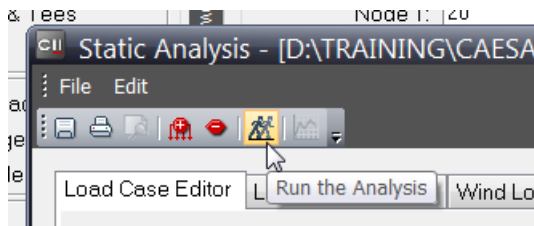
Entonces, para un desplazamiento de 2 mm, la fuerza requerida es

$$F = Kx$$

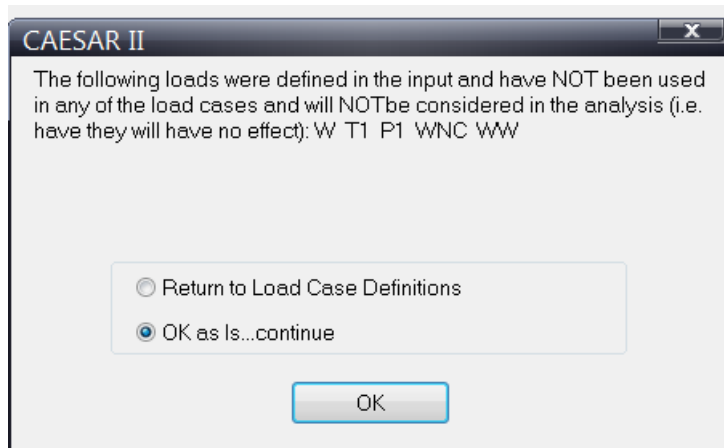
$$F = 18.379 \times 2$$

$$F = 36.758 \text{ N}$$

Salida del programa Caesar



De vuelta en CAESAR II, ejecute el análisis haciendo clic en el ícono "Run the Analysis" dentro del editor de casos de carga.

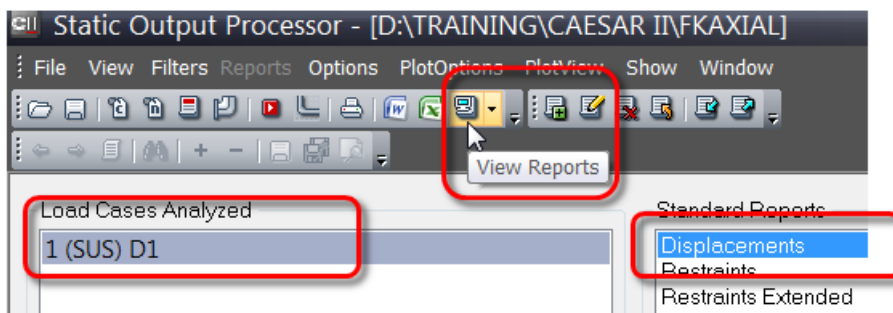


Veremos el siguiente mensaje que nos dice que ciertas cargas se han definido en el modelo pero no están incluidas en ninguno de los casos de carga que se analizarán; esto está bien en nuestro caso, pero puede servir como una advertencia útil si tiene muchas cargas/casos de carga definidos. Seleccione "OK as is...continue" tal como está... Continúe y haga clic en OK para analizar.

Una vez que se complete el análisis, se mostrará el Procesador de salida "Output Processor". Podemos ver varios resultados para cualquier caso de carga desde aquí, además de informes generales del modelo, como el listado de las entradas. Estos informes se pueden ver en la pantalla, o enviar a Word/Excel/Text, o directamente a una impresora.

Además, se pueden crear plantillas de informes personalizados, y se puede seleccionar y agregar cualquier informe disponible al asistente del visor de salida, y exportar/ver para crear/ver un informe completo muy rápidamente.

Por ahora, solo verificaremos el desplazamiento en el nodo 20 para verificar que sea de 2 mm, y la fuerza en el nodo 20 para verificar el cálculo manual.



Seleccione el caso de carga (SUS) D1 y el informe estándar de Desplazamientos y haga clic para mostrar en pantalla:

(1)Displacements

CAESAR II 2011 SP1 Ver.5.30.01, (Build 110228)
Job: D:\TRAINING\CAESAR II\FKAXIAL
Licensed To: Seat -- ID #51
DISPLACEMENTS REPORT: Nodal Movements
CASE 1 (SUS) D1

El DY en el Nodo 20 es -2mm, como especificamos.

NODE	DX mm.	DY mm.	DZ mm.
10	0.000	-0.000	0.000
20	0.000	-2.000	0.000

Standard Reports

Displacements
Restraints
Restraints Extended
Local Restraints
Restraint Summary
Restraint Summary Extended
Nozzle Check
Flange Peg
Flange NC-3658.3
Global Element Forces
Global Element Forces Extended
Local Element Forces
Stresses

Ahora para verificar la fuerza en el nodo 20; ver el informe "Global Element Forces".

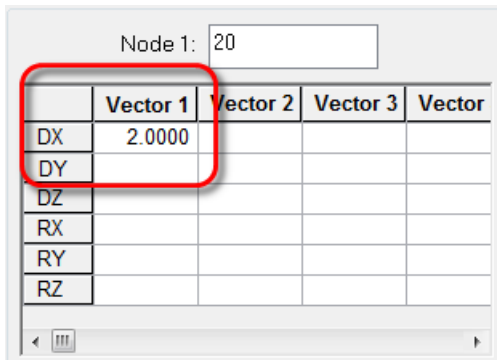
(1)Global Element Forces

CAESAR II 2011 SP1 Ver.5.30.01, (Build 110228)
Job: D:\TRAINING\CAESAR II\FKAXIAL
Licensed To: Seat -- ID #51
GLOBAL ELEMENT FORCES REPORT: Forces on Elements
CASE 1 (SUS) D1

37 N como lo calculamos.

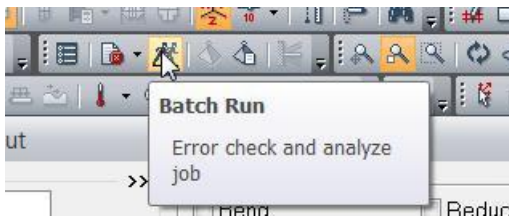
NODE	FX N.	FY N.	FZ N.
10	0	37	0
20	0	-37	0

Axial



Podemos repetir este ejercicio para fuerzas axiales. Este es un cambio simple en el modelo que pasa el desplazamiento de la dirección Y a la dirección X.

Guardamos nuevamente el modelo como FKLATERAL2.C2



El análisis se puede volver a ejecutar rápidamente en los casos en que se haya realizado un cambio como este utilizando el icono de ejecución por lotes "Batch Run". Esto ejecutará el verificador de errores seguido inmediatamente por el análisis (siempre que no haya errores).

La fuerza debe ser la siguiente:

Todavía estamos usando $F = Kx$, pero estamos usando la rigidez axial.

$$K = \frac{AE}{L}$$

A = cross Sectional area (mm^2)

E = modulus of elasticity (N/mm^2)

L = Pipe Length

$$A = \pi \frac{D^2}{4} - \pi \frac{d^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi}{4} (219.08^2 - 202.72^2)$$

$$A = 5419.76 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto

$$110,021 \text{ N/mm}$$

Entonces, para una extensión axial de 2 mm, la fuerza requerida es

$$F = Kx$$

$$F = 110,021 \times 2$$

$$F = 220,043 \text{ N}$$

Los resultados de CAESAR II, el informe de fuerzas del Elemento Global “Global Element forces” debería verificar esto:

(1)Global Element Forces			
CAESAR II 2011 SP1 Ver.5.30.01, (Build 110			
Job: D:\TRAINING\CAESAR II\FKAXIAL			
Licensed To: Seat -- ID #51			
GLOBAL ELEMENT FORCES REPORT: Forces on Elem			
CASE 1 (SUS) D1			
NODE	FX N.	FY N.	FZ N.
10	-220423	0	
20	220423	0	

Las fuerzas calculadas como en el ejemplo anterior producen momentos de flexión en todo el sistema de cañerías. El momento flector que se produce cuando se aplica una Fuerza a distancia L es $-MB = F \times L$

Una vez calculado el momento flector, se utiliza la teoría de vigas para calcular la tensión en este punto.

$$\frac{\sigma}{y} = \frac{M}{I}$$

$$\sigma = \text{Tensión (N/mm}^2\text{)}$$

$$M = \text{Momento flector (Nmm)}$$

$$Y = \text{Distancia del eje neutro a la fibra externa de la viga (mm)}$$

$$I = \text{Momento de Inercia (mm}^4\text{)}$$

$$\frac{\sigma}{y} = \frac{M}{I} \text{ despejando } \sigma = \frac{My}{I}$$

$\frac{I}{y}$ es el módulo de sección Z. Reemplazando tenemos

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

Las tensiones se calculan utilizando esta teoría básica y se comparan con las tensiones permitidas en los códigos de diseño. CAESAR II tiene muchos códigos de diseño disponibles, todos los cuales han evolucionado por separado con el tiempo, por lo que la forma en que se calculan las tensiones para cada código específico es ligeramente diferente. Sin embargo, al observar uno de los códigos de cañerías más comunes, B31.3, se puede ver que las ecuaciones utilizadas se basan en la flexión básica como se detalló anteriormente.

Sustained:

$$S_l = \frac{F_{ax}}{A_m} + \frac{[(i_i M_i)^2 + (i_o M_o)^2]^{1/2}}{Z} + \frac{P d_o}{4t} \leq S_h$$

Expansion:

$$S_E = \frac{[(i_i M_i)^2 + (i_o M_o)^2 + 4M_T^2]^{1/2}}{Z} \leq S_A = f(1.25S_c + 1.25S_h - S_l)$$

Como puede verse, las ecuaciones utilizan esencialmente la tensión de flexión M/Z. Las ecuaciones son un poco más complicadas que el ejemplo básico del voladizo por las siguientes razones:

- Analiza sistemas de cañerías en 3 dimensiones
- Analiza áreas en un sistema de cañerías donde la geometría o los componentes particulares, como una conexión de ramal o una curva, pueden aumentar la tensión y, por lo tanto, la probabilidad de falla. En estos puntos, la tensión aumenta por un Factor de Intensificación de la Tensión (SIF) conocido como i. Los códigos de diseño contienen fórmulas para calcular estos SIF.
- Las tensiones también pueden ser causadas por fuerzas de presión y axiales
- Los Esfuerzos se clasifican en Sostenidos, de Expansión y Ocasionales, como se detalla a continuación.

Tensión sostenida: Estas son tensiones primarias causadas por cargas primarias como el peso y la presión del sistema de cañerías.

Tensión de expansión: Las tensiones de expansión son tensiones secundarias causadas por cargas secundarias, como la expansión térmica y los desplazamientos aplicados.

Esfuerzo ocasional: combina esfuerzos sostenidos con los producidos por una carga ocasional, como un terremoto o la operación de una válvula de alivio. Como se trata de cargas puntuales, la admisible puede incrementarse en un factor de escala, k que suele depender de la duración o frecuencia de la carga ocasional.