

Ingresaremos el modelo utilizando el sistema de numeración de nodos. Cada sección entre dos nodos se denomina elemento. Es decir, el nodo 10 al nodo 20 están unidos entre sí por un elemento, denominado "elemento 10 a 20". Antes de ingresar la geometría deberíamos marcar el isométrico la secuencia de números de nodos deseada.

Entrada de datos

Abrir el programa Caesar, clicar en nuevo. En la ventana emergente llamar al archivo Ejercicio 1. Dar OK; aparecerá una nueva ventana mostrándonos las unidades a utilizar (en nuestro caso deberíamos ver SI-Bar). Si no es SI-Bar debemos ir a Configuración y elegir como unidades Bar.fil y clicar nuevamente nuevo.

En la hoja de entrada del primer elemento daremos la dimensión (se puede ingresar como 10 para 10" y S para espesor STD, 10" y espesor S; CAESAR II convertirá estos valores a las unidades correctas automáticamente) y el material de la cañería, la temperatura y la presión de diseño que no cambiarán, salvo que indiquemos lo contrario, a lo largo del modelo.

Entrar A106-B como material, 330°C como temperatura y 17 bar como presión.

Indicar aislación Silicato de Calcio de 65mm de espesor.

La densidad del fluido se puede ingresar como 0.72SG y CAESAR II convertirá esta gravedad específica a las unidades correctas.

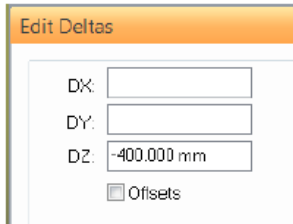
Por último entrar como código de diseño B31.3

Nuestra entrada quedará según la Figura 2

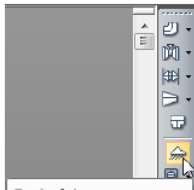
Figura 2

Empezando el modelo

Comenzaremos conectando el nodo 10 de la cañería inferior "derecha" a una bomba. Además este nodo 10 estará anclado siendo un punto fijo en nuestro sistema.

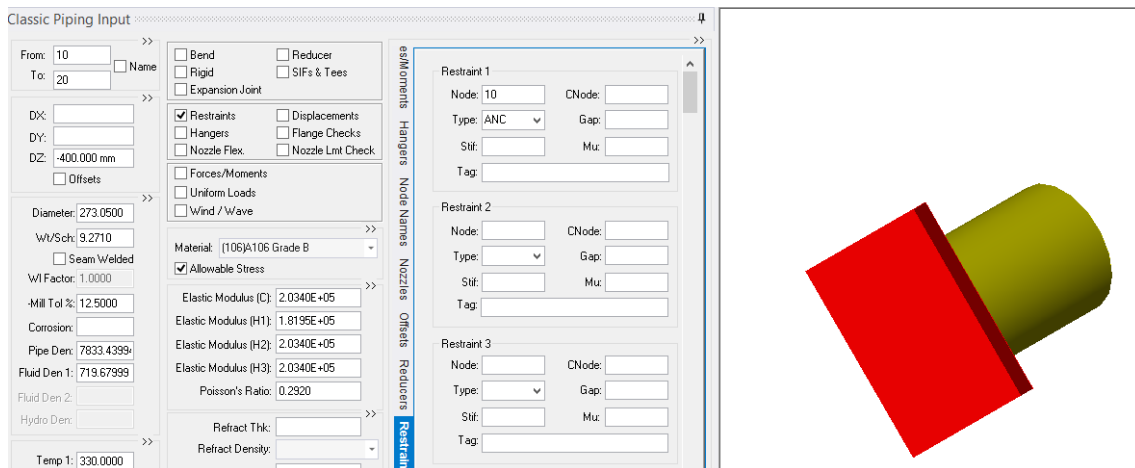


El elemento 10 a 20 tiene una longitud de 400 mm, en la dirección - Z. Entraremos entonces DZ como -400 mm

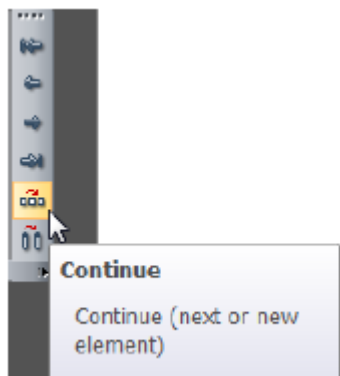


Para indicar el ancla del nodo 10 usamos la barra de herramientas del lado izquierdo de la ventana gráfica.

En la ventana de Datos auxiliares “Restrains” que aparece indicamos un ancla en el nodo 10.

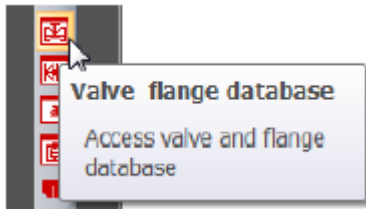


Ya podemos cerrar la ventana de datos auxiliares.

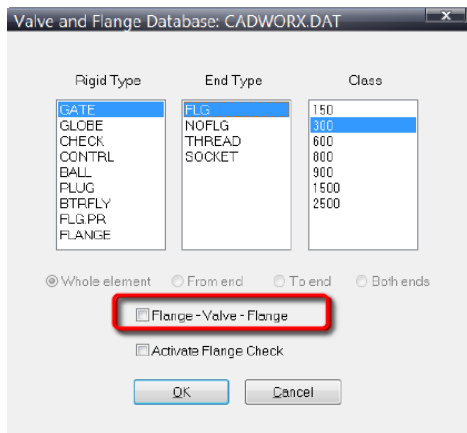


Use el botón Continuar para crear un nuevo elemento:

El siguiente elemento es una válvula de compuerta bridada 300#. Podríamos indicarla de varias maneras. 1-La válvula será rígida en relación con la tubería circundante, por lo que debe especificarse como un "elemento rígido" con su peso. 2-Podemos indicarla como 3 elementos separados (brida - válvula - brida), o 3-Como un elemento completo con la longitud total y el peso combinado especificado. Esto puede hacerse manualmente o usando la base de datos del catálogo de CAESAR II.

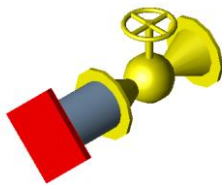


Para usar esta última opción, seleccionamos el botón Base de datos de bridas de válvulas.

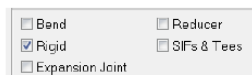


En la ventana que se abre seleccionamos una válvula de compuerta serie 300 con extremos bridados.


De ser necesario podemos dividir el componente en 3 elementos (Brida – Válvula – Brida).



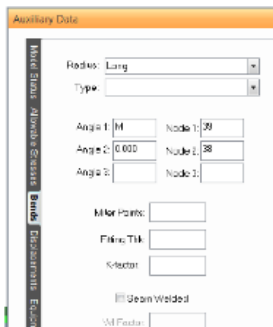
El elemento aparecerá en el nodo 20 a 30. Con la longitud correspondiente y en la misma dirección del elemento anterior.



Verificamos que la casilla “Rigid” está marcada y que el peso ingresado corresponde a una válvula de compuerta con bridas 300#.


Continuando con el siguiente elemento entramos en DZ -825 mm. Este elemento termina en una curva, la indicamos con el botón curva  en la barra de herramientas de la derecha.

Usando la entrada clásica, podríamos marcar la casilla “Bend” para lograr el mismo resultado.



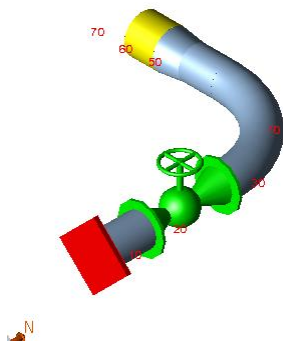
Aparece la ventana para indicar el tipo de curvado; el predeterminado es un plegado de radio largo (1,5D). Este radio puede cambiarse (un menú desplegable nos da los radios de curvatura comunes; también podemos indicar otro radio requerido). Podemos introducir otros datos; como ser si la curva es bridada o de inglete, etc. Usaremos el curvado predeterminado de radio largo. Los gráficos aún no mostrarán la curva, ya que el elemento siguiente aún no existe.

Continuando con el siguiente elemento entraremos en DX -1050. La curva ahora se hace visible.

Seguimos con el siguiente elemento que es una reducción concéntrica de 10"x12" y de 203 mm de longitud. Introducimos DX -203 mm e indicamos que es  una reducción.

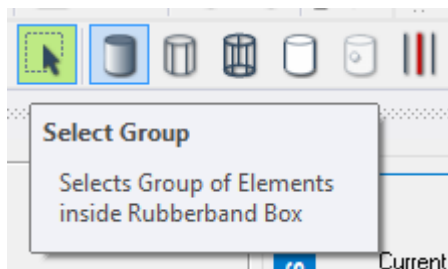
Aparece la ventana "Reducer" donde indicaremos el tamaño final. Ingresando, como antes, un tamaño nominal se convertirá en el OD real. Indicamos 12 en el diámetro 2 y 5 en el espesor 2.

El siguiente elemento será un tramo de cañería de 254 mm que va hasta el centro de la T, según se muestra en el isométrico; es decir DX -254 mm.



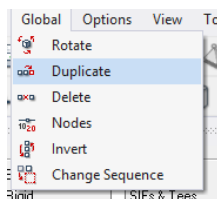
Así debería verse nuestro modelo hasta aquí. Verifique los números de nodos mostrados. Lo guardamos como EJERCICIO 1_01.C2.

Para modelar la parte opuesta que es simétrica usaremos la función de CAESAR II sirve para esta tarea.

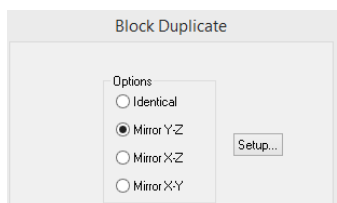


Usamos la función "Select Group" para activar el modo de selección gráfica y dibujamos una ventana alrededor del modelo.

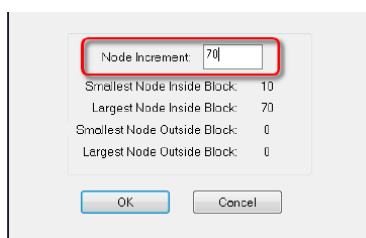
Todos los elementos se volverán amarillos para indicar que están seleccionados.



Con la función "Duplicate" podemos copiar y pegar los elementos seleccionados.

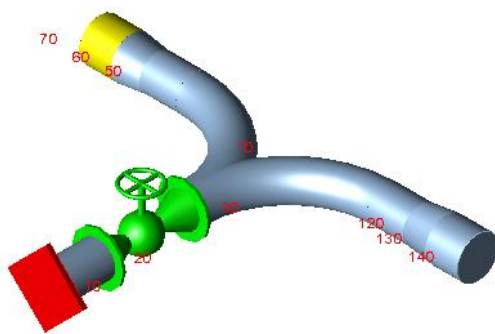


Seleccionamos duplicar los elementos seleccionados en espejo sobre el plano Y-Z "Mirror Y-Z".



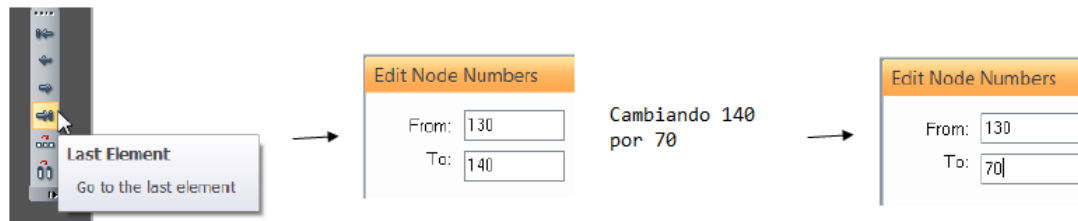
Debemos aumentar los números de nodo para que no tengamos nodos duplicados. Hasta aquí, nuestro modelo va desde el nodo 10 hasta el nodo 70.

Aumentando el número de nodos en 70, el nodo 10 se convertirá en el nodo 80, el 20 en el 90 y así sucesivamente. Por lo tanto, el segundo tramo será del nodo 80 al nodo 140.

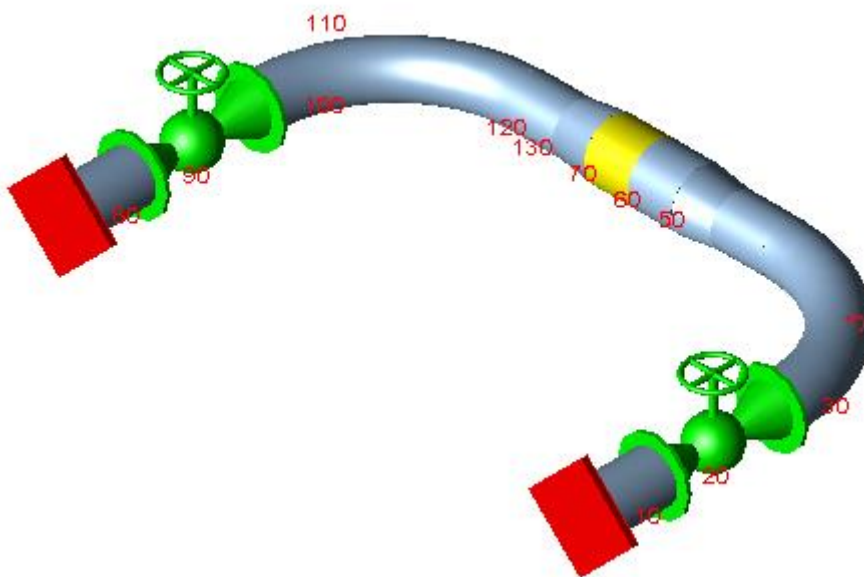


Vemos que, como no hay nodos comunes, la tubería no estará realmente conectada. Esto se puede solucionar fácilmente cambiando el nodo 140 (el centro del T en el segundo tramo) en el nodo 70 (el del centro de la T del primer tramo). Esto conectará la tubería en el nodo común, 70, el centro de la T.

Siguiendo la secuencia siguiente.



Tendremos




Ahora podemos completar el modelo agregando la sección vertical y la conexión al recipiente. Ir al último elemento usando nuevamente el botón de navegación ➡ "Last Element".

Haciendo clic en "Continue" pasamos al siguiente elemento. Los números de nodo predeterminados son de 70 a 80. Necesitamos cambiar esto de 70 a 140.

Este elemento es vertical y mide 7 m en la dirección Y. Por lo tanto, DY es 7000; también tiene a una curva, así que también seleccionamos el icono "Bend".

Hacemos clic en "Continue" y colocamos el elemento final de 140 a 150 en la dirección Z, -2000 mm. El elemento final va conectado al recipiente, por lo que colocaremos un ancla en este punto. Hacemos clic en el botón "Restrain" e indicamos un ancla en el nodo 150

Vemos en el isométrico que en la conexión del recipiente tenemos DY y DZ. Estos se deben a la expansión térmica del recipiente.

Seleccionando el botón  “Displacements” e ingresamos los valores requeridos 3 mm en DZ y 12 mm en DY.

Comprobación de errores

Podemos considerar el modelo completo, así que ejecutaremos el verificador de errores.



Message Type	Message Number	Element/Node Number	Message Text
ERROR	57E	140-150	At node 150 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.
WARNING	33E	60-70	There is a GEOMETRIC INTERSECTION at node 70 and there was NO user defined INTERSECTION TYPE. Standard pipe flexibilities and SIF's = 1.0 will be used unless overridden by the user on each element framing into the intersection.
WARNING	172E	50-60	On element 50 TO 60 the reducer alpha value was not specified. CAESAR II will use a default value of: 11.780.
WARNING	172E	120-130	On element 120 TO 130 the reducer alpha value was not specified. CAESAR II will use a default value of: 11.780.

Recibimos un error fatal y tres advertencias. Debemos corregir los errores antes de poder analizar el modelo. Las advertencias pueden ser aceptables, pero debemos verificar que las entradas son las previstas. El error indicado es que especificamos en un mismo nodo (el 150) ancla y


desplazamientos. Esto no puede ser posible ya que el ancla fija el punto, pero los desplazamientos mueven el mismo. No podemos tener ambos al mismo tiempo. Eliminaremos el ancla y editaremos los desplazamientos.

Hacemos doble clic en el mensaje de error para ir directamente al área de interés. Ahora hacemos clic en el botón “Restrain” y eliminamos el ancla. Haga clic en Aceptar en el mensaje que aparece.

	Vector 1	Vector 2	Vector 3	Ve
DX	0.0000			
DY	12.0000			
DZ	3.0000			
RX	0.0000			
RY	0.0000			
RZ	0.0000			

Luego editamos los desplazamientos e indicamos 0 en todos los demás campos (DX, RX, RY, RZ). Un desplazamiento de cero fijará el nodo en esa dirección, por lo que ahora nuestro nodo está fijo en todas las direcciones, excepto en DY y DZ donde aplicamos los desplazamientos que tenemos.

Ejecutamos nuevamente el comprobador de errores. Vemos que nos quedan tres advertencias. Las dos últimas se refieren al ángulo alfa del reductor que no se especificó. Por lo tanto, CAESAR II utilizará el valor por defecto. Aceptaremos el mismo.

La primera advertencia es que hay una intersección geométrica en el nodo 70 (la T) pero no está especificada la T ni y, por lo tanto, un SIF. Esto a veces puede ser correcto, pero la mayoría de las veces es el resultado de un descuido, como en este caso. Regresamos a la entrada y ubicamos el nodo 70 con la herramienta  :

Find Element

Node Numbers: 70

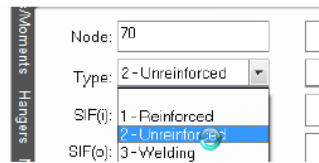
☒ Zoom to Node if Found

OK Cancel

La casilla de verificación “Zoom to Node Found” nos acercará ese nodo/elemento si lo encuentra. Esto es útil en modelos más complejos.

Especificamos el SIF en el nodo 70 usando el botón  "SIFs/Tees".

Esto solo debe hacerse en uno de los elementos que se conectan al nodo 70, no es necesario hacerlo en los tres.



Seleccione una T sin refuerzo.

Volviendo a ejecutar el comprobador de errores vemos que solo permanecen las advertencias de los alfas del reductor, y además nos da el informe del centro de gravedad pesos.

Guardamos hasta aquí como EJERCICIO 1_02.C2.

Casos de carga



Acceder al editor de casos de carga.

Estamos usando el código B31.3 para calcular las tensiones producidas por las distintas cargas. Las cargas en nuestro modelo son las siguientes:

- ☐ Peso
- ☐ Presión
- ☐ Temperatura
- ☐ Desplazamiento

El B31.3 requiere que se realicen dos verificaciones: Sostenida y Expansión

Sostenido – Peso y Presión

Expansión – Temperatura y Desplazamiento

Load Cases	Weight Loads	Volume 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
L1	<input type="checkbox"/>	W+D1+T1+P1
L2	<input type="checkbox"/>	W+P1
L3	<input type="checkbox"/>	W+P1
L4	<input type="checkbox"/>	L1-L3

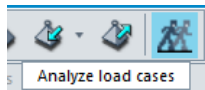
Estos casos de carga están definidos por CAESAR II como casos de carga

predeterminados (recomendados), que se muestran en las filas L3 y L4.

En la fila L1 tenemos el caso operativo (OPE) y

es el caso que se utiliza para establecer las cargas en las restricciones y las cargas en las conexiones de equipos. Además, se utiliza para derivar el caso de Expansión, que viene dado por la diferencia algebraica entre L1 y L3 ($L1 - L3$).

En la línea L2 ($W+P1$) tenemos la tensión sostenida alternativa basada en la condición de funcionamiento L1; usado para evaluar las tensiones inducidas por las cargas primarias.



Acepte estos casos de carga y ejecute el análisis haciendo clic en el icono "Analyse load cases".

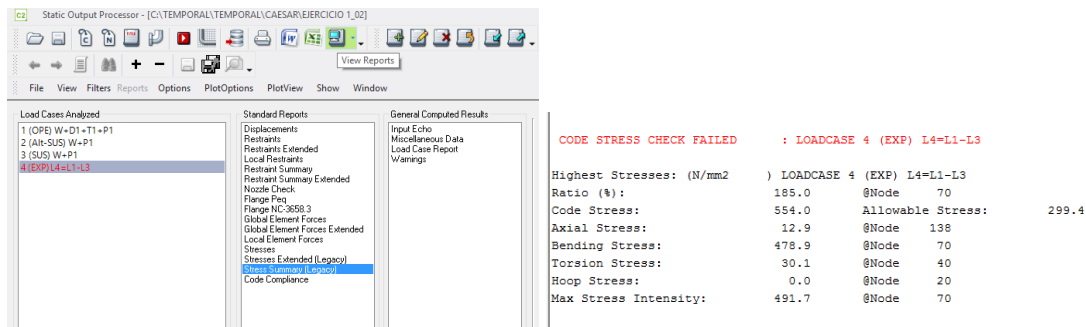
Revisando resultados

Después de ejecutar el análisis, aparecerá el procesador de salida.

Load Cases Analyzed	Standard Reports
1 (OPE) W+D1+T1+P1	Displacements
2 (Alt-SUS) W+P1	Restraints
3 (SUS) W+P1	Restraints Extended
4 (EXP) L4=L1-L3	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

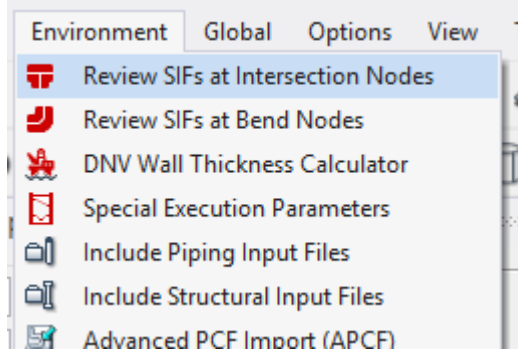
Vemos que el caso 4 (EXP) aparece en rojo, indicando el mismo no verifica. Es decir, los esfuerzos calculados en el sistema en algún punto son mayores que los admisibles.

Para solucionar esto seleccionamos el caso y vemos el informe de tensiones.



El informe nos muestra que en el nodo 70 es el de mayor estrés. Recorriendo el informe vemos que también los nodos 10 y 80 están sobretensionados.

Corregiremos primero el nodo 70 donde tenemos la T. Recorriendo el informe vemos que el SIF está entre 4,625 y 5,833, es decir que las tensiones en este punto se multiplican por 4 y 5. Si reducimos estos SIF el estrés se reducirá.



Vamos a "Review SIFs at intersections Nodes" elegimos el nodo 70, en la ventana que se abre cambiamos la T no reforzada por una T reforzada, especificamos un espesor de refuerzo de 10 mm y hacemos clic en "Recalculate". Vemos que los SIF se redujeron considerablemente; ahora las tensiones se multiplicarán por 2,887 y 2,415 en lugar de 4 y 5.

Volvemos a ejecutar el análisis; el caso de expansión aún lo vemos en rojo indicándonos

que el sistema aún está sobrecargado. Consultando el informe de estrés observamos que ahora solo los nodos 10 y 80 están sobrecargados.

Entonces, ¿qué está pasando en los nodos 10 y 80?

Los nodos 10 y 80 son las ubicaciones de anclaje iniciales, por lo que debemos averiguar qué está causando la sobretensión. Revisando la ecuación del código para el caso de expansión:

$$S_E = \frac{[(i_i M_i)^2 + (i_o M_o)^2 + 4M_T^2]^{1/2}}{Z}$$

Vemos que el factor dominante es el momento de flexión; es el único factor en el caso de expansión. Entonces, ¿qué momento de flexión es este, M_i , M_o o M_t ?

M_t es torsión, M_z , M_i y M_o están dentro y fuera del plano, por lo que varían según la ubicación. Sin embargo, lo que podemos ver a partir de los resultados es qué momento de flexión es el más alto en términos de nuestros ejes. Analizando el informe del caso de expansión para las restricciones vemos:

Node	Load Case	FX N	FY N	FZ N	MX N.m	MY N.m	MZ N.m
LOAD CASE DEFINITION KEY							
CASE 4 (EXP) L4=L1-L3							
10	4 (EXP)	TYPE=Rigid ANC; 74277	-60574	8004	-87044	-113483	27729
80	4 (EXP)	TYPE=Rigid ANC; -74277	-60574	8004	-87044	113483	-27729

Podemos ver que en los nodos 10 y 80, el momento flector más alto es el momento MY, a 113 kN.m. El MX también es bastante alto con 87 kN.m.

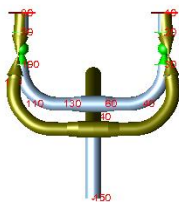
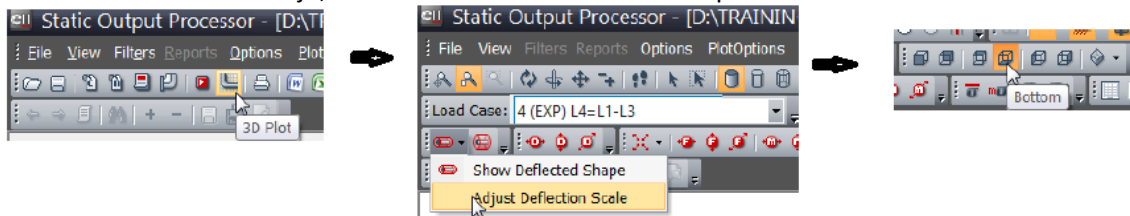
Entonces sabemos qué está causando el sobreesfuerzo, pero ¿cómo lo corregimos y reducimos el momento de flexión (y por lo tanto el estrés)?

Miremos el gráfico 3D para ver qué está causando el momento de flexión.

Cerrar el informe y ver el gráfico 3D

En la ventana de trazado 3D que aparece, asegúrese de que el caso de carga que estamos viendo sea el caso de expansión y seleccione Mostrar la forma desviada. Es posible que deba ajustar la escala de desviación para obtener una forma desviada más exagerada.

Vea la tubería desde abajo, utilizando las vistas estándar disponibles.



Vemos la cañería desde abajo. El eje Y apunta hacia arriba. La cañería experimenta expansión térmica y hace que se doble en los puntos de anclaje.



Desde una vista lateral también vemos la incidencia del momento MX. Vemos que el riser se expande provocando el momento de flexión MX.

Si pudiéramos agregar algo de flexibilidad en el área donde se expande la tubería, podríamos absorber parte de esta expansión y, por lo tanto, reducir el momento de flexión. Tenemos la parte superior que es flexible, pero la parte inferior no es lo suficientemente flexible.

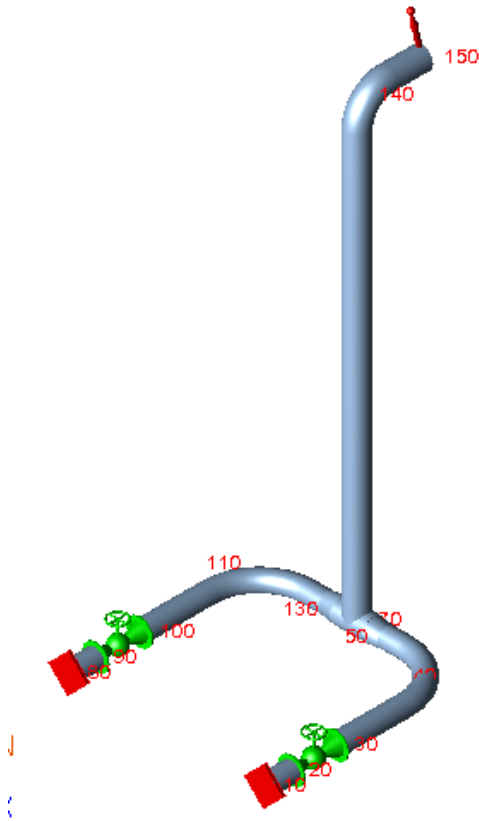


Transfiriendo parte de la flexibilidad de A a B podemos resolver el problema. Para esto aumentamos la longitud de B en 1 m y reducimos la longitud de A en la misma cantidad (1 m). Esto debería darnos más flexibilidad en la parte inferior sin eliminar demasiada flexibilidad en la parte superior.

Vamos al elemento 30 a 40 y cambiamos el valor DZ de 825 mm a 1825 mm. Hacemos lo mismo para el elemento 100 a 110.

También tendremos que reducir en consecuencia la longitud de 140 a 150 cambiando DZ de 2000 mm a 1000 mm.

El modelo quedaría como vemos en la figura de abajo.



Volvemos a ejecutar el análisis y verificamos los resultados. Verificamos que el caso de expansión ya no aparece en rojo y la tensión más alta calculada por código es 90 % de la permitida en el nodo 10. Hemos reducido con éxito las tensiones y el modelo ahora pasa las comprobaciones de tensión de código. Verificando del informe las tensiones sostenido vemos que es siendo aceptable (alrededor del 24 % de lo permitido en el nodo 150). Nuestro modelo ahora cumple con B31.3. Lo guardamos como EJERCICIO 1.C2.