



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL HAEDO

LUGAR:
BUENOS AIRES

FECHA: 01/03/2021

INFORME:
INF 001/21

CANTIDAD HOJAS

Texto: 48 Anexos = 5

ESPECIALIZACIÓN DISEÑO DE RECIPIENTES CONTENEDORES DE PRESIÓN

TÍTULO

VERIFICACION DE LA INTEGRIDAD ESTRUCTURAL DE LA UNION DEL CUERNO DE LA CUNA Y EL CUERPO CILINDRICO DE UN RECIPIENTE DE GAS LICUADO
CODIGO ASME SECCION VIII DIVISION 1

AUTOR

ING. ALEJANDRO SAMUDIO

INDICE

1.- Objetivo.....	2
2.- Introducción.....	2
3.- Datos generales necesarios para el cálculo.....	4
3.1 Dimensiones.....	4
3.2 Estados de Carga.....	4
3.3 Tensiones Admisibles.....	4
3.4 Otros necesarios que entienda incorporar.....	4
4.- Procedimiento de cálculo y resultados – Método de Zick.....	5
5.- Procedimiento de cálculo y resultados – Método de Ong.....	6
5.1 Cuna Elástica.....	7
5.2 Cuna Rígida.....	8
6.- Procedimiento de cálculo y resultados – Método de Elementos Finitos.....	9
• Cuna Elástica.....	12
• Cuna Rígida.....	12
7.- Comparación de resultados de los tres procedimientos.....	13
8.- Procedimiento de Soldadura.....	14
9.- Evaluación de una fisura.....	30
10.- Conclusiones finales.....	37
11.- Figuras.....	38
12.- Anexos.....	48
13.- Referencias.....	48

Observaciones

Revisión

Fecha

Nota

Para aprobación

1

01/03/2021

1.- Objetivo

Verificar la integridad estructural de la unión del cuerno de la cuna y el cuerpo cilíndrico de un recipiente horizontal contenedor de gas licuado empleando un modelo de cálculo por elementos finitos (FEM) y comparando los resultados con los obtenidos por otros métodos de cálculo ingenieril del tipo paramétrico (método de Zick y método de L.S.Ong). El estado del recipiente es en operación y los datos de diseño se muestran en el Anexo 1

Por otra parte se abordará el análisis de las uniones soldadas a través de la confección de un procedimiento de soldadura WPS de uniones soldadas circunferenciales y longitudinales.

Por último se analizará el efecto de una fisura para determinar la aptitud para el servicio del tanque bajo los lineamientos de la practica API 579.

2.- Introducción

En este trabajo se presentan los principales resultados encontrados del estado tensional que se produce en los extremos de las cunas de un recipiente contenedor de presión, apoyado en forma horizontal, sometido a los estados de peso propio y del líquido que se encuentra en su interior. Posteriormente se aplica la categorización de tensiones según el Código ASME Sección VIII Div. 1 para la verificación de la integridad estructural.

Se observó que tanto en equipos en servicio como en equipos nuevos durante pruebas de presión, se generaron fallas estructurales en las zonas de apoyo o cunas. El análisis estructural indica que debido a los estados de carga mencionados se generan tensiones mecánicas que producen la falla estructural especialmente en los extremos de la cuna o base estructural (cuernos) consecuencia de la discontinuidad estructural entre la misma y el recipiente. (Ver figura 1).

Una práctica habitual en el diseño para determinar estas tensiones y las que se alcanzan en el resto del recipiente es la utilización del método de Zick (1951) .

La aparición de las fallas estructurales mencionadas, llevaron a realizar investigaciones específicas de base experimental las cuales han encontrado, que las tensiones circunferenciales que se desarrollan en los bordes de las cunas, los llamados cuernos del sistema de sujeción, calculadas por el método de Zick son subestimadas hasta alcanzar factores de 2 ó más veces, dependiendo del sistema de sujeción ya sea flexible o rígido. Es decir que las tensiones circunferenciales obtenidas por el método de Zick en los bordes de la cuna dan valores menores que los reales.

Este análisis particular se debió a L. S. ONG en donde a través de un estudio analítico utilizando gráficos parametrizados, que tienen en cuenta las diferentes variables geométricas del recipiente determinó los valores de las tensiones circunferenciales.

L. S. ONG, en base a su análisis, ensayó un componente de determinadas dimensiones y características constructivas y encontró que los resultados del ensayo predecían sus estudios.

A partir de estas conclusiones se sientan las bases de estudios más detallados o rigurosos como por ejemplo los métodos numéricos de elementos finitos.

Con este fin, en este trabajo se presentará un análisis más detallado del problema en donde se analiza la integridad estructural del recipiente contenedor de presión siguiendo los siguientes lineamientos con el fin de determinar el estado tensional del mismo en los cuernos de la cuna:

- a.- Verificación utilizando las soluciones del Método de Zick.
- b.- Verificación utilizando las solución analítica propuesta por L. S. ONG.
- c.- Verificación proponiendo un modelo tridimensional del tipo Shell mediante el Método de Elementos Finitos (FEA).
- d.- Comparación de resultados.

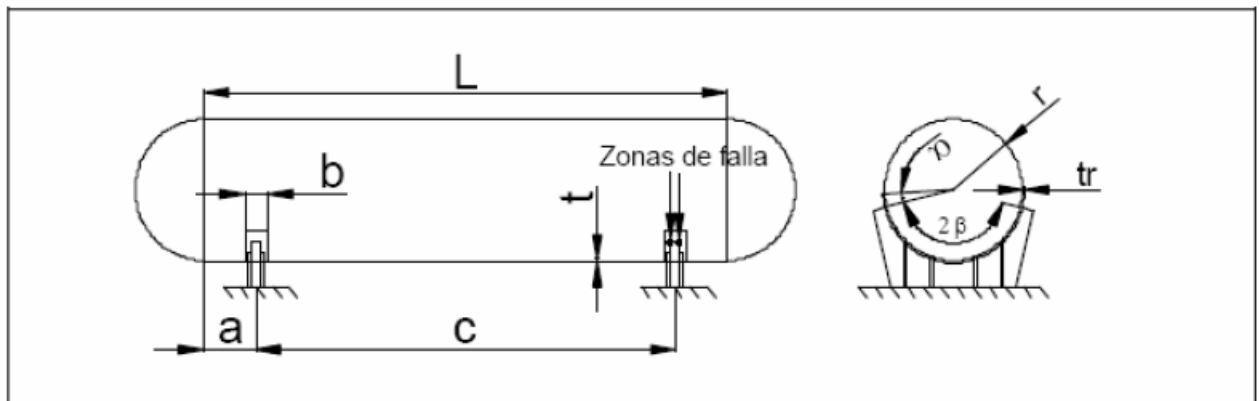


Figura 1 – Recipiente horizontal, identificación de la zona de falla

El trabajo se complementa con la confección de un procedimiento de soldadura (WPS) para una junta circunferencial y longitudinal, lo cual requiere principalmente:

- evaluación de la soldabilidad del metal base (y su consiguiente riesgo de fisuración)
- elección de la técnica idónea
- selección del consumible
- determinación de la temperatura de precalentamiento y entre pasadas
- otros.

Finalmente, se analizara una fisura de dimensiones conocidas en un cordón de soldadura, para determinar la aptitud para el servicio del tanque según los lineamientos de API 579 – Sección 2.

3.- Datos generales necesarios para el cálculo

3.1 Dimensiones principales

R = 1700 mm radio medio de la virola cilíndrica.

A = 3300 mm distancia de la línea tangente al centro de la cuna

ts = 25,4 mm espesor de la virola cilíndrica.

th = 15,8 mm espesor del cabezal semiesférico.

tr = 20 mm espesor de la placa de desgaste.

$\theta = 145^\circ$ ángulo de contacto de la silleta.

B = 700 mm ancho de la placa de desgaste.

C = 16860 mm distancia entre cunas.

$\alpha = 3^\circ$ ángulo entre el final de la placa de desgaste y la zona del comienzo de la cuna.

En el Anexo 1 se adjunta el plano de conjunto y detalles 03CM117A1 Rev.0

3.2 Estados de Carga

Estado : no operativo. Se considera solo peso propio y peso del contenido. No se considerarán cargas de viento, sismo y nieve.

Cargas: Peso propio + Peso del contenido (Tanque full con GLP, $\rho_{GLP}= 0,56$ kg/)

Peso total considerado = Peso propio (sin cunas) + Peso del contenido (GLP)

Peso propio (sin cunas) = Peso Vacío – Peso cunas = 62000 kgf – 2650 kgf = 59350 kgf

Peso del cont.= (Peso lleno agua – Peso vacío).0,56=(289000kgf - 62000 kgf).0,56= 127120 kgf

Peso Total considerado = 59350 kgf + 127120 kgf = 186470 kgf

Reacción por Cuna Q = Peso total considerado / 2 = 186470/2 = 93235 kgf = 913703 N

3.3 Tensiones Admisibles

ASME Sección VIII División 1, remite a Sección 2 Apéndice D Tabla 1A, línea 6

Material de virolas y cabezales SA 516 Gr.70

Tensión de Fluencia $S_y = 260$ Mpa

Tensión de rotura $S_r = 485$ Mpa

Tensión admisible $S_m = 138,5$ Mpa

3.4 Otros datos necesarios

Material virolas de cuerpo cilíndrico y cabezales : SA 516 Gr.70

Material Cunas : SA-36

Corrosión admisible C.A. = 1,27 mm

Peso del recipiente vacío = 62000 Kg.

Peso del recipiente lleno de agua= 289000 Kg

Temperatura de diseño = 66 °C

Presión de diseño = 17,25 Kg/cm²

En el Anexo 1 se adjunta el plano de conjunto y detalles 03CM117A1 Rev.0, donde se indican datos adicionales de diseño

4.- Procedimiento de cálculo y resultados – Método de Zick – Anexo 2.

El análisis de Zick desarrollado en 1951 es empleado generalmente como método de diseño de apoyos de recipientes horizontales. Los Códigos ASME y API tomaron como referencia este análisis como método de diseño en recipientes horizontales a presión. Este método permite analizar las tensiones que se presentan en el recipiente debido a la presencia de los soportes y la carga producida por el peso propio y del contenido del mismo.

El método se basa en un conjunto de correlaciones teóricas–empíricas que se ajustan a resultados de mediciones experimentales de deformaciones del recipiente, resultando en ecuaciones y gráficos que permiten calcular las tensiones longitudinales, de corte y circunferenciales que se presentan en la secciones de apoyo del recipiente.

El diseño del recipiente en estudio considera que los soportes son del tipo cuna de apoyo con placa de desgaste. La cuna de apoyo está formada por cartelas y placa base, y todas las uniones se realizan a través de uniones soldadas. Los detalles constructivos se ven en el Anexo1.

En esta sección del trabajo se analiza la integridad estructural en el cuerno de la cuna soporte sobre el cuerpo cilíndrico del recipiente empleando el análisis de Zick. Por lo tanto la tensión a determinar es la tensión circunferencial del recipiente en el cuerno de la cuna, denominada S_4 . El método consiste en calcular S_4 por encima de la placa de desgaste y sobre el material del cuerpo cilíndrico por medio de la ecuación (1). Se excluye el efecto del cordón de soldadura que une la placa de desgaste y el cuerpo cilíndrico.

Para la aplicación de la ecuación 1 se requieren determinar la relación entre la longitud y el radio del cuerpo cilíndrico ($L \geq 8R$) y una constante K_6 que se extrae de gráficas experimentales y que depende de la posición y características constructivas de la cuna. Se desarrolla a continuación el método. En el Anexo 2 se presenta el Método de Zick completo.

$$S_4 = \frac{Q}{4t_s (b + 1,56 \sqrt{R t_s})} - \frac{3 K_6 Q}{2 t_s^2} \quad (1)$$

donde

S_4 : Tensión circunferencial en el cuerno de la cuna sobre el recipiente

Q: Reacción de vínculo en la cuna

t_s : Espesor de la virola del recipiente (condición corroída)

Nota: t_s no considera el espesor de la placa de desgaste por no cumplir la condición de Zick, donde la placa de desgaste debe exceder $R/10$ (pulgadas) el cuerno de la cuna y que $A \leq R/2$

Para nuestro caso la extensión de la placa de desgaste es $< R/10 = 6,68''$ y $A > R/2$; donde $A > R/2 = 33,44''$

R: Radio medio del recipiente (condición corroída)

B: ancho de la cuna

A: distancia desde centro de la cuna hasta la tangente del cuerpo cilíndrico

K_6 : Constante que depende de la relación A/R y ϕ .

ϕ : Angulo de contacto entre la cuna y el recipiente

Las unidades a aplicar en la (1) son del sistema US, para nuestro casos los valores a utilizar son :

$$Q = 93235 \text{ kgf} \cong 205548 \text{ lbs}$$

$$t_s = 24,13 = 0,95''$$

$$R = 1700\text{mm} = 66,92''$$

$$A = 3300\text{mm} = 129,92''$$

$$b = 700\text{mm} = 27,56''$$

Para determinar $K_6 \rightarrow A/R = 1,95$, $\phi = 151^\circ 37'$ \rightarrow Grafica de K_6 Anexo 2 $\rightarrow K_6 = 0,035$

$$S_4 = -13309 \text{ psi} \cong -91,76 \text{ Mpa}$$

$S_4 < 1.5 S_m \rightarrow$ Verifica

El valor negativo indica una tensión de compresión en el Top de la envuelta del recipiente, en la zonas de los cuernos de las cunas.

5.- Procedimiento de cálculo y resultados – Método de L.S. Ong – Anexo 3

La experiencia demuestra que en un recipiente horizontal soportado por cunas las tensiones máximas se presentan en los cuernos de la cuna (unión de cuna y cuerpo cilíndrico), siendo tensiones circunferenciales. L.S.Ong realizó estudios detallados de dichas tensiones y estableció un método del tipo paramétrico para su cálculo a través de una ecuación paramétrica

Los parámetros asociados a la ecuación α_a , α_b , α_c y α_s dependen de la configuración geométrica de la cuna soporte y de las características del recipiente.

Además el procedimiento de Ong considera un factor de reducción de tensión α_s debido al uso de placa de desgaste y a placa superior extendida de la cuna, o a cuna flexible.

Los parámetros α_a , α_b , α_c y α_s son adimensionales y se utilizan en conjunto con curvas empíricas. En el Anexo 3 se adjunta el detalle del Método de L.S. Ong, referencias geométricas y las curvas empíricas.

A continuación se muestra la ecuación paramétrica de L.S.Ong

$$\sigma_c = K_a K_b K_c K_s \frac{Q}{t^2} \sqrt{\frac{t}{r}} \quad (2)$$

Donde

σ_c : Tensión circunferencial pico en el cuerno de la cuna

Ka: factor geométrico de ubicación de la cuna obtenido en gráficos función de α_a

Kb: factor geométrico de ancho de cuna obtenido en gráficos función de α_b

Kc: factor geométrico de distancia entre cunas obtenido en gráficos función de α_c

Ks: factor de reducción debido a la extensión de la placa de desgaste obtenido en gráficos función de α_s

Q: reacción en el soporte debido al peso propio y del contenido del recipiente

t: espesor del cuerpo cilíndrico (condición corroída)

r: radio interior (condición corroída)

Además los parámetros α_a , α_b , α_c y α_s se definen por las relaciones geométricas:

$$\alpha_a = \frac{a}{r} \sqrt{\frac{t}{r}}$$

$$\alpha_b = \frac{b}{r} \sqrt{\frac{t}{r}}$$

$$\alpha_c = \frac{c}{r} \sqrt{\frac{t}{r}}$$

$$\alpha_s = \alpha_b^{1/3} \left(\frac{tr}{t} \right)$$

En este caso se emplearán las unidades del S.I.

Se muestra el procedimiento en forma resumida

5.1 Cuna elástica

Reacción en el soporte:

- Q = 93235 Kgs = 913703N

Datos del recipiente:

- Radio interior r = 1687,5 mm

- Espesor cuerpo cilíndrico t = 24,13 mm

- Longitud cuerpo cilíndrico $L = 23460$ mm

Datos del soporte:

- Angulo de la cuna $2\beta = 151^\circ 37'$
- Posición $a = 3300$ mm
- Ancho $b = 700$ mm
- Distancia entre soportes $c = 16860$ mm
- Relación de espesores de placa de desgaste $tr/t = 0,83$ (espesor de cilindro corroído)
- Placa de cuna extendida $\alpha = 6^\circ$

Factores en la ecuación paramétrica

- Factor de ubicación K_a $\alpha_a = 0,23$ Fig. 1 Anexo3 $K_a = 0,625$
- Factor de ancho K_b $\alpha_b = 0,05$ Fig. 2 Anexo3 $K_b = 1,3$
- Factor de distancia K_c $\alpha_c = 1,20$ Fig. 3 Anexo3 $K_c = 1,09$
- Factor de reducción K_s $\alpha_s = 0,30$ Fig. 4 Anexo3 $K_s = 0,45$

Tensión circunferencial máxima en el cuerno de la cuna

Reemplazando los datos anteriores en la (2) resulta

$$\sigma_c = 7,65 \text{ Kg/mm}^2 \cong 75,08 \text{ Mpa}$$

En el caso que $\alpha = 3^\circ$, $K_s = 0,78$ y

$$\sigma_c = 13,27 \text{ Kg/mm}^2 \cong 130 \text{ Mpa}$$

$\sigma_c < S_m \longrightarrow$ Verifica

5.2 Cuna Rígida

En este caso el Factor de reducción de tensiones K_s toma el valor 1 (uno) y la Tensión máxima en el cuerno de la cuna resulta

$$\sigma_c = 17,01 \text{ Kg/mm}^2 \cong 166,85 \text{ Mpa}$$

$\sigma_c > S_m \longrightarrow$ No Verifica

6.- Procedimiento de cálculo y resultados – Método de Elementos Finitos

6.1 Planteo general del modelo:

Teniendo en cuenta las características del equipo se planteó un modelo de elementos finitos utilizando elementos de cáscaras. Para el cálculo del estado tensional en los cuernos de la cuna se utilizaron 2 modelos de cálculo usando elementos tridimensionales de cáscara de 3 y 4 nodos del programa de elementos finitos Ansys 2019 R2 versión Académica. Por la configuración geométrica y de cargas se modeló $\frac{1}{4}$ del recipiente. Los estados de carga considerados son peso propio y peso del contenido, es decir las mismas condiciones empleadas en las verificaciones por el Método de Zick y el de L.S. Ong. El tipo de análisis es lineal elástico.

Los dos modelos de cálculo empleados en la simulación consideran:

- Modelo con cuna de apoyo rígida
- Modelo con cuna de apoyo según plano (elástica)

6.2 Planteo del modelo geométrico

La geometría del recipiente se desarrolló empleando Design Modeler de Ansys 2019 R2. Las características geométricas del modelo son las detalladas en el Anexo 1, plano de fabricación del equipo. La geometría resultante está constituida por superficies tridimensionales, empleando elementos de cáscaras (Shell) y solo se representó $\frac{1}{4}$ del recipiente. En la zona de los cuna se dividió las superficies para su mejor análisis posterior.

6.3 Planteo del modelo FEA

Las etapas y características de la simulación modelo se resumen a continuación y se detallan en las figuras :

6.3.1 Geometría y espesores: modelado con superficies y los espesores definidos de acuerdo al plano de fabricación del Anexo 1 en condición corroída. Para respetar la geometría respecto de los espesores en la envuelta, zona de placa de desgaste y cuna, se definió el offset más adecuado (envuelta: Top; zona placa de desgaste: definida por el usuario; cuna: middle). Fig. 1 y 2 .

6.3.2 Materiales y propiedades:

Según punto 3, en Ansys corresponde Structural Steel. Fig.3

6.3.3 Mallado (Mesh): se realizaron 3 modelos con mallados de distintos refinamientos para analizar la convergencia de los resultados y se seleccionó el modelo de mallado que presentó la mejor continuidad, gradientes óptimos y los máximos valores de tensiones y deformaciones en la zona de los cuernos de la cuna. La estrategia de mallado consistió en emplear elementos cuadriláteros del máximo

tamaño posible en la envolvente y cabezal para conseguir máximos refinamientos en la zona de los cuernos de la cuna y así no exceder los límites del solver de Ansys Académico (30000 elementos y 30000 nodos). Se verificó la métrica del mallado en cuanto a Element Quality y Aspect Ratio según los valores aceptables recomendados por Ansys.

Las características del mallado se detallan a continuación.

Mallado Global : Tamaño global de elemento 90 mm. Orden del elemento: Controlado por el software. Elementos totales empleados 16460 y 16568 nodos totales. Fig. 4

Mallado local: en la zona de los cuernos de la cuna y la cartela se emplearon controles de mallado localizado tipo: Face Meshing de elementos cuadriláteros, Refinamiento de la malla de máximo orden (grado 3) y Inflation de grado de transición medio (grado 0,5) para conseguir la máxima cantidad de elementos cuadriláteros de alta calidad y geometría regular. Fig.5

6.3.4 Cargas: peso propio del recipiente + peso del contenido (GLP volumen 100% ocupado) y el efecto de la presión hidrostática del fluido (GLP volumen 100% ocupado). En el entorno Ansys estas cargas se fijan estableciendo los comandos: Peso propio \longrightarrow Standard Hearth Gravity (aceleración de la gravedad estándar) aplicado a todo el modelo. Fig.6

Presión hidrostática \longrightarrow Hydrostatic Pressure aplicado a la superficie interna del recipiente. Fig.7

6.3.5 Condiciones de borde: en los bordes y caras del recipiente y cuna se aplicaron condiciones de borde simetría. En la cuna se aplicaron condiciones de borde para restringir desplazamientos correspondientes a las hipótesis de Cuna elástica y Cuna rígida. Dichas condiciones se detallan a continuación:

- Plano transversal: plano de simetría XY..... $w=0$; $\theta_u= \theta_v=0$

Comandos Ansys: Displacement y Fixed rotation Fig.8

- Plano longitudinal: plano de simetría YZ..... $u=0$; $\theta_v= \theta_w=0$

Comandos Ansys: Displacement y Fixed Rotation Fig 9

- El resto de los desplazamientos y giros sin restricciones (free)

- **Cuna elástica:** La cara comprendida por el área de apoyo de la cuna sobre la fundación fue restringida en sus desplazamientos y giros.

Comandos Ansys: Fixed Support Fig.10

- **Cuna rígida:** Los nodos de las líneas que constituyen la intersección entre las superficies de alma y cartelas con la placa de desgaste de la cuna fueron restringidas en sus desplazamientos y giros.

Comandos Ansys: Fixed Support

Fig.11

6.3.6 Solución numérica: se realizó el procesamiento del modelo y se definió como resultados

- Tensiones circunferenciales (Normal Stress): se consideró un sistema de coordenadas cilíndricas y la dirección correspondiente para obtener las tensiones circunferenciales (dirección Y). En top y bottom tanto para el modelo con cuna elástica (Fig. 12 y 13), como con cuna rígida (Fig. 14 y 15),

- Deformación (Total Deformation): deformada del recipiente

Fig.16

- Reacción en apoyo (Force Reaction): para realizar una verificación se determinó la fuerza de reacción en el apoyo de la cuna

Fig.17

6.3.7 Análisis de Convergencia (Convergence): se realizó un análisis de convergencia de las tensiones circunferenciales en el top de la superficie del recipiente empleando el comando Convergence de Ansys Academic. Por limitaciones de licencia del software, el procesamiento de convergencia se efectuó en forma localizada sobre la zona del cuerno de la cuna. Fig.18

Los parámetros de convergencia fueron, número de iteraciones 4 resultando el último cambio porcentual entre iteraciones 2,4%, lo que se considera aceptable. Mayor cantidad de iteraciones están limitadas por alcance de licencia del software en versión académica.

El análisis se realizó sobre el modelo con cuna rígida, verificándose la convergencia hacia los valores máximos.

6.3.8 Análisis de resultados

Se observa que las tensiones circunferenciales máximas se hallan en la zona del cuerno de la cuna sobre la superficie exterior (Top) del recipiente tanto para la hipótesis de cuna elástica como de cuna rígida. Las tensiones circunferenciales en la superficie exterior (Top) son tensiones de compresión, mientras que en superficie interior (Bottom) son de tracción.

Para el modelo de cuna rígida las tensiones circunferenciales son superiores a las correspondientes a las del modelo de cuna elástica. Dichos valores se presentan en la Tabla N°1. Se consideraron las tensiones circunferenciales existentes a una distancia de más de una espesor de soldadura (cateto de 17 mm) para excluir la zona que pueda estar influenciada por la misma.

Los valores de las Tensiones de Von Mises muestran la existencia de tensiones combinadas. Finalmente se observan deformaciones totales máximas en el top de la envuelta y nulas en la placa base de la cuna, lo cual resulta adecuado con el estado de carga y las condiciones de borde aplicadas.

Tipo de cuna		Tensión Circunferenciales (Mpa)	Figuras
Elástica	Top	-180,11	12
	Bottom	132,54	13
Rígida	Top	-200,91	14
	Bottom	150,11	15

Tabla N° 1

Las tensiones circunferenciales máximas en Top de cuna rígida y elástica; y las tensiones en Bottom de cuna rígida, calculadas por FEA, no verifican la tensión admisible por ASME VIII División I.

A continuación en 11- se muestran las figuras que detallan el modelo por elementos finitos del Tanque GLP.

7.- Comparación de resultados de los tres procedimientos

En la tabla N°2 se muestran los valores de tensiones en MPa de los tres métodos de cálculo empleados y para los modelos de cuna elástica y cuna rígida. En la Tabla N°3 se realiza la comparación de los resultados obtenidos. Finalmente se presenta una breve conclusión.

Método	Valor de Tensión según Modelo de cuna (MPa)	
	Elástica	Rígida
Zick	91,76	91,76
L.S.Ong	130	166,85
FEA (Top)	180,11	200,91

Tabla N°2

Relaciones	Relación de Tensiones según Modelo de cuna	
	Elástica	Rígida
L.S.Ong / Zick	1,41	1,81
FEA / Zick	1,96	2.10
L.S.Ong / FEA	0,72	0,86

Tabla N°3

Según la tabla nº3 se puede observar que para un estado de rigidez total de la cuna, las tensiones calculadas por el método de L.S.Ong. superan en un 81% a las calculadas por el método de Zick.

Ahora si comparamos las tensiones para igual estado anterior de rigidez, el método Computacional por Elementos Finitos (FEA) se encuentra en un 110% por encima de los valores obtenidos por el método de Zick. No se observa una diferencia pronunciada entre los valores obtenidos por el método L.S.Ong frente al Método FEA, solo un 14% de diferencia.

Por otra parte para el estado real según plano o cuna elástica, vemos que el método de L.S.Ong se encuentra 41 % por encima del método de Zick, y que el Método FEA se encuentra en el orden de un 96% por encima de los valores obtenidos por el método de Zick.

Los valores de la Tabla 3 se representaron en el Gráfico 1

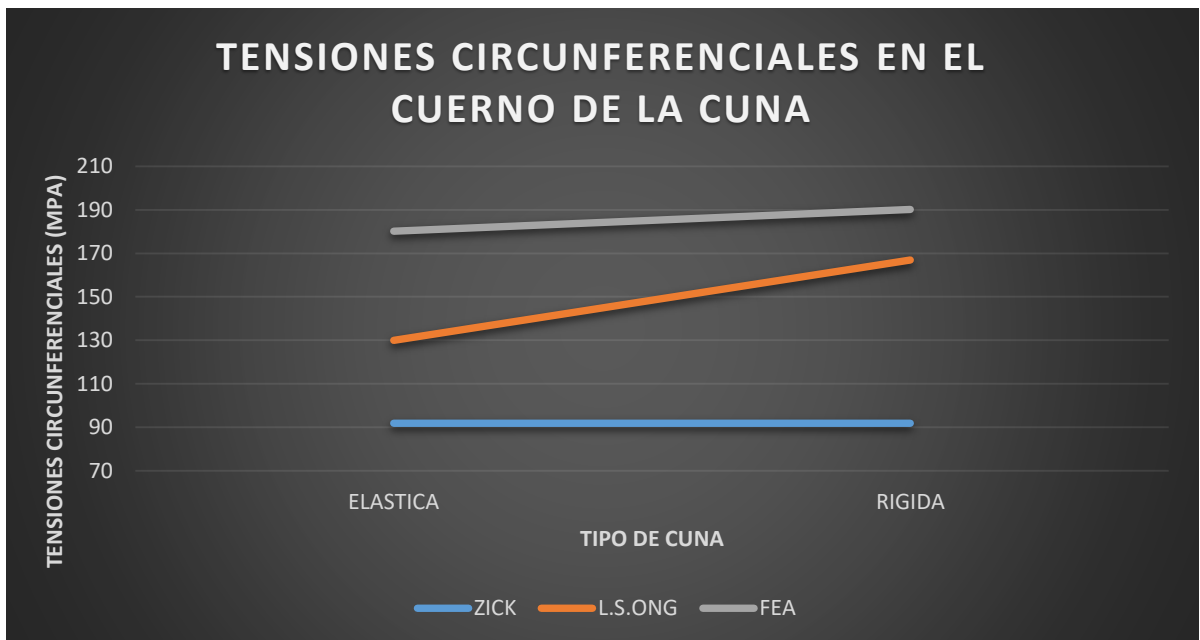


Gráfico 1

Comparativa de Tensiones Circunferenciales. Cuerno de la cuna

8.- Procedimiento de Soldadura

8.1 Introducción

En la etapa de fabricación del recipiente en estudio una de las principales actividades son las soldaduras de las uniones entre las distintas partes del mismo.

En este punto del informe se analizan las uniones soldadas desde el punto de vista de la metodología de realización de las soldaduras. En la práctica esto se materializa a través de Especificaciones de Procedimientos de Soldaduras donde se detalla las características técnicas de los factores que influyen en la obtención de soldaduras sanas y adecuadas al material a soldar y a los requerimientos de operación del recipiente. Estas especificaciones de procedimientos de soldadura EPS (WPS en inglés) proveen la dirección al soldador/operador que realizará las soldaduras.

Los EPS son evaluados o calificados por medio de pruebas mecánicas realizadas sobre probetas o cupones del mismo material y soldados como indica el EPS. Estas pruebas forman parte del Registro de Calificación de Soldadura RCP (PQR en inglés).

El soldador/operador debe tener suficiente experiencia práctica y estar familiarizado con los EPS. Dicha experiencia se califica a través de Procedimientos de Calificación de soldadores/operadores (WPQ en inglés).

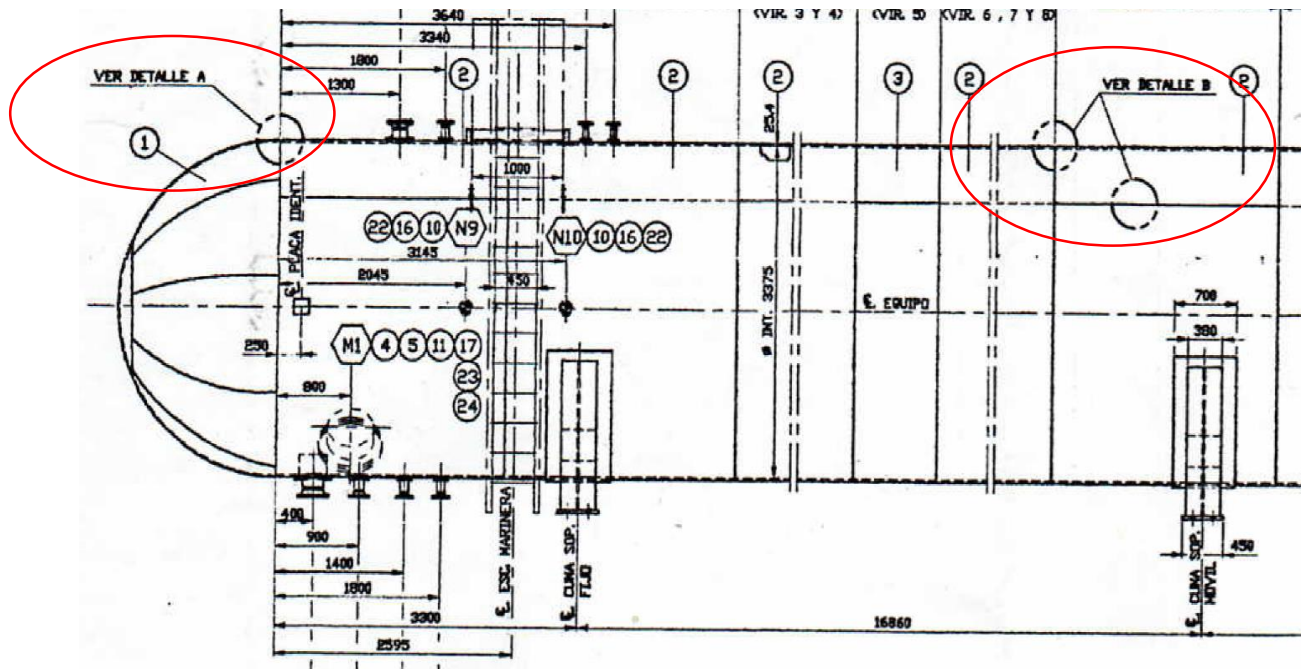
Los lineamientos que definen los EPS y la metodología y criterios de evaluación definidos en los RCP, en la práctica dependen de normas y códigos aplicables según el uso del componente a soldar. En el ámbito de la construcción de recipientes a presión la norma de uso en nuestro país es el Código ASME y las secciones del mismo.

8.2 Objetivo

Desarrollar las especificaciones de procedimientos de soldadura (EPS/WPS) correspondientes a las uniones soldadas del Tanque de Almacenamiento de LPG 227 m³ que se detallan a continuación :

- Unión soldada longitudinal a tope con ranura en X, sobre el cuerpo cilíndrico. Plano N°117 Anexo 1, Det. B
- Unión soldada circunferencial a tope con ranura en X, sobre el cuerpo cilíndrico. Plano N°117 Anexo 1, Det. B
- Unión soldada circunferencial a tope con ranura en X, correspondiente a la unión cabezal-cuerpo cilíndrico. Plano N°117 Anexo 1, Det. A

La norma de aplicación empleada fue el Código ASME BPVC sección IX Ed. 2017



8.3 Desarrollo

Para la confección del EPS se tomaron como base 4 etapas de trabajo:

- 8.3.1 Análisis del diseño del equipo, sus requerimientos operativos y análisis de los códigos y estándares aplicables
- 8.3.2 Selección del proceso de soldadura a emplear. Identificación de variables de acuerdo al código de aplicación y su análisis aplicado a las juntas seleccionadas
- 8.3.3 Procedimiento EPS
- 8.3.4 Conclusiones y oportunidades de mejora en el procedimiento.

A continuación se desarrollan las etapas

8.3.1 Análisis del equipo y códigos aplicables

Se trata de un recipiente de almacenamiento de LPG de capacidad 227 m³. Los datos de diseño, construcción y operativos se detallan en el Plano N°117 del Anexo1 y en el punto 3 de este informe.

Por sus condiciones de diseño y operativa, recipiente a presión, el Código de aplicación para el diseño es ASME BPVC. En nuestro país la legislación de la jurisdicción admite el uso de este código. Por lo tanto el EPS se confeccionó en base a los lineamientos de la sección IX Welding and Brazing Qualifications

8.3.2 Selección de proceso e identificación de variables de soldadura

Para la selección del proceso o procesos a emplear se tuvo en cuenta los siguientes factores:

- Tipo de material base y características metalúrgicas: Acero HSLA (baja aleación - alta resistencia)

- Tipo de junta, ubicación y posición: juntas longitudinales, circunferenciales sometidas a tensiones de membrana y juntas con cambio de espesor sometidas a tensiones combinadas
- Tamaño del equipo: dimensiones y espesores relativamente importantes (largo > 20mts, diámetro > 3mts, espesor de 25 mm)
- Accesibilidad de la junta: acceso al interior y al exterior sin limitaciones. Dadas las dimensiones del equipo se tiene acceso al interior para ejecutar soldaduras
- Servicio: almacenamiento de LPG a temperatura ambiente (gas inflamable)
- Conocimiento de constructores disponibles con capacidad técnica de equipos/máquinas de soldar y con soldadores calificados según ASME Sección IX: en la provincia de Buenos Aires y Santa Fe existen constructores calificados y con capacidad técnica para este ejecutar este tipo de construcción. Algunos de ellos cuentan con habilitación de ASME (Estampa).
- Costo de producción: en este caso se prioriza el tiempo de construcción del equipo, exigiendo una alta calidad en las ejecuciones de las uniones soldadas, sanidad de las soldaduras resultantes y asumiendo un costo de construcción relativamente elevado
- Requerimientos Técnicos contractuales: el código de aplicación para la ejecución de las uniones soldadas es ASME BPVC Sección IX

Del análisis de los factores mencionados se decide adoptar procesos de soldaduras automáticos y/o semiautomáticos. Los procesos seleccionados son: Soldadura por arco sumergido SAW y Soldadura por arco con alambre tubular FCAW. La construcción del recipiente se realiza en taller del constructor.

A continuación en la Tabla N°4 y 5 se muestran las variables de soldadura para los procesos de soldadura según la Sección IX del Código ASME

Tabla N°4

QW-254
WELDING VARIABLES PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)
Submerged-Arc Welding (SAW)

Paragraph		Brief of Variables	Essential	Supplementary Essential	Nonessential
QW-402 Joints	.1	ϕ Groove design			X
	.4	— Backing			X
	.10	ϕ Root spacing			X
	.11	± Retainers			X
QW-403 Base Metals	.5	ϕ Group Number		X	
	.6	T Limits		X	
	.7	Z/t Limits > 8 in.	X		
	.8	ϕ T Qualified	X		
	.9	ε Pass > 1/2 in.	X		
	.11	ϕ P-No. qualified	X		
QW-404 Filler Metals	.13	ϕ P-No. 5/9/10	X		
	.4	ϕ E-Number	X		
	.5	ϕ A-Number	X		
	.6	ϕ Diameter			X
	.9	ϕ Flux/wire class.	X		
	.10	ϕ Alloy flux	X		
	.24	± Supplemental	X		
	.27	ϕ Alloy elements	X		
	.29	ϕ Flux designation			X
	.30	ϕ ε	X		
	.33	ϕ AWS class.			X
	.34	ϕ Flux type	X		
QW-405 Positions	.35	ϕ Flux/wire class.		X	X
	.36	Recrushed slag	X		
QW-406 Preheat	.1	+ Position			X
	.1	Decrease > 100°F	X		
	.2	ϕ Preheat maint.			X
QW-407 PWHT	.3	Increase > 100°F (IP)		X	
	.1	ϕ PWHT	X		
	.2	ϕ PWHT (T & T range)		X	
	.4	T Limits	X		
QW-409 Electrical Characteristics	.1	> Heat input		X	
	.4	ϕ Current or polarity		X	X
	.8	ϕ I & E range			X

Paragraph		Brief of Variables	Essential	Supplementary Essential	Nonessential
QW-410 Technique	.1	ϕ String/weave			X
	.5	ϕ Method cleaning			X
	.6	ϕ Method back gouge			X
	.7	ϕ Oscillation			X
	.8	ϕ Tube-work distance			X
	.9	ϕ Multi to single pass/side		X	X
	.10	ϕ Single to multi electrodes		X	X
	.15	ϕ Electrode spacing			X
	.25	ϕ Manual or automatic			X
.26	± Peening			X	

Legend:
 + Addition > Increase/greater than ↑ Uphill ← Forehand ϕ Change
 - Deletion < Decrease/less than ↓ Downhill → Backhand

Tabla N°5

**QW-255
WELDING VARIABLES PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)
Gas Metal-Arc Welding (GMAW and FCAW)**

Paragraph	Brief of Variables	Essential	Supplementary Essential	Nonessential
QW-402 Joints	.1 ϕ Groove design			X
	.4 - Backing			X
	.10 ϕ Root spacing			X
	.11 \pm Retainers			X
QW-403 Base Metals	.5 ϕ Group Number		X	
	.6 T Limits		X	
	.7 T/Z Limits > 8 in.	X		
	.8 ϕ T Qualified	X		
	.9 ϵ Pass > 1/2 in.	X		
	.10 T Limits (S. Cir. Arc)	X		
	.11 ϕ P-No. qualified	X		
QW-404 Filler Metals	.13 ϕ P-No. 5/9/10	X		
	.4 ϕ E-Number	X		
	.5 ϕ A-Number	X		
	.6 ϕ Diameter			X
	.12 ϕ AWS class.		X	
	.23 ϕ Filler metal product form	X		
	.24 \pm Supplemental ϕ	X		
	.27 ϕ Alloy elements	X		
QW-405 Positions	.30 ϕ ϵ	X		
	.32 ϵ Limit (S. Cir. Arc)	X		
	.33 ϕ AWS Class.			X
	.1 + Position			X
	.2 ϕ Position		X	
QW-406 Preheat	.3 ϕ $\uparrow\downarrow$ Vertical welding			X
	.1 Decrease > 100°F	X		
	.2 ϕ Preheat maint.			X
QW-407 PWHT	.3 Increase > 100°F (IP)		X	
	.1 ϕ PWHT	X		
	.2 ϕ PWHT (T & T range)		X	
	.4 T Limits	X		

Paragraph	Brief of Variables	Essential	Supplementary Essential	Nonessential
QW-408 Gas	.1 \pm Trail or ϕ comp.			X
	.2 ϕ Single, mixture, or %	X		
	.3 ϕ Flow rate			X
	.5 \pm or ϕ Backing flow			X
	.9 - Backing or ϕ comp.	X		
	.10 ϕ Shielding or trailing	X		
QW-409 Electrical Characteristics	.1 > Heat input		X	
	.2 ϕ Transfer mode	X		
	.4 ϕ Current or polarity		X	X
	.8 ϕ I & E range			X
QW-410 Technique	.1 ϕ String/weave			X
	.3 ϕ Orifice, cup, or nozzle size			X
	.5 ϕ Method cleaning			X
	.6 ϕ Method back gouge			X
	.7 ϕ Oscillation			X
	.8 ϕ Tube-work distance			X
	.9 ϕ Multi to single pass/side		X	X
	.10 ϕ Single to multi electrodes		X	X
	.15 ϕ Electrode spacing			X
	.25 ϕ Manual or automatic			X
	.26 \pm Peening			X

Legend:
 + Addition > Increase/greater than \uparrow Uphill \leftarrow Forehand ϕ Change
 - Deletion < Decrease/less than \downarrow Downhill \rightarrow Backhand

8.3.2.1 Variables del proceso de soldaduras SAW

Tipo de junta QW-402: Juntas a tope con ranura en X. El detalle y dimensiones de los biseles se muestran en el Plano N°117 Anexo 1, Detalles A y B. El respaldo es el metal de aporte

Metal Base QW-403: según tabla QW/QB-422 para el SA 516 GR.70 se observan las características del metal base. N°P1, Grupo N°2

QW/QB-422 FERROUS P-NUMBERS AND S-NUMBERS (CONT'D)
Grouping of Base Metals for Qualification

Spec. No.	Type or Grade	UNS No.	Minimum Specified Tensile, ksi	Welding				Brazing		Nominal Composition	Product Form
				P- No.	Group No.	S- No.	Group No.	P- No.	S- No.		
A 514	P	K21650	100	...	...	11B	8	102	...	1.25Ni-1Cr-0.5Mo	Plate > 2½ in.-6 in., incl.
A 514	P	K21650	110	...	...	11B	8	102	...	1.25Ni-1Cr-0.5Mo	Plate, 2½ in. max.
A 514	Q	...	100	...	...	11B	9	102	...	1.3Ni-1.3Cr-0.5Mo-V	Plate > 2½ in.-6 in., incl.
A 514	Q	...	110	...	...	11B	9	102	...	1.3Ni-1.3Cr-0.5Mo-V	Plate, 2½ in. max.
SA-515	60	K02401	60	1	1	...	...	101	...	C-Si	Plate
SA-515	65	K02800	65	1	1	...	...	101	...	C-Si	Plate
SA-515	70	K03101	70	1	2	...	...	101	...	C-Si	Plate
SA-516	55	K01800	55	1	1	...	...	101	...	C-Si	Plate
SA-516	60	K02100	60	1	1	...	...	101	...	C-Mn-Si	Plate
SA-516	65	K02403	65	1	1	...	...	101	...	C-Mn-Si	Plate
SA-516	70	K02700	70	1	2	...	...	101	...	C-Mn-Si	Plate

En cuanto al espesor se toma los espesores de la partes a unir, 25,4 y 15,8 mm. No se considera rangos de espesores a ser calificados según tabla QW-451 ya que excluye el alcance de este informe.

Metal de relleno QW-404:

La soldadura se realizará de la siguiente manera:

- Pasada de raíz FCAW, para lograr penetración, calidad de soldadura y evitar posibles daños de la garganta del bisel
- Pasadas de relleno SAW, para conseguir elevada velocidad de soldadura y alta deposición con alta calidad mecánica

Las características a especificar en QW-404 se extraen de ASME Sección II Parte C (Especificaciones para varillas, electrodos y material de relleno de soldadura) , ASME IX y datos de proveedores de consumibles de soldadura. También se recurre a la experiencia práctica propia del constructor.

Para las pasadas de relleno con proceso SAW con material base acero al carbono de baja aleación corresponde la especificación SFA-5.17 Carbon Steel Electrodes and fluxes for Submerged Arc Welding. La clasificación correspondiente se basa en la compatibilidad del electrodo con el material base. Para ello se analizó las composiciones químicas de ambos.

Según Table 1 de ASME Sección 2 Parte A2, de la especificación de SA 516 se muestra la composición química. Se muestra a continuación dicha tabla.

TABLE 1 Chemical Requirements

Elements	Composition, %			
	Grade 55 [Grade 380]	Grade 60 [Grade 415]	Grade 65 [Grade 450]	Grade 70 [Grade 485]
Carbon, max ^{A,B} :				
½ in. [12.5 mm] and under	0.18	0.21	0.24	0.27
Over ½ in. to 2 in. [12.5 to 50 mm], incl	0.20	0.23	0.26	0.28
Over 2 in. to 4 in. [50 to 100 mm], incl	0.22	0.25	0.28	0.30
Over 4 to 8 in. [100 to 200 mm], incl	0.24	0.27	0.29	0.31
Over 8 in. [200 mm]	0.26	0.27	0.29	0.31
Manganese ^D :				
½ in. [12.5 mm] and under:				
Heat analysis	0.60–0.90	0.60–0.90 ^C	0.85–1.20	0.85–1.20
Product analysis	0.55–0.98	0.55–0.98 ^C	0.79–1.30	0.79–1.30
Over ½ in. [12.5 mm]:				
Heat analysis	0.60–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20
Product analysis	0.55–1.30	0.79–1.30	0.79–1.30	0.79–1.30
Phosphorus, max ^A	0.025	0.025	0.025	0.025
Sulfur, max ^A	0.025	0.025	0.025	0.025
Silicon:				
Heat analysis	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40
Product analysis	0.13–0.45	0.13–0.45	0.13–0.45	0.13–0.45

^A Applies to both heat and product analyses.

^B For each reduction of 0.01 percentage point below the specified maximum for carbon, an increase of 0.06 percentage point above the specified maximum for manganese is permitted, up to a maximum of 1.50 % by heat analysis and 1.60 % by product analysis.

^C Grade 60 plates ½ in. [12.5 mm] and under in thickness may have 0.85–1.20 % manganese on heat analysis, and 0.79–1.30 % manganese on product analysis.

Según Table 1 de ASME Sección 2 Parte D, de la especificación de SFA 5.17 se muestra la composición química del alambre de relleno. Se muestra a continuación dicha tabla.

**TABLE 1
CHEMICAL COMPOSITION REQUIREMENTS FOR SOLID ELECTRODES**

Electrode Classification	UNS Number ⁽³⁾	wt. percent ^{(1) (2)}						
		C	Mn	Si	S	P	Cu ⁽⁴⁾	Ti
Low-Manganese Electrodes								
EL8	K01008	0.10	0.25/0.60	0.07	0.030	0.030	0.35	—
EL8K	K01009	0.10	0.25/0.60	0.10/0.25	0.030	0.030	0.35	—
EL12	K01012	0.04/0.14	0.25/0.60	0.10	0.030	0.030	0.35	—
Medium-Manganese Electrodes								
EM11K	K01111	0.07/0.15	1.00/1.50	0.65/0.85	0.030	0.025	0.35	—
EM12	K01112	0.06/0.15	0.80/1.25	0.10	0.030	0.030	0.35	—
EM12K	K01113	0.05/0.15	0.80/1.25	0.10/0.35	0.030	0.030	0.35	—
EM13K	K01313	0.06/0.16	0.90/1.40	0.35/0.75	0.030	0.030	0.35	—
EM14K	K01314	0.06/0.19	0.90/1.40	0.35/0.75	0.025	0.025	0.35	0.03/0.17
EM15K	K01515	0.10/0.20	0.80/1.25	0.10/0.35	0.030	0.030	0.35	—
High-Manganese Electrodes								
EH10K	K01210	0.07/0.15	1.30/1.70	0.05/0.25	0.025	0.025	0.35	—
EH11K	K11140	0.07/0.15	1.40/1.85	0.80/1.15	0.030	0.030	0.35	—
EH12K	K01213	0.06/0.15	1.50/2.00	0.25/0.65	0.025	0.025	0.35	—
EH14	K11585	0.10/0.20	1.70/2.20	0.10	0.030	0.030	0.35	—
EG				Not Specified				

NOTES:

(1) The electrode shall be analyzed for the specific elements for which values are shown in this table. If the presence of other elements is indicated, in the course of this work, the amount of those elements shall be determined to ensure that their total (excluding iron) does not exceed 0.50 percent.

(2) Single values are maximum.

(3) SAE/ASTM Unified Numbering System for Metals and Alloys.

(4) The copper limit includes any copper coating that may be applied to the electrode.

De la comparación química vemos que resulta compatible el electrodo EM12 y EM12K, electrodos de tenor medio de manganeso.

Respecto de la clasificación del fundente empleado se analizó la compatibilidad de las características mecánicas del alambre/fundente, teniendo como objetivo que el material de aporte en la condición de soldado debe tener como mínimo igual resistencia a la fluencia y a la rotura que el material base.

El material base según ASME Sección 2 Apéndice D Tabla 1A, línea 6, SA 516 GR.70

Tensión de Fluencia $S_y = 260$ Mpa

Tensión de rotura $S_r = 485$ Mpa

Tensión admisible $S_m = 138,5$ Mpa

Según Table 5U de ASME Sección 2 Parte D, de la especificación de SFA 5.17 se muestra las características mecánicas como metal de aporte soldado resultantes de los ensayos de tracción.

Se muestra a continuación dicha tabla.

TABLE 5U
A5.17 TENSION TEST REQUIREMENTS

Flux-Electrode Classification ⁽¹⁾	Tensile Strength, psi	Yield Strength, ⁽²⁾ psi	Elongation, ⁽²⁾ %
F6XX-EXXX	60 000–80 000	48 000	22
F7XX-EXXX	70 000–95 000	58 000	22

NOTES:

(1) The letter "S" will appear after the "F" as part of the classification designation when the flux being classified is a crushed slag or a blend of crushed slag with unused (virgin) flux. The letter "C" will appear after the "E" as part of the classification designation when the electrode being classified is a composite electrode. The letter "X" used in various places in this table stands for, respectively, the condition of heat treatment, the toughness of the weld metal, and the classification of the electrode. See Figure 1U for a complete explanation of the classification designators.

(2) Minimum requirements. Yield strength at 0.2 percent offset and elongation in 2 in. gage length.

De la comparación vemos que resulta compatible el uso del fundente cuya clasificación es F7XX. Además según la especificación SFA 5.17, los test son requeridos sin PHWT y no se requiere impacto. Finalmente la clasificación del fundente seleccionado fue F7AZ
Clasificación del electrodo/fundente seleccionado fue:

F7AZ- EM12K

A continuación se determinó los N° F y N° A según los agrupamientos definidos en ASME Sección IX, Tabla QW-432 y Tabla QW-442. Estos agrupamientos tienen en cuenta la aplicación del electrodo y composición química del metal depositado. Resulta para la

Clasificación SFA-5.17 N°F 6 y N°A 1.

Las siguientes características se definieron en base a la Especificación ASME/AWS SFA 5.17, recomendaciones de fabricantes de consumibles (Indura, Esab) Anexo 4 y datos de la experiencia de constructores:

- Diámetro del alambre : **según las dimensiones de los biseles de las juntas el diámetro comercial seleccionado de alambre es 4 mm**
- Marca comercial del fundente seleccionado: para mantener la composición química de la soldadura inalterada, espesores > 25 mm y multipasadas se selecciona un **fundente aglomerado neutro de la firma Esab OK Flux 10.71**. Sus características se ven en Anexo 4.

- **Rango de espesores del metal depositado : < 13 mm**, la definición de otro rango para ser calificado según QW-451 excede el alcance de este informe.

Posición/es QW-405:

el proceso SAW está limitado a la posición de soldadura bajo mano, 1G y 2G

Pre calentamiento QW-406:

Como se conoce de la teoría, para evitar la fisuración en frío en la ejecución de soldaduras de acero al carbono se ejecuta pre calentamientos del metal base y entre pasadas. Existen numerosos métodos y tablas para estimar la temperatura de pre calentamiento y entre pasadas en las soldaduras de aceros de distintos tipos y composiciones. Estos métodos consideran algunos o todos los factores que influyen en la fisuración en frío: composición química del acero, difusión de Hidrógeno, calor aportado, espesor del metal base, tensiones residuales en la soldadura y nivel de restricción de la junta.

Para este informe se empleó el criterio del Código ANSI/AWS D1.1, aplicable para aceros al carbono y aceros aleados. A continuación se aplica este criterio mostrándolo paso a paso.

- Selección del método : Control de la dureza en la ZAC o Control del Hidrógeno en la junta. Se determina el Carbono y el carbono equivalente.

Carbono del acero SA 516 GR.70 : 0,28 % (Según ASME Sección 2 Parte A2, de la especificación de SA 516 donde se muestra la composición química). En la práctica la composición química del metal base debe tomarse del certificado de materiales emitido por la usina o fabricante del acero.

TABLE 1 Chemical Requirements

Elements	Composition, %			
	Grade 55 [Grade 380]	Grade 60 [Grade 415]	Grade 65 [Grade 450]	Grade 70 [Grade 485]
Carbon, max ^{A,B} :				
½ in. [12.5 mm] and under	0.18	0.21	0.24	0.27
Over ½ in. to 2 in. [12.5 to 50 mm], incl	0.20	0.23	0.26	0.28
Over 2 in. to 4 in. [50 to 100 mm], incl	0.22	0.25	0.28	0.30
Over 4 to 8 in. [100 to 200 mm], incl	0.24	0.27	0.29	0.31
Over 8 in. [200 mm]	0.26	0.27	0.29	0.31
Manganese ^B :				
½ in. [12.5 mm] and under:				
Heat analysis	0.60–0.90	0.60–0.90 ^C	0.85–1.20	0.85–1.20
Product analysis	0.55–0.98	0.55–0.98 ^C	0.79–1.30	0.79–1.30
Over ½ in. [12.5 mm]:				
Heat analysis	0.60–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20
Product analysis	0.55–1.30	0.79–1.30	0.79–1.30	0.79–1.30
Phosphorus, max ^A	0.025	0.025	0.025	0.025
Sulfur, max ^A	0.025	0.025	0.025	0.025
Silicon:				
Heat analysis	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40
Product analysis	0.13–0.45	0.13–0.45	0.13–0.45	0.13–0.45

^A Applies to both heat and product analyses.

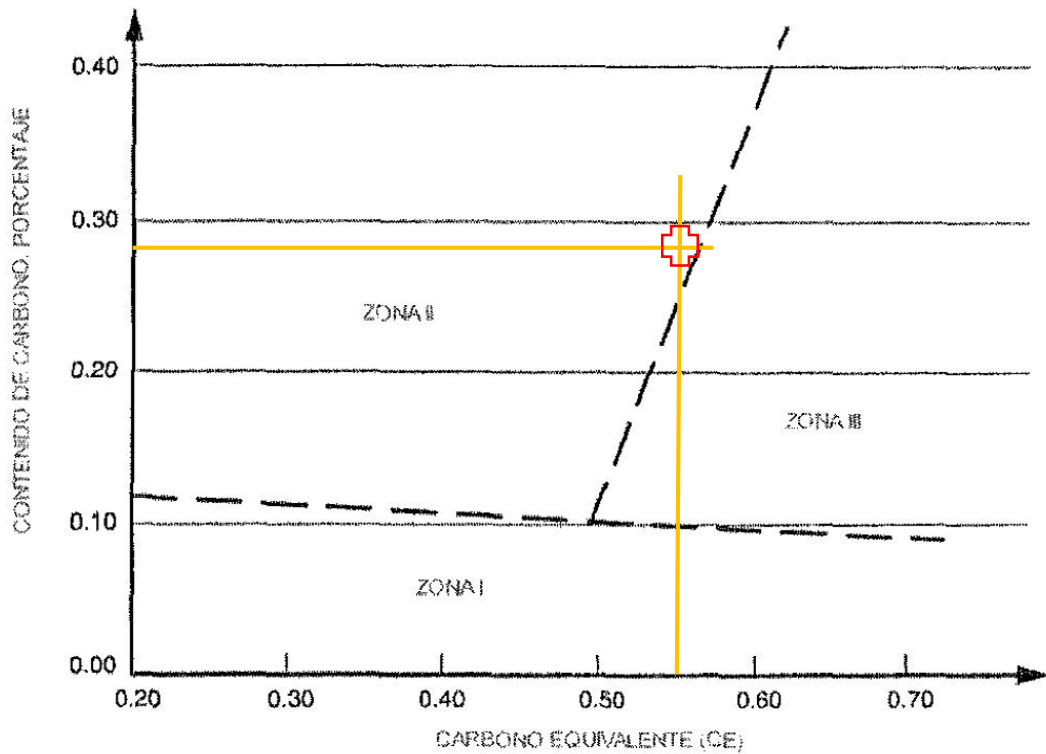
^B For each reduction of 0.01 percentage point below the specified maximum for carbon, an increase of 0.06 percentage point above the specified maximum for manganese is permitted, up to a maximum of 1.50 % by heat analysis and 1.60 % by product analysis.

^C Grade 60 plates ½ in. [12.5 mm] and under in thickness may have 0.85–1.20 % manganese on heat analysis, and 0.79–1.30 % manganese on product analysis.

Se determina el carbono equivalente según la fórmula del Instituto Internacional de Soldadura

$$CE = \% C + \frac{(\% Mn + \% Si)}{6} + \frac{(\% Cr + \% Mo + \% V)}{5} + \frac{(\% Cu + \% Ni)}{15} = 0.56$$

Con CE y C se ubica en el diagrama siguiente la posición del acero empleado



Como se observa el acero SA516 GR.70 pertenece a la Zona II. Donde puede aplicarse el método de control de dureza para soldaduras de filete. Para nuestro caso de juntas a tope empleamos el método de control de Hidrógeno aplicables también para aceros HSLA.

Aplicación del método de Control de Hidrógeno:

Se determina el valor del parámetro P_{cm}, Carbono Equivalente

$$P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} \cdot 5V$$

Para nuestro caso resulta

$$P_{cm} = 0,36$$

A continuación se determina el nivel de Hidrógeno Difusible del metal de aporte:

Según el criterio de ANSI/AWS D1.1, para proceso SAW con fundente seco corresponde al tipo H2.

H2: contenido máximo de 10ml/100 gr de metal depositado medido según ISO 3690-1976

A continuación se determina el índice de susceptibilidad de la tabla N°6 siguiente considerando el Carbono Equivalente P_{cm} y el nivel de Hidrógeno difusible. Resulta Índice de susceptibilidad F. Este índice podría ser E en función de la composición química indicada en el certificado de material del acero.

Tabla N°6

Agrupamiento del Índice de Susceptibilidad como Función del Nivel de Hidrógeno “H” y Parámetro de Composición (Carbono Equivalente) P_{cm}

Nivel de Hidrógeno, H	Agrupamiento por Índice de Susceptibilidad Carbono Equivalente = P _{cm}				
	<0.18	<0.23	<0.28	<0.33	<0.38
H1	A	B	C	D	E
H2	B	C	D	E	F
H3	C	D	E	F	G

Notas

$$1. P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{62} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

$$2. \text{Índice de susceptibilidad} = 12P_{cm} + \log_{10} H.$$

3. Las Agrupaciones de Índice de Susceptibilidad, desde A hasta G, abarcan el efecto combinado del parámetro de composición, P_{cm}, y nivel de hidrógeno, H, de acuerdo con las fórmulas mostradas en Nota 2.

Las cantidades numéricas exactas se obtienen de la Nota 2 usando los valores de P_{cm} establecidos y los siguientes valores de H, dado en ml/100g de metal de soldadura:

H1 = 5; H2 = 10; H3 = 30.

Por una conveniencia mayor, Los Agrupamientos de Índice de Susceptibilidad fueron expresados en la tabla por medio de letras, desde la A hasta G, para cubrir los siguientes rangos estrechos:

A = 3.0; B = 3.1-3.5; C = 3.6-4.0; D = 4.1-4.5; E = 4.6-5.0; F = 5.1-5.5; G = 5.6-7.0

Estos agrupamientos son usados en la Tabla -2 en conjunto con la restricción y el espesor para determinar la temperatura de precalentamiento y entre pasadas.

A continuación se determina el Nivel de Restricción de la junta en base al diseño de la junta y del recipiente. En forma conservativa se adopta un nivel de restricción medio.

Finalmente se determina la Mínima Temperatura de precalentamiento y entre pasadas según la tabla N°7 :

Tabla N°7

Temperaturas Mínimas de Precalentamiento y Entre Pasadas para Tres Niveles de Restricción

Nivel de Restricción	Espesor * mm	Temperatura Mínima de Precalentamiento y Entre Pasada (°C)						
		Agrupamiento del Índice de Susceptibilidad						
		A	B	C	D	E	F	G
Bajo	<10	<20	<20	<20	<20	60	140	159
	10-20	<20	<20	20	60	100	140	150
	20-38	<20	<20	20	80	110	140	150
	38-75	20	20	40	95	120	140	150
	>75	20	20	40	95	120	140	150
Medio	<10	<20	<20	<20	<20	70	140	160
	10-20	<20	<20	20	80	115	140	160
	20-38	20	20	75	110	140	150	160
	38-75	20	80	110	130	150	150	160
	>75	95	120	140	150	160	160	160
Alto	<10	<20	<20	20	40	110	159	160
	10-20	<20	20	65	105	140	160	160
	20-38	20	85	115	140	150	160	160
	38-75	115	130	150	150	160	160	160
	>75	115	130	150	150	160	160	160

*El espesor es aquel de la parte más gruesa a ser soldada.

Resulta:

Mínima temperatura de precalentamiento y entre pasadas : 150 °C

En el Apéndice R, Preheating de la Sección VIII del código ASME se sugiere que para Metales Base de N°P1 y Grupos 1,2 y 3; la temperatura mínima de precalentamiento y entre pasadas es de 79°C.

Tratamiento térmico Post Soldadura (PWHT) QW-407: según ASME Sección VIII no corresponde PWHT. El análisis de este ítem excede el alcance de este informe.

Gas QW-408: el proceso SAW no emplea gas de protección

Características eléctricas QW-409: estos datos fueron tomados de las recomendaciones del fabricante del alambre de aporte Esab y del Welding Handbook Vol. 2 Welding Processes.

- **Tipo de corriente:** Corriente continua DC para conseguir control de la penetración y forma del cordón.
- **Polaridad:** electrodo +, para para conseguir control de la penetración y forma del cordón.
- **Rango de corriente (A):** 500 – 600 A
- **Tensión (V):** 28 – 32 V
- **Calor aportado (J):** el diseño no especifica Test de Impacto, por lo tanto no se analiza esta variable

Técnica QW-410: estos parámetros no son variables esenciales por eso fueron analizados en forma general. También fueron tomados de recomendaciones de fabricantes de alambres de aporte (Esab e Indura), y del Welding Handbook Vol. 2 Welding Processes.

- **Cordón:** Rectilíneo
- **Limpieza inicial y entre pasadas:** Cepillado y/o amolado
- **Método de limpieza de raíz:** Amolado, repelado
- **Oscilación:** No
- **Distancia tubo de contacto – pieza:** 25 mm
- **Múltiple pasada o simple:** simple
- **Múltiple o simple electrodo:** simple (puede ser múltiple también)
- **Rango de velocidad de soldadura (mm/s):** 7 a 12

8.3.2.2 Variables del proceso de soldadura FCAW

Para determinar las variables de la pasada de raíz con proceso FCAW se siguieron los mismos pasos realizados para la definición de variables SAW. Se presentan dichas variables y su análisis en forma resumida.

Metal de relleno QW-404: algunos datos se tomaron de las recomendaciones del fabricante Anexo 5

Clasificación SFA-5.20 N°F 6 y N°A 1.

Clasificación electrodo/fundente: E71T-1C

Diámetro : 1,2 mm

Forma del producto: alambre tubular

Rango de espesores del metal depositado : < 13 mm

Posición/es QW-405: bajo mano, 1G y 2G

Pre calentamiento QW-406: 160 °C

Gas QW-408: CO₂

Composición: comercial

Respaldo: no

Caudal: 15 – 25 l/min

Características eléctricas QW-409:

- Tipo de corriente: Corriente continua DC
- Polaridad: electrodo +
- Rango de corriente (A): 180 – 230 A
- Tensión (V): 25 – 30 V
- Tipo de transferencia: globular

Técnica QW-410:

- Cordón: Rectilíneo
- Limpieza inicial y entre pasadas: Cepillado y/o amolado
- Método de limpieza de raíz: Amolado, repelado
- Distancia tubo de contacto – pieza: 20 - 25 mm
- Múltiple pasada o simple: simple
- Rango de velocidad de soldadura (mm/s): 2,5 a 4

8.3.3 Confección del EPS

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)			
(WPS - ASME IX / QW-482) - Hoja 1			
Trabajo integrador:	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GLP	Por:	Ing. Samudio A.J.
Especificación de procedimiento de soldadura N°:	001	Fecha:	nov-20
Soportado por RCP(PQR) No.(s)	XXX	Rev. No.:	0
Proceso (s) de soldadura:	SAW - FCAW	Tipo(s):	Automático Y Semiautomático
(Automático, manual, mecanizado o semiautomático)			
JUNTAS (QW-402)			
Diseño de junta: <u>a tope con bisel en V doble</u>			
Respaldo (SI) <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> (No)	<input type="checkbox"/> Metálico	<input type="checkbox"/> Metal No Fundible	
Material de respaldo (Tipo) <u>Material Base de soldadura</u> <small>(Especificar respaldo y presentadores)</small>	<input type="checkbox"/> No Metálico	<input checked="" type="checkbox"/> Otros	
Detalle:			
Diseño de junta:	Secuencia de soldadura:		
METAL BASE (QW-403)			
No.-P. <u>1</u>	Grupo No. <u>2</u>	a	No. P <u>1</u>
			Grupo No. <u>2</u>
Especificación tipo y grado	<u>ASTM A561 Gr 70</u>		
a Especificación tipo y grado	<u>ASTM A561 Gr 70</u>		
Análisis químico y propiedades mecánicas.	<u>N/A</u>		
a Análisis químico y propiedades mecánicas.	<u>N/A</u>		
Rango de espesores (mm):			
Metal base:	A tope: <u>15,8 - 25,4 mm</u>	Filete:	<u>N/A</u>
Rango de diámetros (mm):	A tope: <u>N/A</u>	Filete:	<u>N/A</u>
Otros:			
METAL DE APORTE (QW-404)(*)			
Espec. No. (AWS/SFA)	<u>5.20</u>	<u>5.17</u>	
AWS No. (Clasificación)	<u>E71T-1C</u>	<u>F7AZ-EM12K</u>	
F-No.	<u>6</u>	<u>6</u>	
A-No.	<u>1</u>	<u>1</u>	
Diámetro del metal de aporte (mm)	<u>1,2</u>	<u>4</u>	
Forma del Metal de aporte	<u>Alambre tubular</u>	<u>Alambre macizo</u>	
Rango de espesores (mm)			
A tope:	<u>< 13 mm</u>	<u>< 13 mm</u>	
Filete:	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>	
Electrodo-Fundente (Clase)	<u>N/A</u>	<u>Aglomerado Neutro</u>	
Marca de Fundente	<u>N/A</u>	<u>Esab 10.71</u>	
Inserto consumible	<u>No</u>	<u>No</u>	
Otros			
(*) Cada combinación metal base-material de aporte debe registrarse individualmente.			

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)								
(WPS - ASME IX / QW-482) - Hoja 1								
Trabajo integrador:		TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GLP			Por:		Ing. Samudio A.J.	
Especificación de procedimiento de soldadura N°:		001			Fecha:		nov-20	
Soportado por RCP(PQR) No.(s)		XXX		Rev. No.:		0		
Proceso (s) de soldadura:		SAW - FCAW		Tipo(s):		Automático Y Semiautomático		
<small>(Automático, manual, mecanizado o semiautomático)</small>								
POSICION(ES) (QW-405)				TRATAMIENTO TERMICO POST SOLD.(QW-407)				
Posición (es) de bisel: <u>Bajo Mano</u>				NO REQUIERE				
Progresión: <u>Ascendente / Descendente</u>				Temp. Rango (°C):		N/A		
Posición (es) del Filete <u>N/A</u>				Rango de tiempo (s):		N/A		
PRECALENTAMIENTO (QW-406)				GAS (QW-408)				
Temperatura de Pre calentamiento Minima: <u>160°C</u>				Composición porcentual				
Temperatura entre pasadas Maximias: <u>FCAW 250°C / SAW 300 °C</u>				Gas(es)		Mezcla(%)		
Mantenimiento Pre calentamiento: <u>N/A</u>				Protección		Caudal (l/m)		
				CO ₂ - FCAW		Comercial		
				Barrido		15 a 25		
				No		-		
				Respaldo		-		
				No		-		
CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)				FCAW		SAW		
Tipo de Corriente (AC o DC)				DC		DC		
Polaridad				Positiva (+)		Positiva (+)		
Rango de Corriente (A)				180 - 230		500 - 600		
Tensión (V)				25 - 30		28 - 32		
Diámetro y tipo del electrodo de tungsteno (mm)				N/A		N/A		
Modo de transferencia GMAW				N/A		N/A		
Rango de velocidad de alimentación del alambre (mm/s)				N/A		N/A		
TECNICAS (QW-410)				FCAW		SAW		
Cordon Rectilineo u oscilante				Rectilíneo		Rectilíneo		
Diámetro y tamaño de la buza (mm)				N/A		N/A		
Limpieza entre pasadas (Cepillado, Amolado, etc.)				Cepillado y/o Amolado		Cepillado y/o Amolado		
Método de repelado				Amolado		Amolado		
Oscilación				N/A		No		
Distancia del tubo de contacto a la pieza (mm)				20 - 25		25 - 30		
Múltiple pasada o simple (por lado)				Múltiple		Múltiple		
Múltiple o Simple electrodo				N/A		Simple		
Veloc. de sold. Rango (mm/s)				2,5 a 4		7 a 12		
Martillado				No		No		
Otros								
Pasada(s)	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Tensión Rango(V)	Veloc. de Sold. (mm/s)	Otros
		Clasificación	Diám. (mm)	Tipo -Polaridad	Rango (A)			
1er pasada Raíz	FCAW	E71T-1C	1,2	DC - E(+)	180 - 230	25 - 30	2,5 - 4	
Pasada 2 a n - 1er relleno	SAW	F7AZ-EM12K	4	DC - E(+)	500 - 600	28 - 32	7 a 12	
Pasada 2 a n - 2do relleno	SAW	F7AZ-EM12K	4	DC - E(+)	500 - 600	28 - 32	7 a 12	

8.3.4 Conclusiones y oportunidades de mejora en el procedimiento.

La elección de los procesos automáticos y semiautomáticos FCAW para raíz y SAW para rellenos, se realizó con el criterio de obtener integridad mecánica de las uniones soldadas para la aplicación de diseño y operativa del recipiente a presión; y conseguir altas tasas de metal depositado para reducir el tiempo de construcción. El impacto en el costo de construcción se tuvo en cuenta en la selección de los procesos y en la elección óptima de consumibles y sus parámetros de operación. Se mencionaron alternativas de consumibles y parámetros operativos.

El EPS cumple con los requerimientos de la Sección IX del Código ASME.

Como oportunidad de mejora a este informe se sugiere el desarrollo del Registro de Calificación del Procedimiento de soldadura RCS (PQR en inglés).

9.- Evaluación de la aptitud para el servicio del Tanque GLP

Se propone la evaluación de la aptitud para el servicio del tanque GLP dado que presenta una fisura. La fisura es no pasante ubicada sobre la superficie (Top) de una virola del tanque. La ubicación propuesta de la fisura es cercana a la ZAC de una junta soldada longitudinal virola – virola, en la zona próxima a una de las cunas de apoyo del tanque. Fig. 20

La evaluación se realizó según los lineamientos de la práctica recomendada de Aptitud para el Servicio API579-1/ASME FFS-1, Junio 2016; Nivel I.

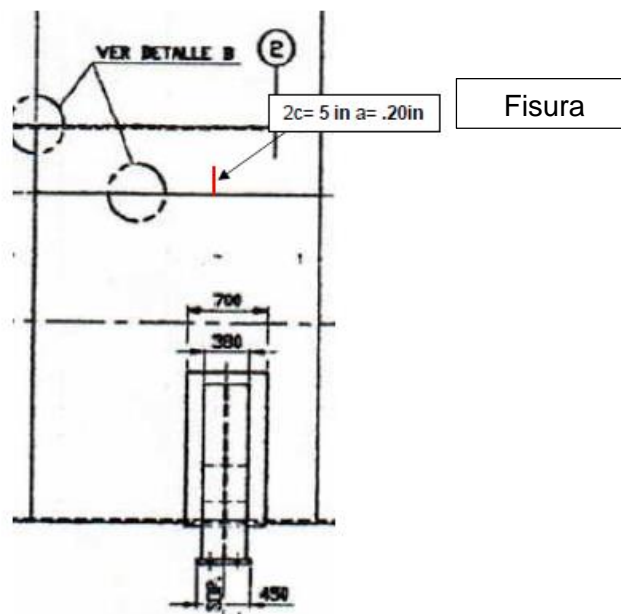
Según la Parte 2 de API 579 los pasos a seguir son :

9.1 Paso I: Identificación del mecanismo de daño y de la falla.

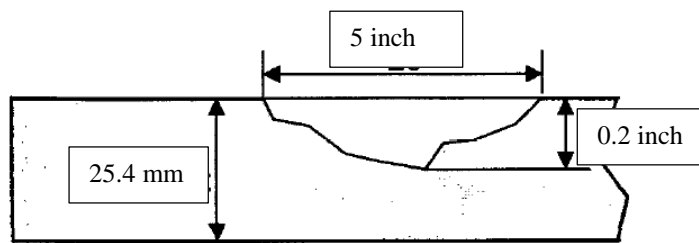
- Ubicación y orientación: según esquema A
- Forma: no pasante, esquema B
- Dimensiones: según, esquema B
- Documentación disponible: planos de construcción y datos de diseño y operación.

Anexo 1

- Mecanismo de daño probable: de acuerdo a los datos disponibles se propone asumir que el mecanismo de daño es SCC, Stress Corrosion Cracking.
- Método de detección/medición: Inspección visual y END
- Observaciones: se realizó PWHT a las uniones soldadas



Esquema A, Ubicación y orientación de fisura



Esquema B, Dimensiones de la fisura

9.2 Paso II: Análisis de la aplicabilidad y limitaciones del procedimiento de evaluación FFS. Se verificó el cumplimiento de los requerimientos 9.2.1 y 9.2.2 de API 579 en lo concerniente a la Evaluación Nivel I, como se muestra a continuación:

- a) El tanque GLP fue diseñado y construido según un código reconocido ASME Sección VIII, División I.
- b) El componente no opera en régimen de creep. Tabla 4.1. UTS : 483 MPA, Temperatura límite: 371°C. Como dato se cuenta con la temperatura de diseño 66°C.

Table 4.1 – Temperature Limit Used To Define The Creep Range

Material	Temperature Limit
Carbon Steel ($UTS \leq 414MPa$ (60 ksi))	343°C (650°F)
Carbon Steel ($UTS > 414MPa$ (60 ksi))	371°C (700°F)

- c) Cargas dinámicas no significativas: zona sísmica 0 y el tanque es de almacenamiento por lo cual las cargas dinámicas de proceso son nulas
- d) Se asume que la fisura no está sujeta a condiciones de carga y/o ambiente que resulten en crecimiento de la misma.
- e) Para la aplicación del Nivel 1 de evaluación se requiere el cumplimiento de las siguientes condiciones adicionales:

Limitaciones referentes a la geometría del componente y de la fisura:

- i) El componente es un cilindro.
- ii) Para el caso de cilindros debe ser $R/t \geq 5$, donde R es el radio interior y t el espesor actual del componente. Para nuestro caso $R/t = [(3375/2) - 25,4 - 1,27] / (25,4 - 1,27) = 70$
- iii) El espesor actual del componente en la región que contiene la fisura es menor que 38 mm (1.5"). Para nuestro caso $t = 25,4 - 1,27 = 24,13$ mm
- iv) La geometría de la fisura es superficial. La longitud de la fisura es menor a 200 mm.
- v) La fisura se encuentra orientada circunferencialmente y está localizada a una distancia mayor o igual a $1,8 \sqrt{Dt}$ de la ubicación de la cuna soporte del tanque. Para nuestro caso $1,8 \sqrt{[3375 + (2 \times 1,27)] \times (25,4 - 1,27)} = 513$ mm. Se asume que la fisura se encuentra a más de 513 mm

Limitaciones referentes a las cargas:

i) Estado de carga: peso propio + peso del fluido GLP (presión hidrostática). Debido a este estado de carga sobre el componente, en la zona de la fisura, se genera sólo un campo de tensiones de membrana.

ii) Las tensiones de membrana del componente durante la operación se encuentran dentro de los límites establecidos por el código de construcción original. Para nuestro caso en el ítem 6 de este informe integrador se puede conocer el valor de la tensión membranal en la zona de la fisura:

Tensión admisible $S_m = 138,5$ Mpa según ASME Sección VIII División I

Tensión circunferencial en la zona de la fisura $S \cong 10$ Mpa

iii) El recipiente no será sometido a Prueba Hidráulica

iv) La geometría de la junta soldada es tipo X. No se evalúan las tensiones residuales ya que la fisura se encuentra fuera de la soldadura.

Limitaciones referentes al material:

i) El material de ser acero al carbono (P1, Grupos 1 ó 2) con $S_{adm} <$ menor que 172 MPa (25 ksi). Para nuestro caso el material es SA 516 GR.70 P1, group 2, $S_{adm} = 138,5$ Mpa.

ii) La tensión de fluencia mínima especificada S_y para el material base debe ser menor o igual a 276 MPa (40 ksi), la resistencia a la tracción mínima especificada S_r debe ser menor o igual a 483 MPa (70 ksi) y las soldaduras fueron realizadas con consumibles compatibles con el material base. Para nuestro caso $S_y = 260$ Mpa y $S_r = 483$ Mpa. Los consumibles empleados se seleccionaron según procedimientos de soldaduras calificados por ASME Sección IX.

iii) Se propone que no hubo degradación de la tenacidad a la fractura del material, siendo el material acero al carbono de baja aleación. Por lo tanto se supone que la tenacidad del material es mayor que K_{Ic} .

9.3 Paso III: Información requerida.

Para el presente trabajo se plantearon supuestos necesarios de información disponible que cumplen con la información requerida para evaluación Nivel I. Dicha información requerida según 9.3.1.1 es:

- a) Datos de diseño original del equipo
- b) Historial de operación y mantenimiento del equipo
- c) Temperatura de referencia del material del equipos
- d) Caracterización de la fisura

Con la información se completó el Datasheet propuesto por API 579, Tabla 9.1, siguiendo los lineamientos de 9.3.2 a 9.3.7

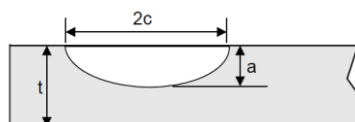
Table 9.1
Data Required for the Assessment of a Crack-Like Flaw

A summary of the data that should be obtained from a field inspection is provided on this form.	
Equipment Identification:	Tanque Almacenamiento de GLP – 227 m ³
Equipment Type:	<input checked="" type="checkbox"/> Pressure Vessel <input type="checkbox"/> Storage Tank <input type="checkbox"/> Piping Component
Component Type & Location:	Virola Cilíndrica. Ubicación próxima a ZAC de unión soldada longitudinal, s/ Fig.20
Data Required for Level 1:	
Assessment Temperature (typically the minimum temperature at full pressure):	20 °C. Nota: 1
Assessment Pressure:	17,25 kg/cm ² . Nota: 2
Location of Flaw (<i>Base Metal, Weld Metal or HAZ</i>):	MB
Surface Location (<i>ID, OD or Through-wall</i>):	OD (OD= 3425,8 mm)
Flaw Type (<i>Surface or Embedded</i>):	Superficie externa
Flaw Orientation To Weld Seam (<i>Parallel or Perpendicular</i>):	Perpendicular
Flaw Depth and Length (<i>a and 2c</i>):	a= 0,2 inch 2c= 5 inch Nota: 3
Flaw Depth Below Surface (<i>d – Embedded Flaw</i>):	NO
Axial or Circumferential Crack :	Circunferencial
Post Weld Heat Treated (<i>PWHT</i>):	SI
Design Code:	ASME Sección VIII. División I
Base Material Specification:	SA 516 GR.70
Weld Material Specification:	SFA 5.17, 5.20
Wall Thickness:	25,4 mm
MAWP:	14,22 kg/cm ²
Process Environment:	Medio ambiente : atmósfera
Design Pressure & Temperature:	17,25 kg/cm ² & 66°C
Cyclic Loading Conditions:	NO
Inspection Method – Flaw Length:	PT
Inspection Method – Flaw Depth:	UT
Inspection Method – Flaw Depth Below Surface:	NO

Nota 1: Se propuso una temperatura de evaluación de 20°C.

Nota 2: Se propuso como presión de evaluación la presión de diseño.

Nota 3: para la evaluación se adoptó la forma de la figura propuesta en la Fig. 9.1 de API 579
La orientación del largo de la fisura es perpendicular a la dirección de la máxima tensión de tracción principal. La dimensión de la profundidad de la fisura se considera perpendicular a la superficie de la virola. Las dimensiones de largo y profundidad de fisura se obtuvieron por mediciones NDE.



9.4 Paso IV: Técnica de evaluación y criterios de aceptación.

Se asume que la fisura no puede ser removida por amolado. De acuerdo a las limitaciones ya descritas, la información disponible y al alcance de la Evaluación Nivel 1 detallada en 9.4.4.1 a), se procedió a realizar la evaluación de Nivel 1.

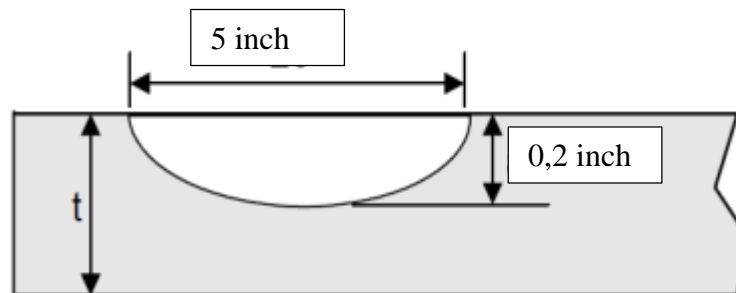
El procedimiento de evaluación consiste en los siguientes pasos:

- Paso 1: Determinación de cargas y temperaturas a ser utilizadas en la evaluación. Las temperaturas de evaluación serán las CET definidas en la Sección 3, siendo la CET la Temperatura de exposición crítica del equipo. CET: la menor temperatura del metal

debido a las condiciones ambientales atmosféricas u operativas a la máxima combinación coincidente creíble de presión y cargas suplementarias que resultan en tensiones primarias mayores que 55 MPa.

Para nuestro caso tomamos la temperatura ambiente
 CET = 20°C (68 °F)

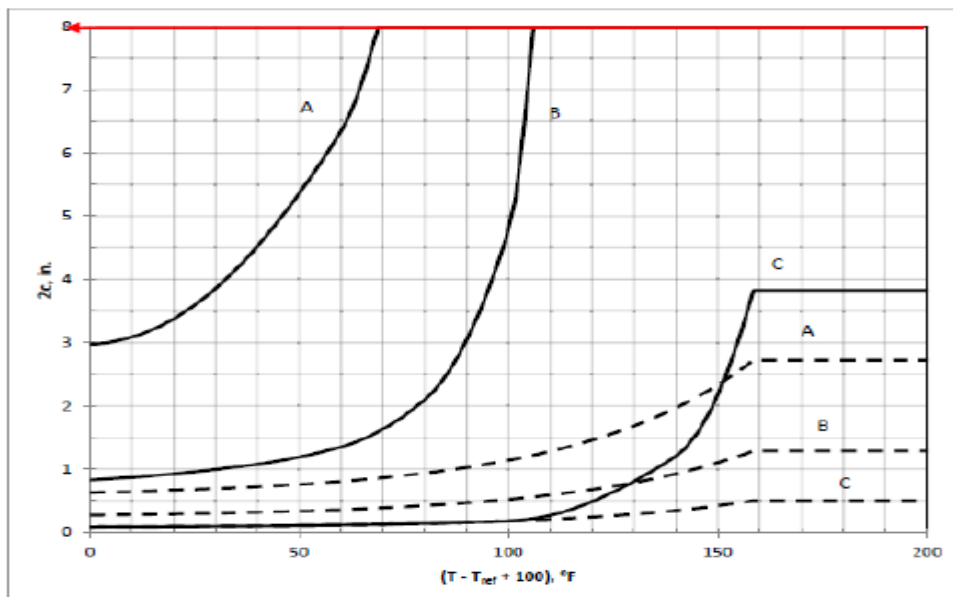
- Paso 2: Caracterización de la fisura según 9.3.6



- Paso 3: seleccionar la Figura a utilizar para la evaluación del componente según su geometría y la orientación de la discontinuidad con respecto a la soldadura.

Para nuestro caso corresponde la figura de API 579 “Cylinder, Circumferential Joint, Crack-Like Flaw Parallel To Joint”

API 579-1/ASME FFS-1 2016 Fitness-For-Service



Note :

- Definition of Screening Curve (solid line 1/4-t flaw, dashed line 1-t flaw):
 - A Allowable flaw size in base metal.
 - B Allowable flaw size in weld metal that has been subjected to PWHT.
 - C Allowable flaw size in weld metal that has not been subjected to PWHT.
- Crack dimension for a 1-t and 1/4-t flaw as shown in [Annex 9B, Figure 9B.12 & 9B.16](#).
- See [paragraph 9.2.2.1](#) for restriction and limitation.
- Guideline for establishing the Reference Temperature T_{ref} , as discussed in [paragraph 9.4.2.2.e](#).
- The maximum permitted flaw length from this curve is $z_c = 8 \text{ in.}$

- Paso 4: determinar la Curva de Evaluación (Screening Curve) correspondiente a la Figura seleccionada en el paso anterior. Para nuestro caso se tienen las siguientes condiciones
 - Fisura próxima a soldadura con PWHT Curva B
 - Para la determinación de la profundidad c se empleó NDE..... Curva 1/4-t
 - Para $t \leq 1$ inch resulta $a < t/4$ Curva 1/4-t

- Paso 5: determinar la temperatura de referencia T_{ref} .

De tabla 3.2 se selecciona la curva correspondiente

**Table 3.2
Assignment Of Materials To The Material Temperature Exemption Curves In Figure 3.4**

Curve	Material (1), (2), (6)
A	1. All carbon and all low alloy steel plates, structural shapes and bars not listed in Curves B, C, and D below. 2. SA-216 Grades WCB and WCC if normalized and tempered or water-quenched and tempered; SA -217 Grade WC6 if normalized and tempered or water-quenched and tempered 3. The following specifications for obsolete materials: A7, A10, A30, A70, A113, A149, A150 (3). 4. The following specifications for obsolete materials from the 1934 edition of the ASME Code, Section VIII: S1, S2, S25, S26, and S27 (4). 5. A201 and A212 unless it can be established that the steel was produced by a fine-grain practice (5)
B	1. SA-216 Grades WCA if normalized and tempered or water-quenched and tempered SA-216 Grades WCB and WCC for thicknesses not exceeding 2 inches if produced to a fine grain practice and water-quenched and tempered SA -217 Grade WC9 if normalized and tempered SA-285 Grades A and B SA-414 Grade A SA-442 Grade 55 > 1 in. if not to fine grain practice and normalized SA-442 Grade 60 if not to fine grain practice and normalized SA-515 Grades 55 and 60 SA-516 Grades 65 and 70 if not normalized SA-612 if not normalized SA-662 Grade B if not normalized

Corresponde curva B

Con el dato de Curva de exención (B) y el $S_y = 260$ Mpa, ingresamos a la tabla 9.2 y se determina la T_{ref}

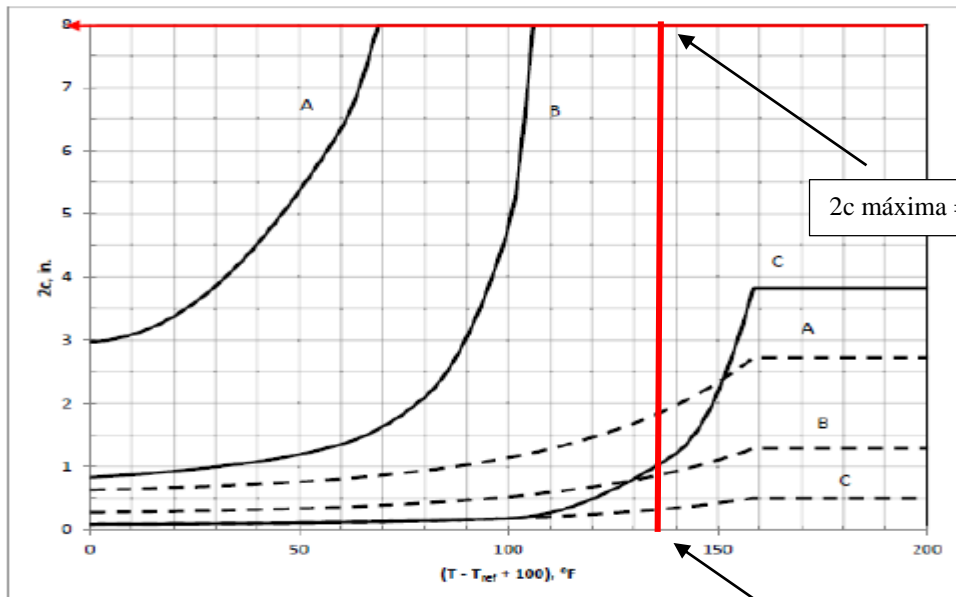
Table 9.2M – Reference Temperature for Use in a Level 1 Assessment

MYS (MPa)	ASME Exemption Curve			
	A (°C)	B (°C)	C (°C)	D (°C)
200	33	12	-10	-24
210	30	9	-12	-26
220	28	7	-14	-28
230	26	5	-16	-30
240	25	3	-18	-32
260	21	0	-21	-35
280	19	-2	-23	-38
300	16	-5	-26	-40
320	14	-7	-28	-42
340	12	-9	-30	-44
360	11	-10	-31	-46

$T_{ref} = 0^\circ\text{C}$

- Paso 6: determinar la máxima longitud admisible de la fisura

Con los datos de CET (68°F) , T_{ref} (32 °F) y curva B 1/4t de la figura del paso 3, se determina $2c$ máxima.



Note :

1. Definition of Screening Curve (solid line ¼-t flaw, dashed line 1-t flaw):
 - A Allowable flaw size in base metal.
 - B Allowable flaw size in weld metal that has been subjected to PWHT.
 - C Allowable flaw size in weld metal that has not been subjected to PWHT.
2. Crack dimension for a 1-t and ¼-t flaw are shown in [Annex 9B, Figure 9B.12 & 9B.16](#).
3. See [paragraph 9.2.2.1](#) for restriction and limitation.
4. Guideline for establishing the Reference Temperature T_{ref} , are given in [paragraph 9.4.2.2.e](#).
5. The maximum permitted flaw length from this curve is $2c = 8$ in.

2c máximo = 8 inch

➤ Paso 7: evaluación del resultado.

Como $2c_{máxima} > 2c_{medida}$ ➡ EQUIPO APTO PARA OPERACIÓN FUTURA

9.5 Paso V: Evaluación de vida remanente.

No se realizó esta evaluación por exceder el alcance del presente informe

9.6 Paso VI: Remediación

No se realizó este análisis por exceder el alcance del presente informe

9.7 Paso VII: Monitoreo en servicio

No se analizó la posibilidad del monitoreo en servicio del crecimiento de la fisura por exceder el alcance del presente informe

9.8 Paso VIII: Documentación

Se debe documentar y archivar la evaluación realizada y los documentos empleados (Datasheet's, planos de fabricación, etc.), con los documentos del equipo para futuras evaluaciones.

9.9 Conclusiones y oportunidades de mejoras de la evaluación

La evaluación nivel 1 realizada permite afirmar que el equipo es apto para continuar en servicio en las condiciones operativas consideradas en el procedimiento de evaluación.

Como oportunidad de mejora se sugiere el desarrollo de la evaluación de la vida remanente del equipos para determinar los intervalos de inspección (en servicio o fuera de servicio) y el método de inspección/medición. Es posible también evaluar un método de remediación.

10.- Conclusiones finales

Al realizar la verificación estructural del tanque GLP en la zona de los cuernos de la cuna por los métodos de cálculo propuestos, los resultados obtenidos con el Método de FEA presentan aproximación a los encontrados por el método de L. S. Ong, y divergencia respecto de los de Zick. Dicha situación es más notoria cuanto más rígida es la cuna soporte. Se aprecia una aproximación de los valores del orden del 30% dependiendo de la rigidez de la cuna. Es decir modificando el grado de rigidez de la cuna, se modifica el estado tensional del recipiente en el borde con el extremo de la cuna. Comparando los resultados conseguidos por FEA y por L.S.Ong, se diferencian los resultados del método de Zick, en una dos veces. Siempre las tensiones calculadas por FEA y L.S.Ong resultaron superiores a las calculadas por Zick lo cual indica la necesidad de rever o limitar el procedimiento de Zick cuando se aplique para el diseño. Como oportunidad de mejora a la presente memoria de cálculo se puede proponer: mejorar la calidad de mallado por aumento de la cantidad de elementos y nodos; y evaluar el efecto de la tensiones de origen térmico generado por las soldaduras en las zona de los cuernos.

En lo que respecto a la ejecución de la soldadura, el EPS desarrollado cumple con los requerimientos de las Sección IX del Código ASME. Como oportunidad de mejora al informe se sugiere el desarrollo del Registro de Calificación del Procedimiento de soldadura RCS.

Por último, con respecto a la evaluación nivel 1 realizada a la fisura propuesta, permite afirmar que el equipo es apto para continuar en servicio en las condiciones operativas consideradas en el procedimiento de evaluación. Como oportunidad de mejora se sugiere el desarrollo de la evaluación de la vida remanente del equipo para determinar los intervalos de inspección (en servicio o fuera de servicio) y el método de inspección/medición.

11.- Figuras

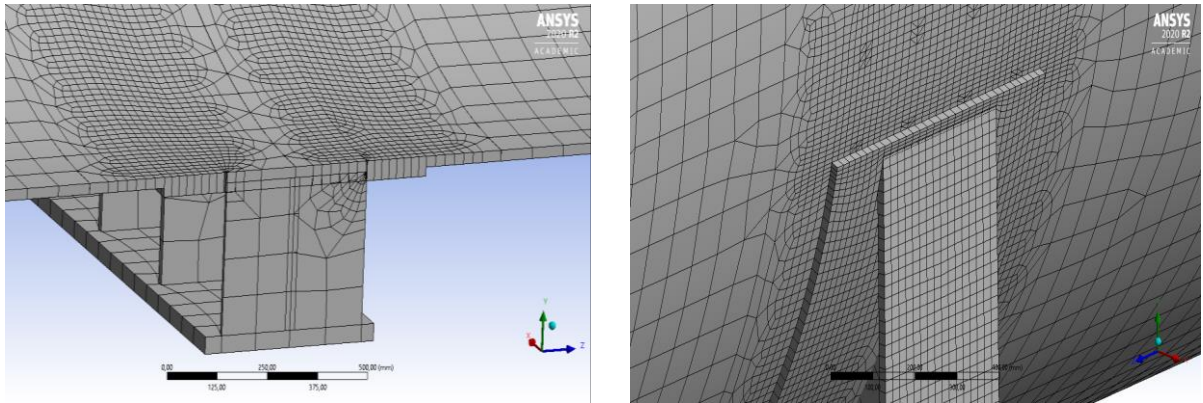


Figura 1- Orientación de espesores

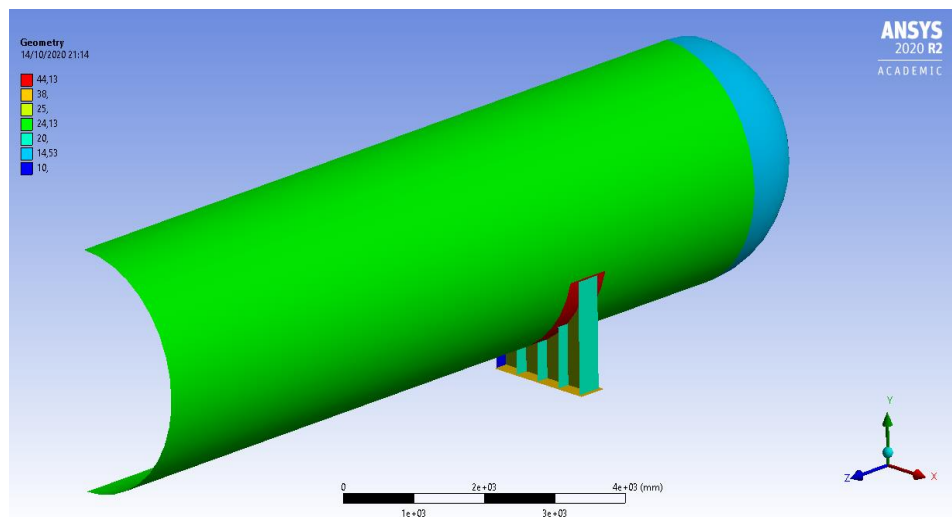


Figura 2- Espesores

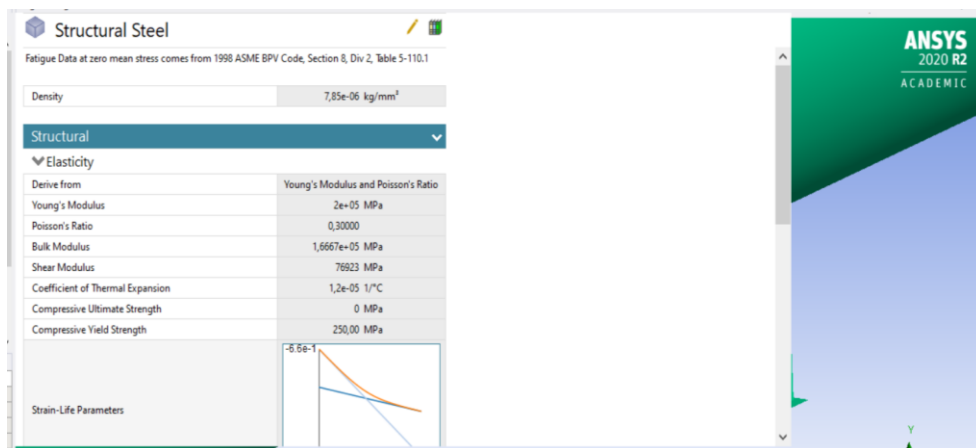


Figura 3- Materiales

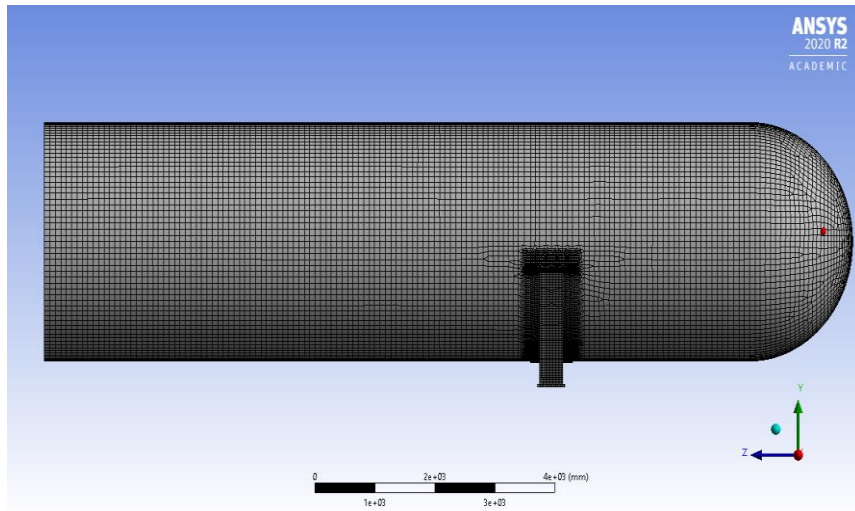


Figura 4 – Mallado Global

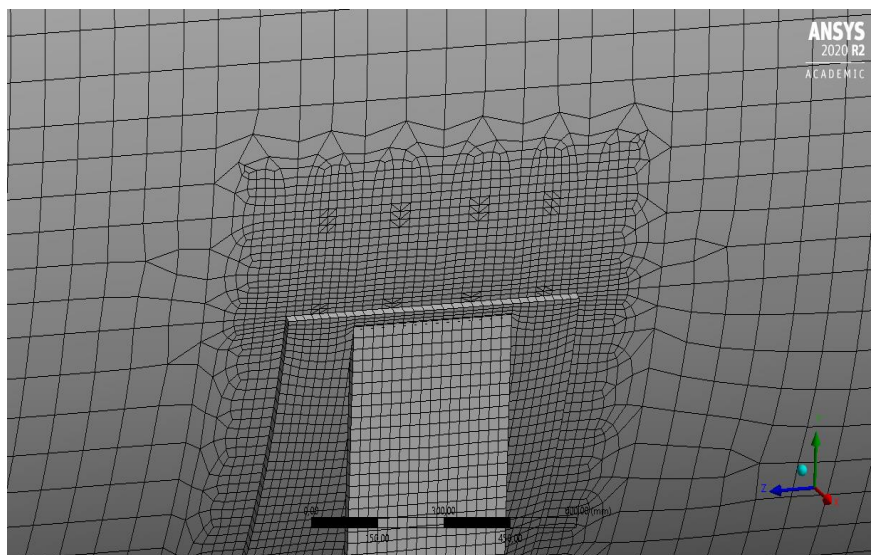


Figura 5 –Mallado Localizado

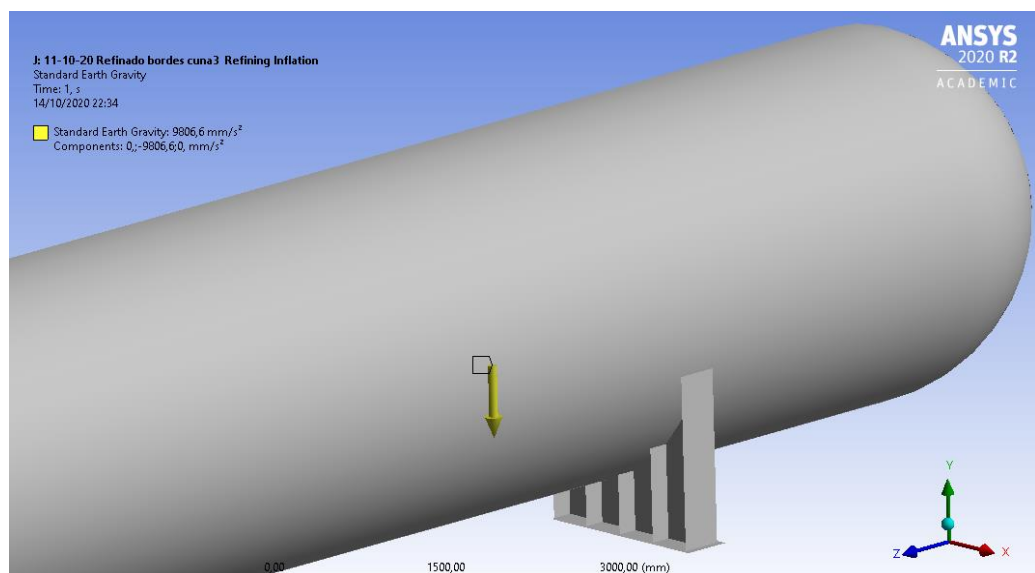


Figura 6 – Peso Propio

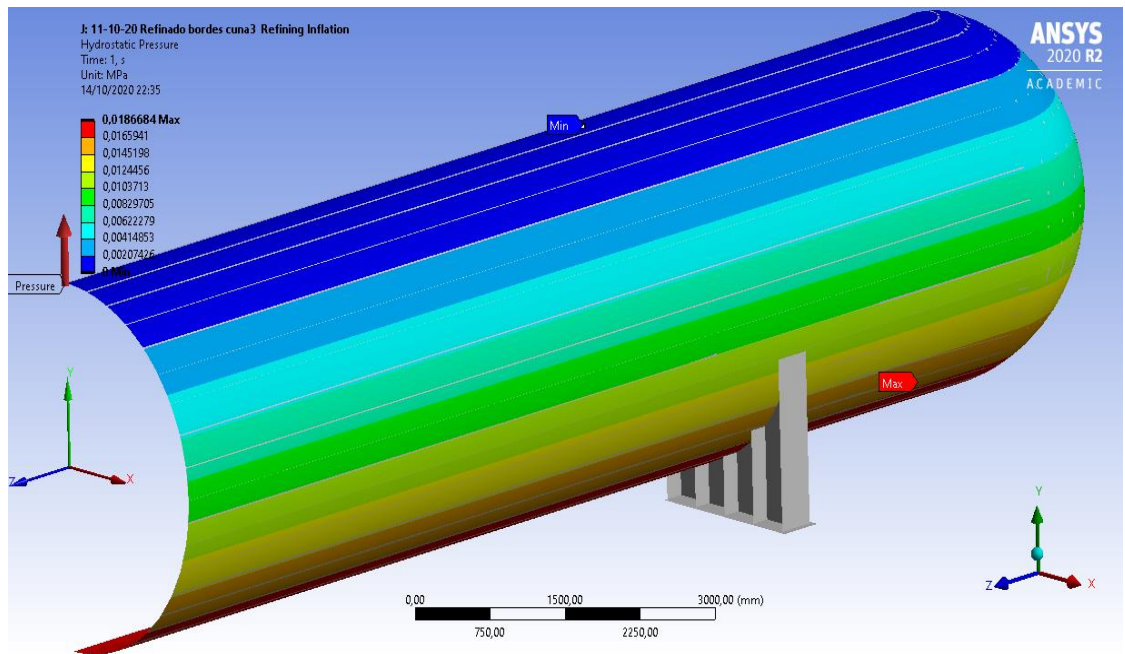


Figura 7 – Presión hidrostática

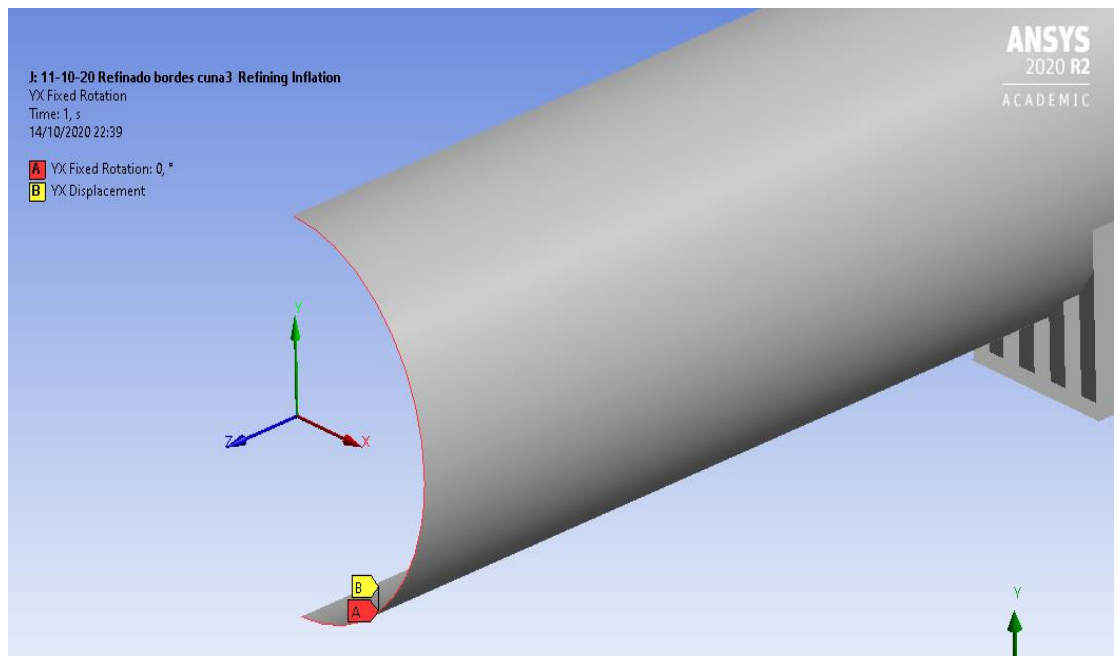


Figura 8 – Condiciones de simetría en Plano YX

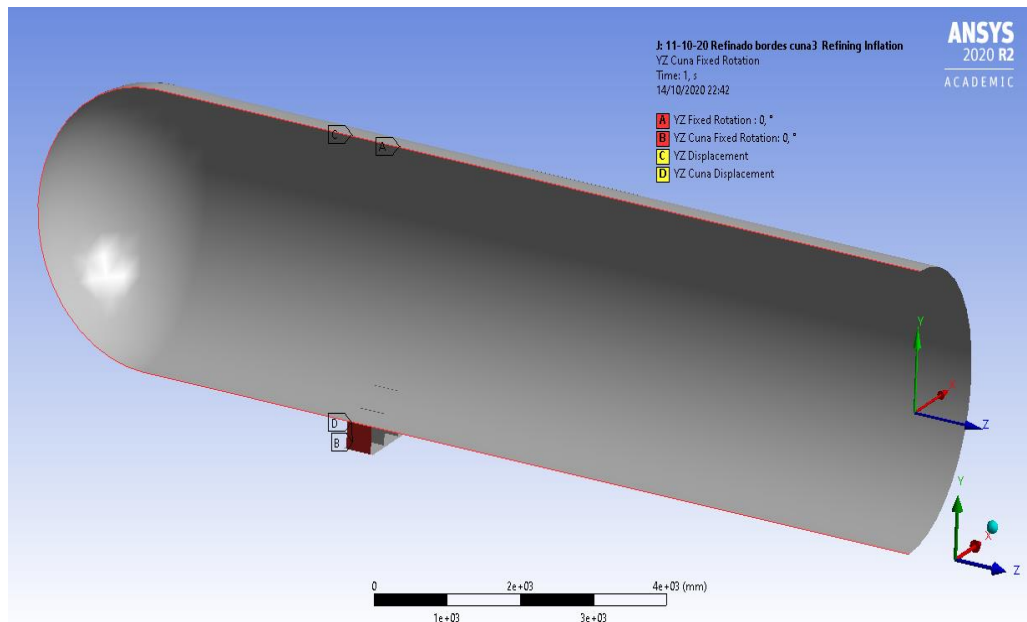


Figura 9 – Condiciones de simetría en Plano YZ

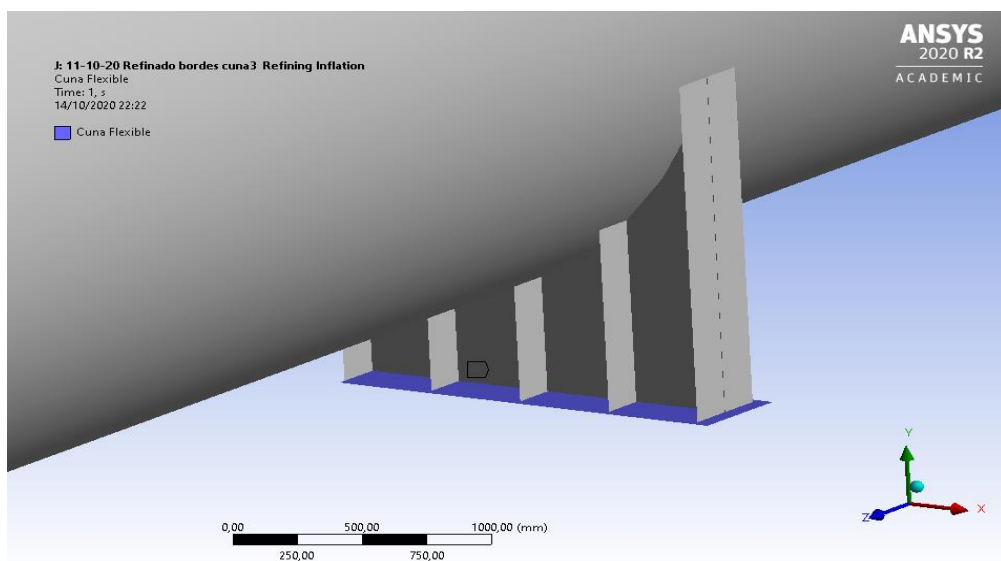


Figura 10 – Condición Cuna elástica

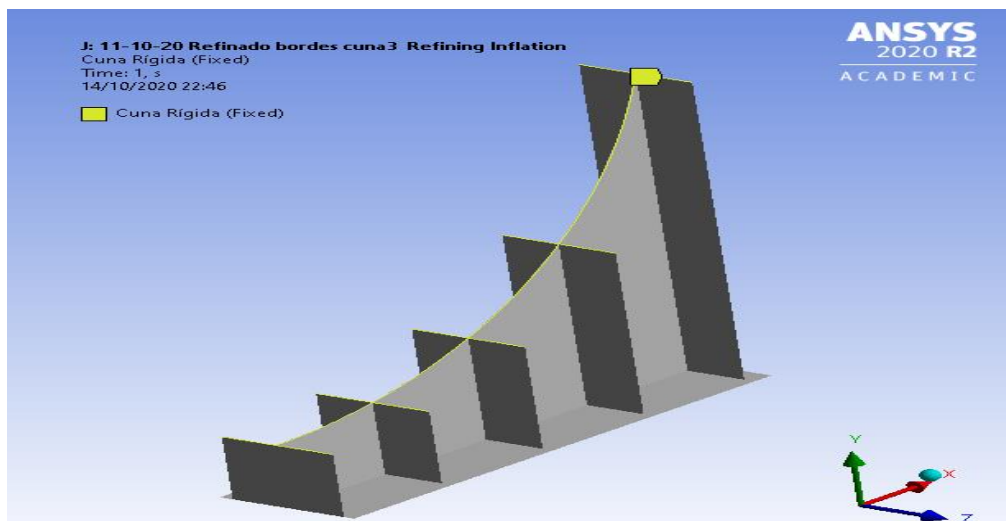


Figura 11 – Condición Cuna rígida

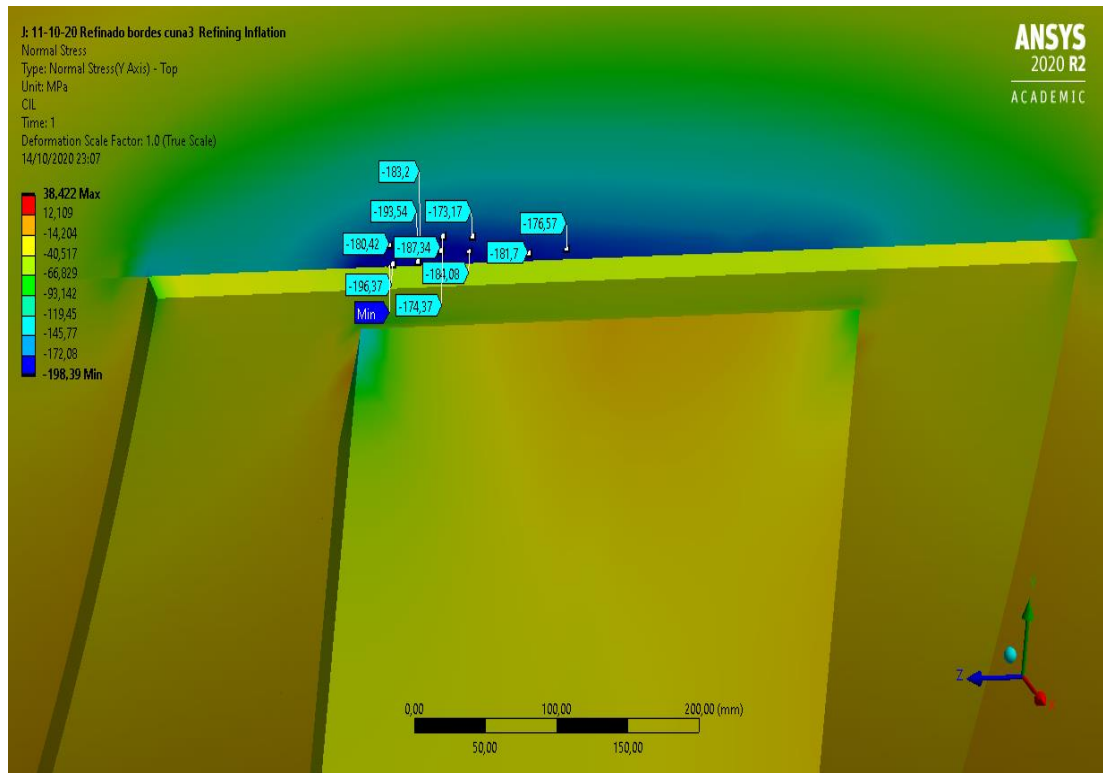
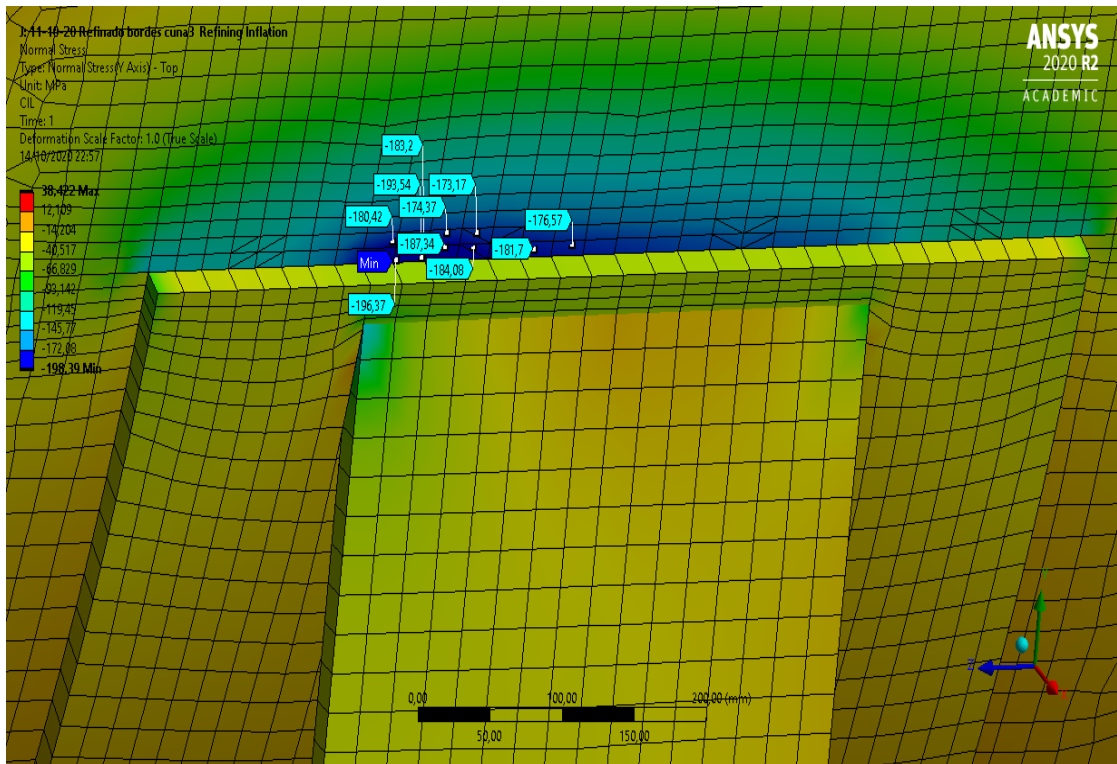


Figura 12 – Tensiones circunferenciales Top cuna elástica

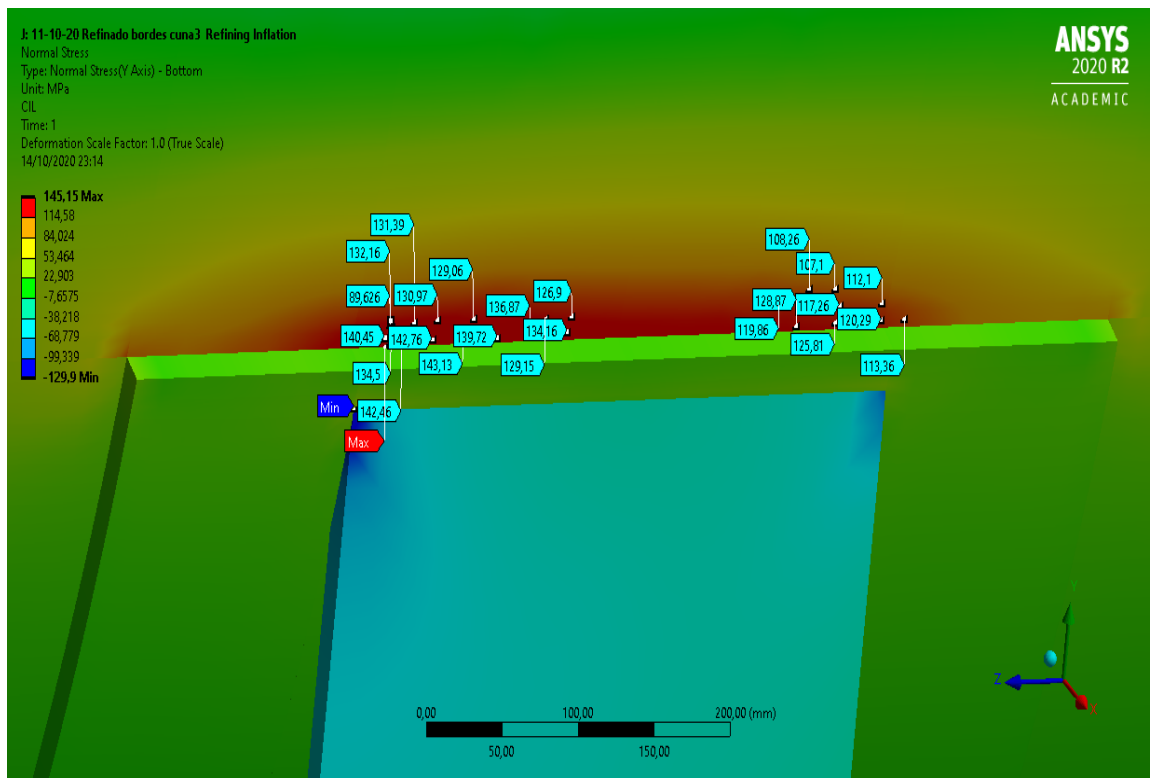
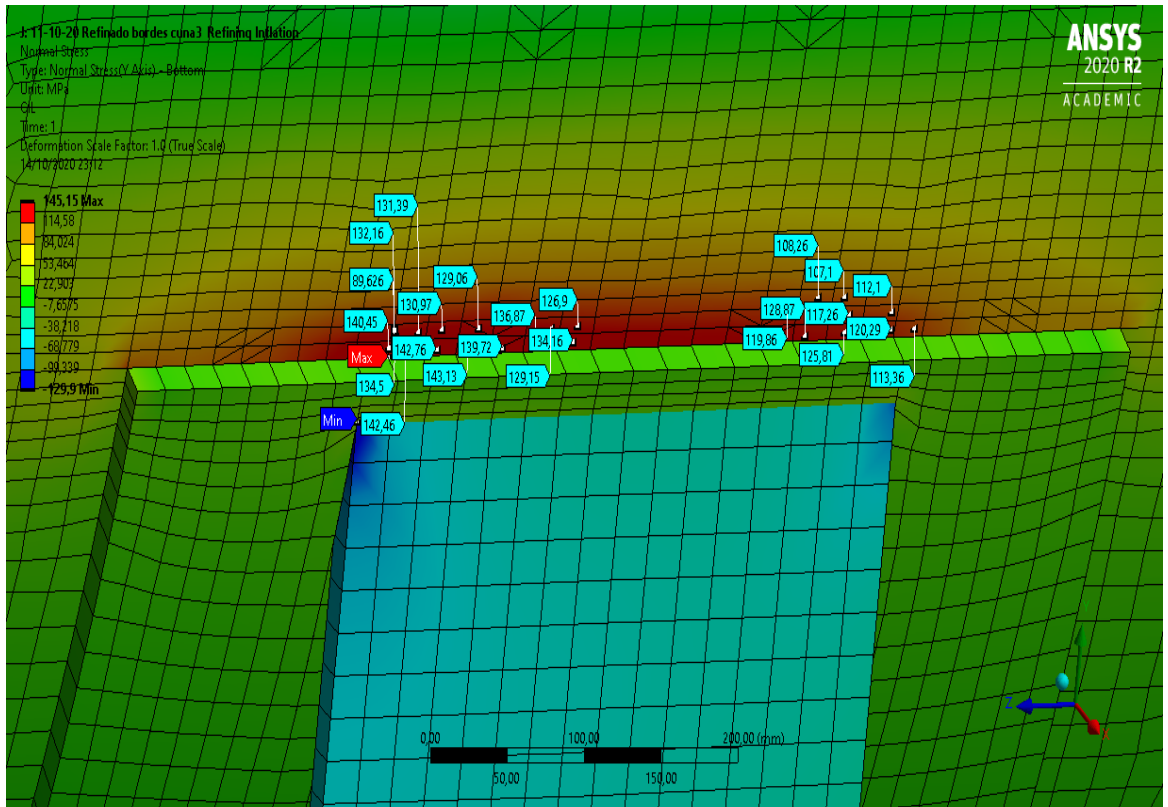


Figura 13 – Tensiones circunferenciales Bottom cuna elástica

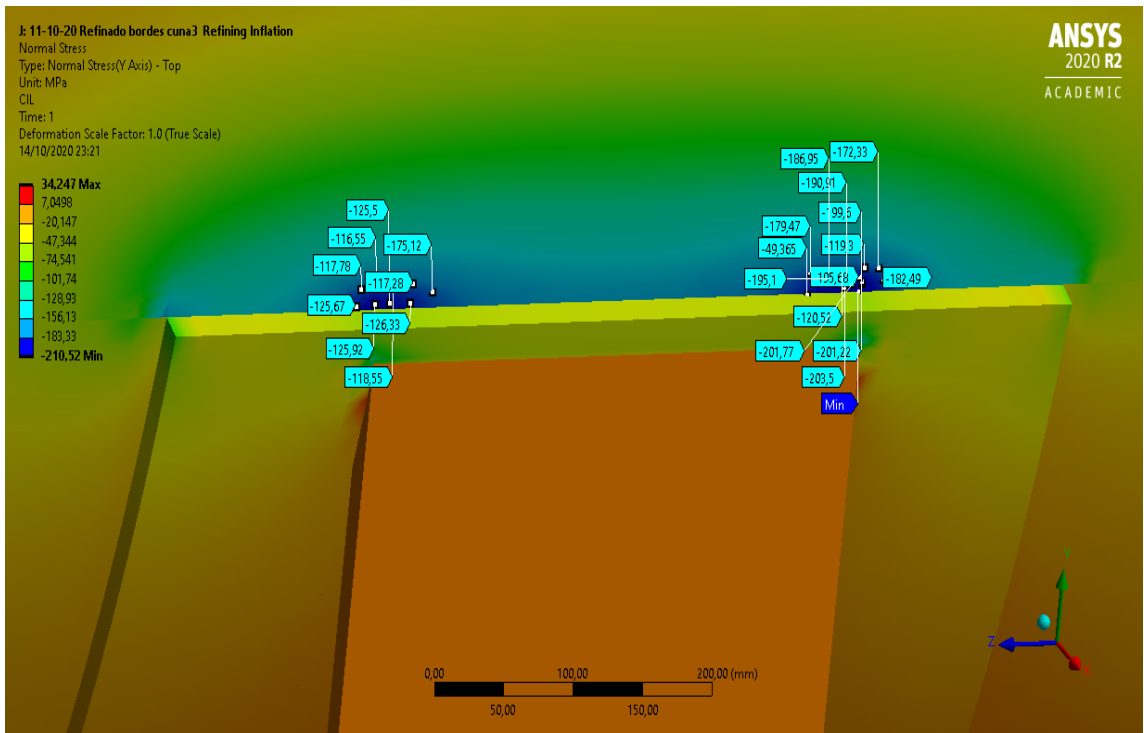
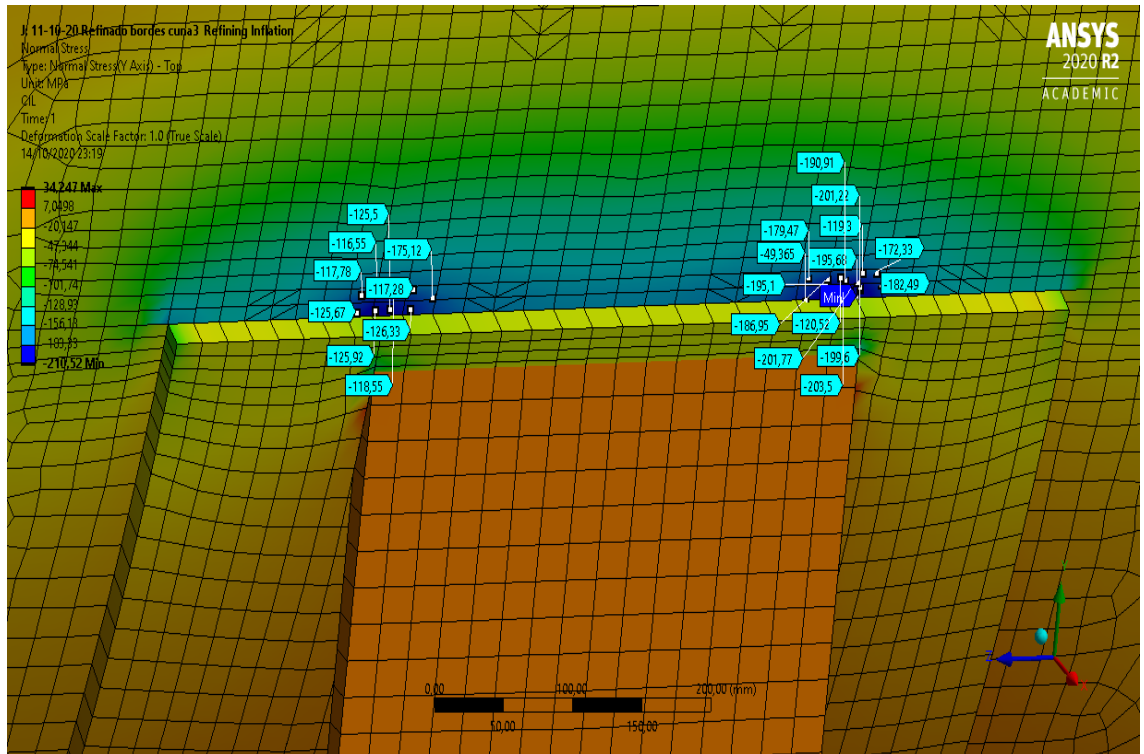


Figura 14 – Tensiones circunferenciales Top Cuna Rígida

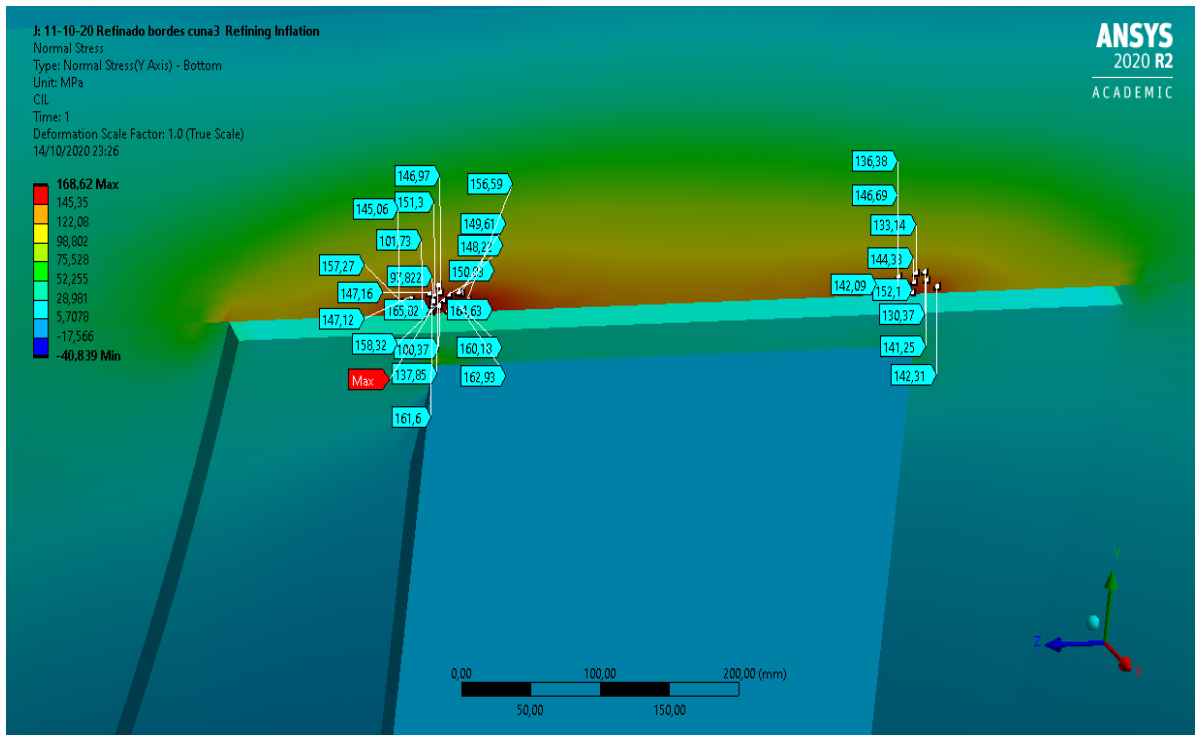
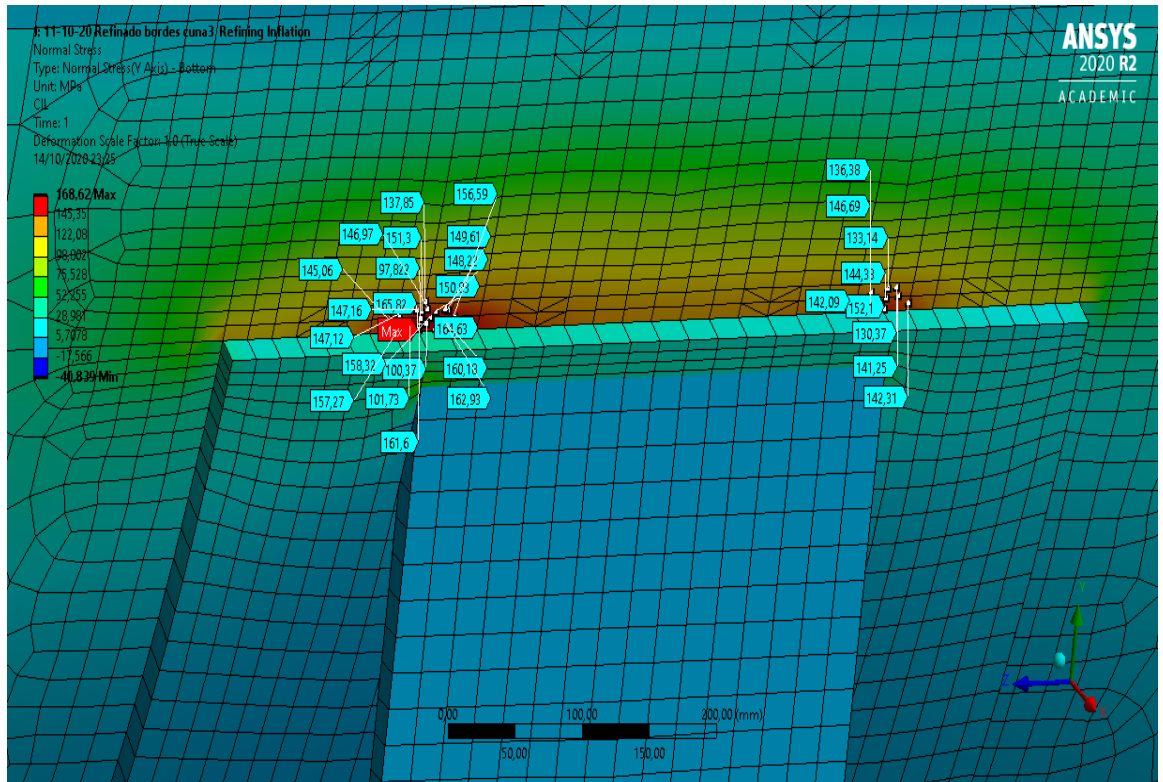


Figura 15 – Tensiones circunferenciales Bottom Cuna Rígida

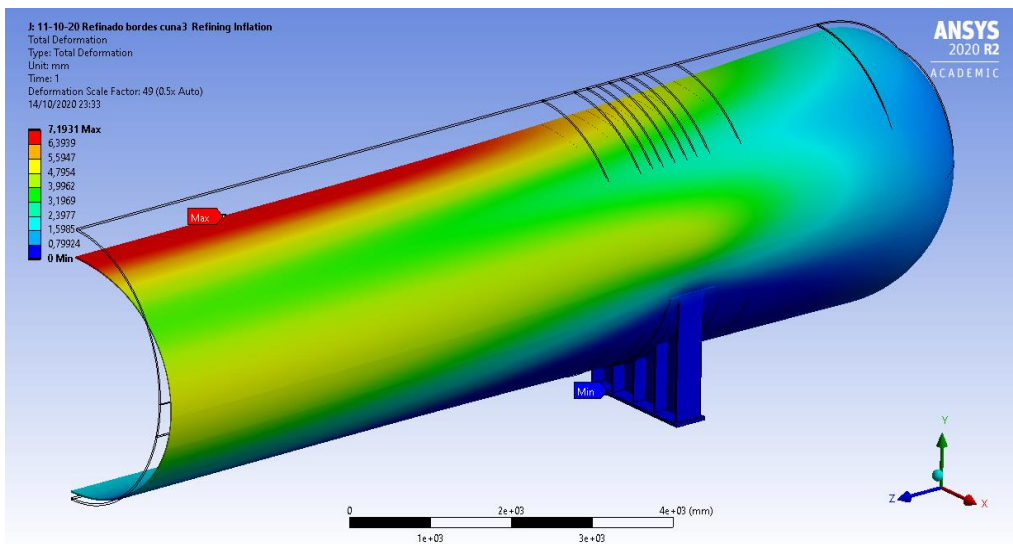
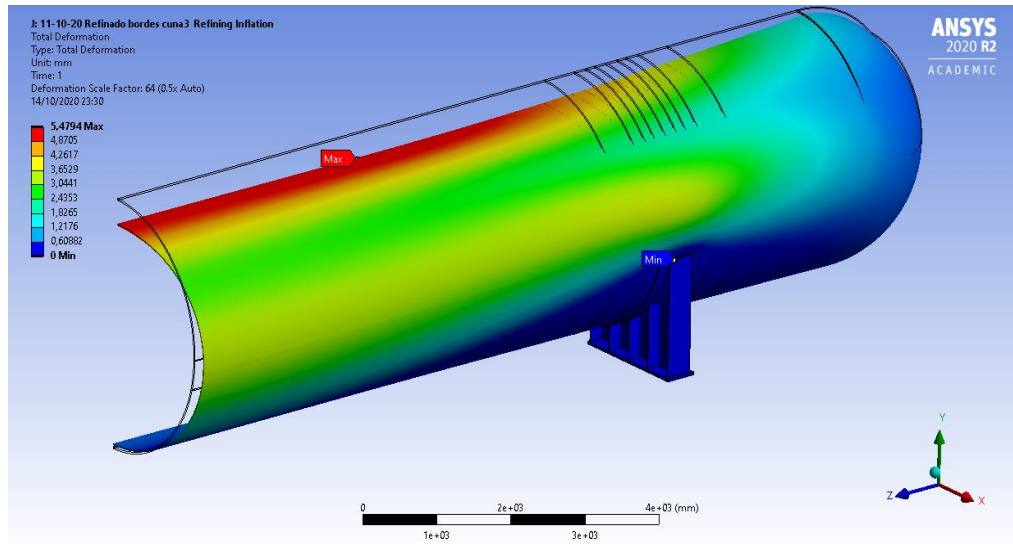


Figura 16 – Deformación Total Cuna Rígida y flexible respectivamente

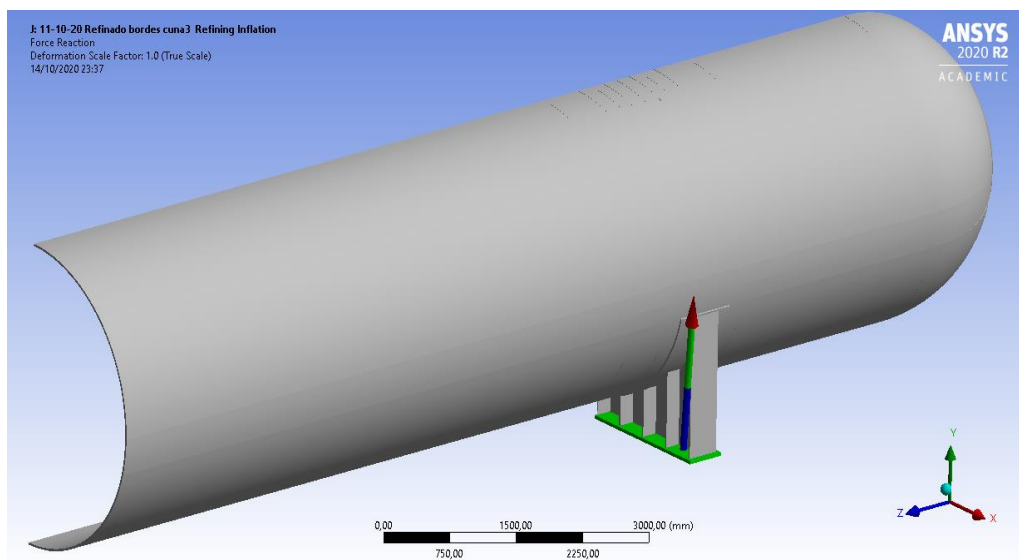


Figura 17 – Reacción en ¼ de Cuna

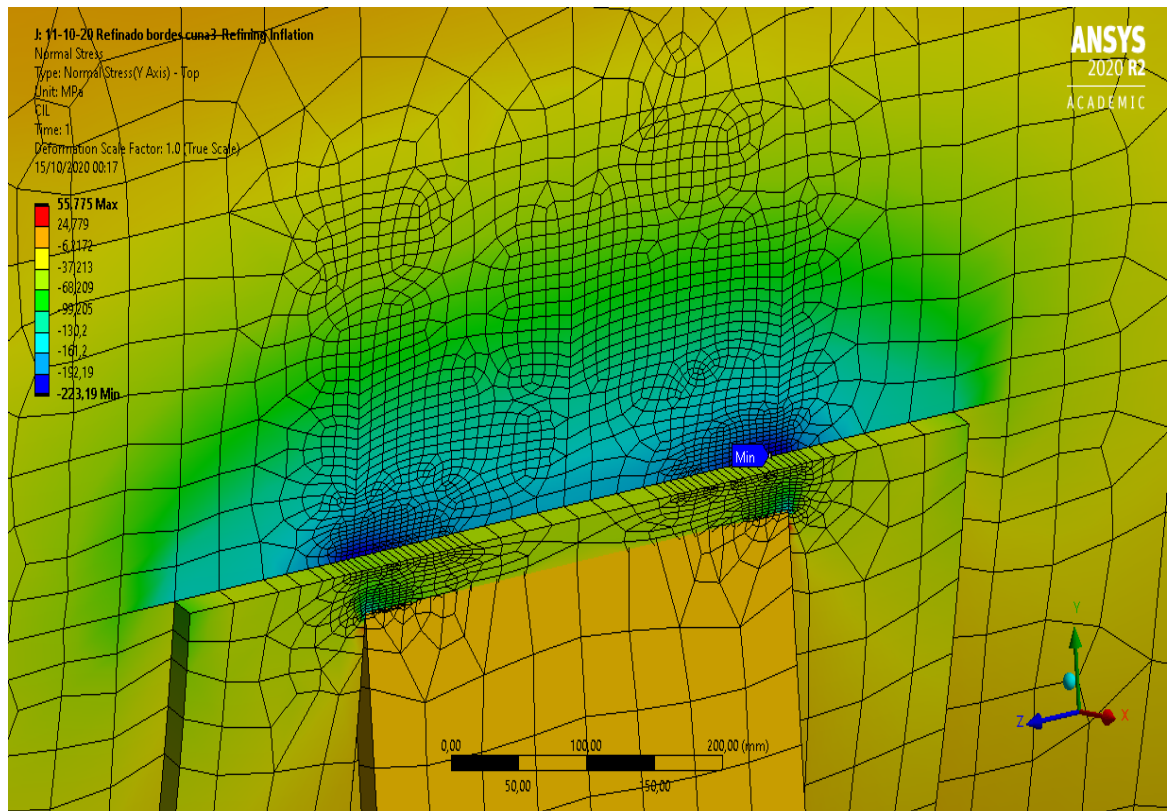
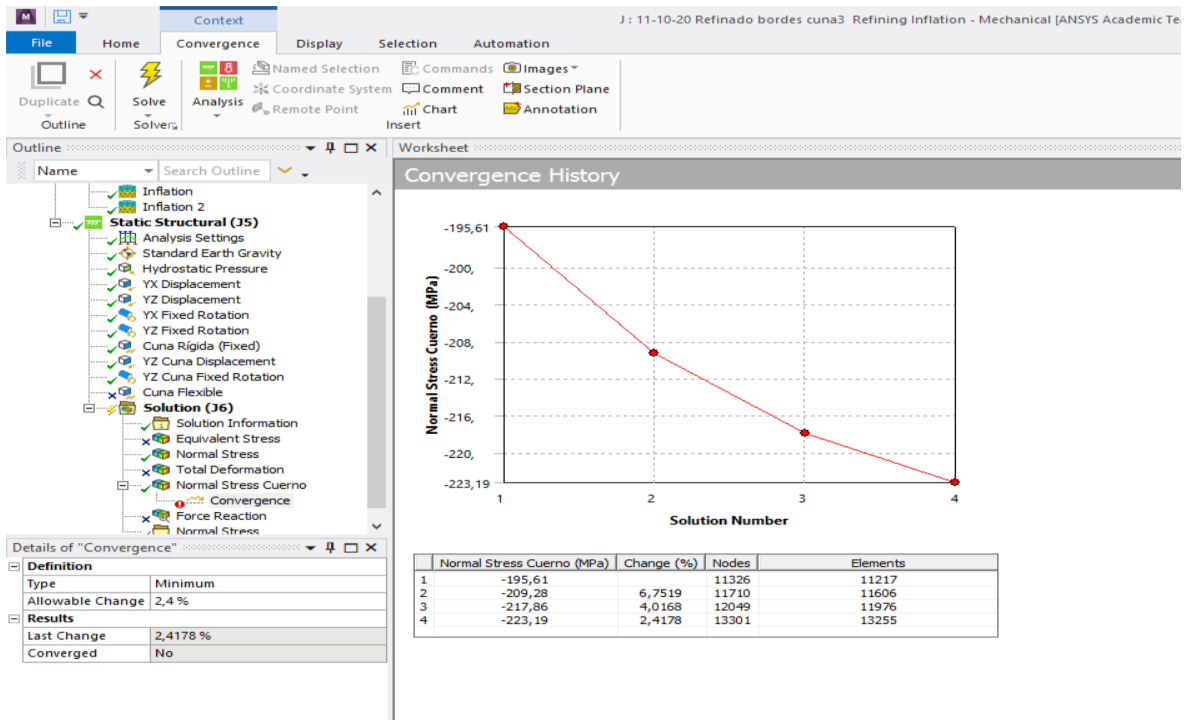


Figura 18 – Análisis de Convergencia

12.- Anexos

Anexo 1: Planos de Diseño y fabricación de Tanque de almacenamiento LPG. Conjunto y detalles.

Anexo 2: Método de Zick. Versión Eugene F. Megyesy

Anexo 3: Método de L.S. ONG.

Anexo 4: Hoja de datos de Consumibles ESAB – SAW.

Anexo 5: Hoja de datos de Consumibles ESAB - FCAW

13.- Referencias

[1]. ASME BPVC SECTION VIII Division 1 (2019)

[2]. Peak Stress and Fatigue Assessment at the Saddle Support of a Cylindrical Vessel - L. S. Ong - J. Pressure Vessel Technol. Nov 1995

[3]. Método de Zick

[4]. ASME BPVC SECTION II Parte D

[5]. ASME BPVC SECTION IX Ed.2017

[7]. Ansys 2019 R2 versión Académica