

$$t_n = \frac{1 \text{ in}}{25,4 \text{ mm}} \times 15 \text{ mm} \quad (12)$$

$$t_n = 0,5906 \text{ in} \quad (15 \text{ mm})$$

(13)

Donde;

$t_{req}$  = *Espesor requerido de las tapas torisféricas*

$L$  = *Radio de bombeo de las tapas torisféricas*

$$\frac{0,4236 \text{ in}}{53,6 \text{ in}} = 0,008$$

$$\frac{t_{min. req}}{L} = 0,008$$

Si  $\frac{t_{min. req}}{L} \geq 0,002$ ; el espesor seleccionado es el correcto.

Para el corte de los discos se tiene la siguiente fórmula;

$$d = D_i \times 1,22 + t_n + (2 \times R) \quad (14)$$

Donde;

$t_n$  = *Espesor nominal de las tapas torisféricas*

$d$  = *Diámetro del disco para corte*

$D_i$  = *Diámetro interno de la tapa torisférica*

$R$  = *Pestaña recta*

$$d = 1.685 \text{ mm} \times 1,22 + 15 \text{ mm} + (2 \times 50,8 \text{ mm})$$

$$d = 2.171 \text{ mm}$$

Con base en los cálculos realizados y una vez escogidos los materiales que se van a utilizar, es necesario realizar el cálculo de las presiones máximas de operación del recipiente y las presiones máximas de prueba del recipiente a temperatura ambiente, tomando como base un espesor mínimo de 15 mm para el cuerpo.

Presión de trabajo máxima admisible (MAWP). A temperatura criogénica  $T = -320^{\circ}\text{F} (-195,56^{\circ}\text{C})$

$$P_{MAWP} = \frac{2(S_{adm} \times E \times t_{req})}{[(L \times M) + (0,2 \times t_{req})]} \quad (15)$$

Donde;

$t_{req}$  = Espesor requerido de las tapas torisféricas

$P_{MAWP}$  = Presión de trabajo máxima admisible

$E$  = Eficiencia de las tapas torisféricas

$S_{adm}$  = Esfuerzo admisible de las tapas torisféricas

$L$  = Radio de bombeo de las tapas torisféricas

$M$  = Factor dependiente de  $L/r$

$$P_{MAWP} = \frac{2 \times (23.600 \text{ psi} \times 1,0 \times 0,4236 \text{ in})}{[(53,6 \text{ in} \times 1,4571) + (0,2 \times 0,4236)]}$$

$$P_{MAWP} = 255,72 \text{ psi} \approx 256 \text{ psi}$$

$$MAWP = P_{MAWP} - H$$

$$MAWP = 255,72 \text{ psi} - 6 \text{ psi}$$

$$MAWP = 249,72 \text{ psi} \approx 250 \text{ psi}$$

Presión de trabajo máxima admisible (MAWP). A temperatura ambiente  $T = 68^{\circ}\text{F} (20^{\circ}\text{C})$

$$P_{MAWP} = \frac{2 \times (S_{adm} \times E \times t_{req})}{(L \times M) + (0,2 \times t_{req})}$$

$$P_{MAWP} = \frac{2 \times (20.000 \text{ psi} \times 1,0 \times 0,4236 \text{ in})}{(53,6 \text{ in} \times 1,4571) + (0,2 \times 0,4236 \text{ in})}$$

$$P_{MAWP} = 216,71 \text{ psi} \approx 217 \text{ psi}$$

El anterior resultado de  $P_{MAWP}$  es el calculado es para el tanque terminado, sale de la planta de fabricación y a la temperatura ambiente, donde se tiene en cuenta el factor de corrosión que por ser acero inoxidable es 0.

$$MAWP = P_{MAWP} - H \quad (16)$$

$$MAWP = 216,71 \text{ psi} - 6 \text{ psi}$$

$$MAWP = 210,71 \text{ psi} \approx 211 \text{ psi}$$

Es requerido determinar la cantidad de láminas para la fabricación del equipo, por lo que tenemos:

$$d = D_o - 1(t) * \pi \quad (17)$$

*Donde;*

$d$  = Desarrollo de un cilindro.

$D_o$  = Diámetro externo del recipiente.

$T$  = Espesor del recipiente.

$\pi$  = Constante pi (3,1416)

$$d = 1.700 \text{ mm} - 12 \text{ mm} * \pi$$

$$d = 5.303 \text{ mm}$$

Se necesitan 6 láminas comerciales de 3.050 mm X 12,00 mm X 1.520 mm (Ver figura), ensambladas así;

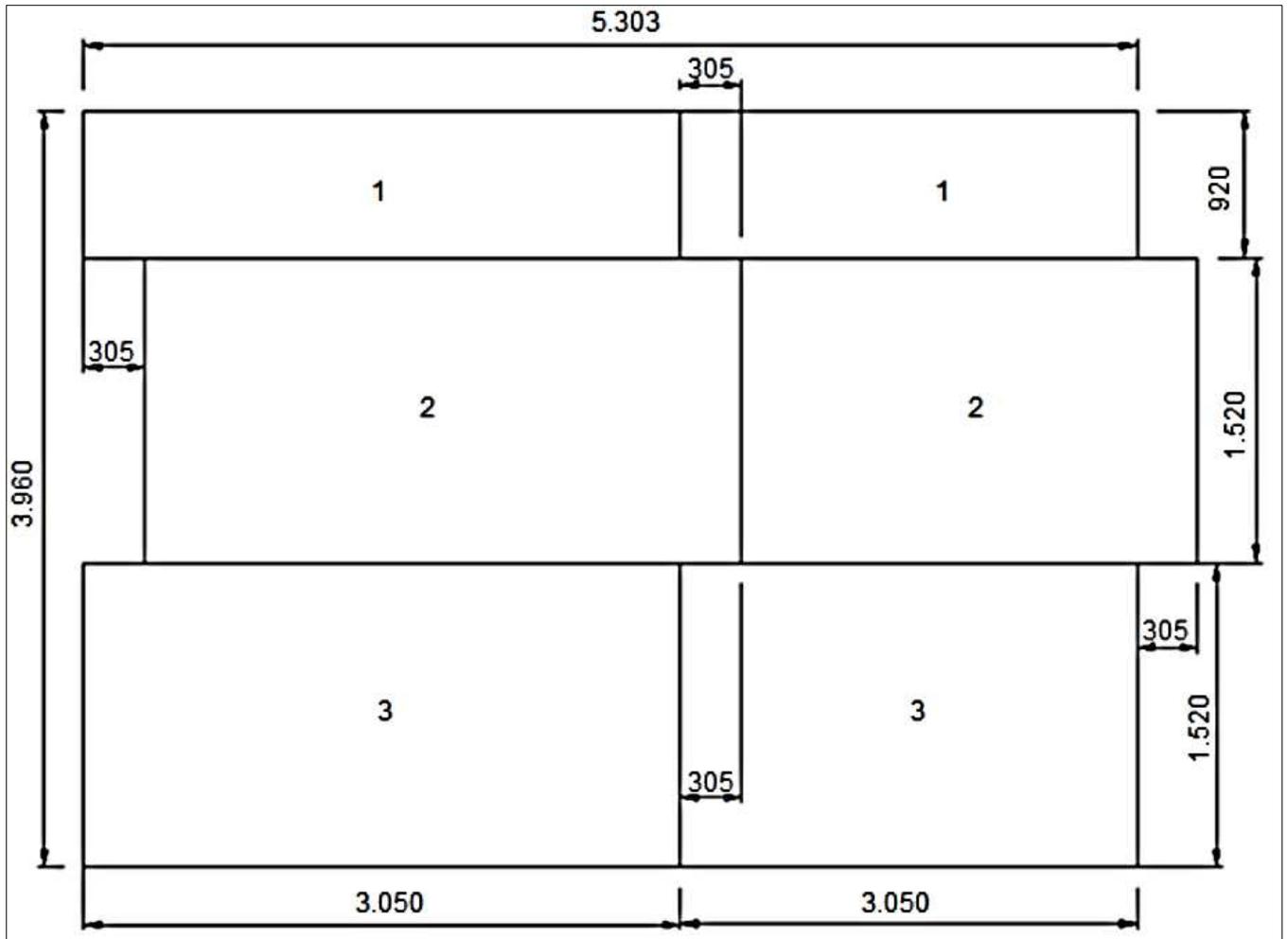


Figura 52. Disposición de láminas tanque interno. Autoría propia.

#### 7.2.4. Cálculo de conexiones y tubería del recipiente.

El manifold tendrá una serie de tuberías para el empleo de producto y diferentes disposiciones de servicio, el material que se va a emplear para los acoples (coupling) es el Acero Inoxidable SA-182-304.

- Presión de Diseño (P): 256 psi (Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-22 del código ASME)
- Temperatura de Diseño (T): -320 °F (-195,96 °C) (Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-20 del código ASME)
- Esfuerzo admisible del coupling (Sn): 20.000 psi (Tomo IID, subparte 1, parte 1A del código ASME)

- Tolerancia corrosión del coupling (Cn): 0 (Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-25 del código ASME)
- Esfuerzo máximo a temperatura ambiente del recipiente (Sv): 20.000 psi (Tomo IID, subparte 1, parte 1A del código ASME)
- Tolerancia corrosión del recipiente (Cv): 0 (Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-25 del código ASME)
- Espesor nominal del recipiente (tc): 0,4724 in

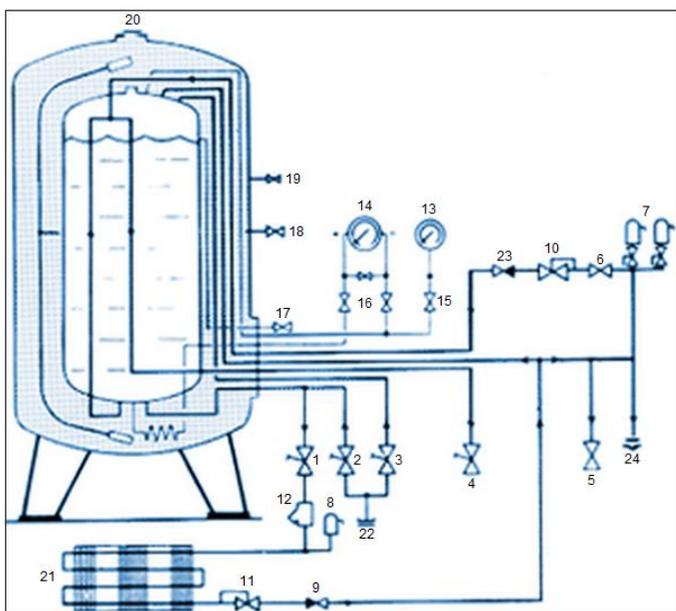


Figura 53. Esquema de manifold y accesorios. Oxicar.

Tabla 35.

*Conexiones y tuberías del recipiente.*

N. parte	Nombre	Descripción
1	Válvula de aumento de presión	Válvula criogénica de compuerta prolongación de ½" o 1" según capacidad normalmente abierta.
2	Válvula de llenado inferior	Válvula criogénica de compuerta prolongación de 1" normalmente cerrada.
3	Válvula de llenado superior	Válvula criogénica de compuerta prolongación de 1" normalmente cerrada.
4	Válvula de descarga de oxígeno al cliente	Válvula criogénica de compuerta prolongación de ½" o 1" según capacidad normalmente cerrada.

5	Válvula de venteo	Válvula criogénica de compuerta prolongación de 1" normalmente cerrada.
6	Válvula del economizador	Válvula criogénica de compuerta prolongación de ½" o 1" según capacidad normalmente abierta.
7	Válvula de seguridad del tanque	Son dos válvulas de seguridad de ¾" o 1" graduadas cada una a 15 BAR
8	Válvula de seguridad liquido	Válvula de seguridad de 3/8 graduada a 15 BAR
9	Válvula de no retorno de liquido	Válvula cheque de ½"
10	Economizador	Válvula reguladora de presión de ¾", 1" o 1 ¼", dependiendo de la capacidad del tanque, graduada a 20 psig por encima de la válvula reguladora de presión.
11	Regulador de presión	Válvula reguladora de presión de ¾", 1" o 1 ¼", dependiendo de la capacidad del tanque, graduada a 50 psig por encima de la presión de trabajo del cliente
12	Filtro	Filtro para el líquido de entrada al regulador de ½"
13	Manómetro	Manómetro indicador de presión de 0 a 400 psig de 0 4"
14	Indicador de nivel	Indicador de nivel 0 4", graduado desde 0 a 50.000 lts, según la capacidad del tanque.
15	Válvula del manómetro	Válvula aguja de 1 ¼" NPT, normalmente abierta.
16	Válvula del indicador de nivel	Válvula de aguja de 1 ¼", normalmente abierta.
17	Sistema de nivel máximo	Válvula de bola de ½" o 1" según capacidad, normalmente cerrada.
18	Válvula para hacer vacío	
19	Válvula para medición de vacío	Válvula de medición de vacío de ¼" NPT
20	Válvula de ruptura	Válvula de ruptura de 4"
21	Vaporizadores de aletas	
22	Conexión de llenado	Conexión de 1 ½" de acople a la manguera de llenado, normalmente con tapa de cierre de 1 ½"
23	Válvula de no retorno del economizador	Válvula cheque de ½"
24	Disco de ruptura	Disco calibrado para su rotura a 350 psig de ¾"

*Nota.* Autoría propia.

Los tanques criogénicos están formados por varios sistemas fundamentales mencionados a continuación;

- Sistema de llenado. Por este sistema se efectúa el llenado del tanque, este llenado es posible por la parte superior o inferior del tanque o por ambos en conjunto, está compuesto por la conexión de llenado #22 y las válvulas #2 y #3
- Sistema de aumento de presión. Todo tanque criogénico debe mantenerse a una presión a la de trabajo del cliente, es por ello que existe este sistema ya que permite elevar la presión del tanque cuando esta cae por debajo de lo graduado, está compuesto por un vaporizador #21, un filtro #12, una válvula cheque #9, una válvula criogénica de compuerta #1 y un regulador #11
- Sistema economizador. Este sistema permite la salida de gas por el tubo de líquido (aprovecha el exceso de gas en el tanque), esto se logra por la mezcla de gas-líquido en la intersección de los tubos por efecto Venturi, también ofrece la ventaja de que no permite que el tanque alcance presiones superiores a las de trabajo, está compuesto por el regulador economizador #10, válvula cheque #23 y la válvula de compuerta #6
- Sistema de seguridad (de alta presión). La presión de trabajo del tanque es de 5 bar, si por cualquier causa la presión se eleva por encima de la de trabajo, se disparan dos válvulas de seguridad calibradas a esta presión y aun para más seguridad si la presión sigue aumentando, alcanzando los 350 psi, se rompe un disco de ruptura, que permite el desahogo total del gas en el tanque, está compuesto por dos válvulas de seguridad #7 y un disco de ruptura #24
- Sistema de seguridad (vacío). Por cualquier causa una sobrepresión interna por pérdida de vacío o cualquier otra eventualidad, existe una válvula de seguridad de 4" que permite un desahogo total del tanque, está compuesto por una válvula de ruptura #20
- Sistema de medición de nivel. Este sistema permite medir el nivel de líquido existente en el tanque, efectuándose este por un indicador de nivel diferencial calibrado en litros y los líquidos en punto normal de ebullición, está compuesto por una válvula de distribución de 4 vías #16 y un indicador de nivel #14 con un manómetro de presión #13 que indica la presión interna del tanque
- Sistema de descarga de líquido al cliente. Este sistema permite la salida de oxígeno, dependiendo de los requerimientos del cliente será, líquido o gas, se instalará un vaporizador (gas) de acuerdo a la capacidad requerida, está compuesto por una válvula de compuerta criogénica #4

- Sistema de venteo. Este sistema permite aliviar la presión del tanque en cualquier momento, hasta el punto de llevarla a cero psig, está compuesto por una válvula de compuerta criogénica #5
- Sistema de máximo nivel. Este sistema permite la visualización de llenado, cuando el tanque ha alcanzado su máximo nivel, y sirve también de seguridad para que se pueda controlar el nivel, no sobrepasando la capacidad criogénica del tanque, está compuesto por una válvula de bola #17
- Sistema de vacío. Este sistema permite medir y efectuar el vacío al tanque, está compuesto por una válvula para hacer vacío #18, y una válvula para medición #14.

**7.2.4.1. Cálculo de la tubería de Venteo.** Para su identificación se llamará con las letras VE:

- Cálculo del espesor del coupling. Para el cálculo del espesor mínimo requerido, se aplicará la siguiente fórmula, según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-44 del código ASME
- Diámetro externo del coupling ( $D_o$ ): 1,75 in (Tomo B16.11 del código ASME.)
- Diámetro del tubo: 1 in (Tomo B16.11 del código ASME)

$$t_{min. req} = \frac{P \times D_o}{[2 \times (S_n + (0,4 \times P))] + C_n} \quad (18)$$

Donde;

$t_{min. req}$  = *Espesor mínimo requerido del coupling*

$P$  = *Presión de diseño*

$D_o$  = *Diámetro externo del coupling*

$S_n$  = *Esfuerzo admisible del coupling*

$C_n$  = *Tolerancia de corrosión del coupling*

$$t_{min. req} = \frac{256 \text{ psi} \times 1,75 \text{ in}}{[2 \times (20.000 \text{ psi} + (0,4 \times 256 \text{ psi})) + 0]}$$

$$t_{min. req} = 0,0111 \text{ in} \quad (0,28 \text{ mm})$$

**Cálculos del refuerzo.** Para el cálculo del espesor mínimo requerido del refuerzo, se aplicará la siguiente fórmula, según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-37 del código ASME.

$$t_{min. req} = \frac{P \times D}{[(2 \times S_v) - (0,2 \times P)]} \quad (19)$$

Donde;

$t_{min. req}$  = Espesor mínimo requerido del refuerzo

$P$  = Presión de diseño

$D$  = Diámetro externo del refuerzo

$S_v$  = Esfuerzo admisible de la carcasa

$$t_{min. req} = \frac{256 \text{ psi} \times 56,6086 \text{ in}}{[(2 \times 20.000 \text{ psi}) - (0,2 \times 256 \text{ psi})]}$$

$$t_{min. req} = 0,3628 \text{ in} \quad (9,21 \text{ mm})$$

$$t_n = 0,2175 \text{ in}$$

$$t_n = 0,2175 \text{ in}$$

La abertura está exenta de refuerzo según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-36 (c) (3) (a) del código ASME.

Verificación del tamaño de las soldaduras. Para este caso y según el Tomo VIII, división 1, subsección B, parte UW-16.1 (d) del código ASME.

Espesor mínimo de la soldadura. Es expresado de la siguiente forma:

$$t_{min} = \text{el valor mínimo entre } 0,75 \text{ in}, t_c, t_n \quad (20)$$

$$t_c = 0,4724 \text{ in}$$

Por tanto;

$$t_{min} = t_n = 0,2175 \text{ in}$$

Espesor final de la soldadura de esquina. Es expresado de la siguiente forma

$$t_c = \text{el valor m\u00ednimo entre } 0,25 \text{ in y } (0,7 \times t_{min}) \quad (21)$$

$$= (0,7 \times 0,2175 \text{ in})$$

$$= 0,1523 \text{ in}$$

Por tanto;

$$t_c = (0,7 \times t_{min}) = 0,1523 \text{ in}$$

$$Wlmin = \frac{t_c}{0,7} \quad (22)$$

$$Wlmin = \frac{0,1523 \text{ in}}{0,7}$$

$$Wlmin = 0,2175 \text{ in}$$

$$Wl usado = 0,25 \text{ in}$$

$$Wl usado = \frac{1}{4} \text{ "}$$

**7.2.4.2. C\u00e1lculo de la tuber\u00eda de llenado superior.** Para su identificaci\u00f3n se llamar\u00e1 con las letras LS:

- C\u00e1lculo del espesor del coupling. Para el c\u00e1lculo del espesor m\u00ednimo requerido, se aplicar\u00e1 la siguiente f\u00f3rmula, seg\u00fan el Tomo VIII, divisi\u00f3n 1, subsecci\u00f3n A, parte UG-44 del c\u00f3digo ASME
- Di\u00e1metro externo del coupling ( $D_o$ ): 2,5 in (Tomo B16.11 del c\u00f3digo ASME)
- Di\u00e1metro del tubo: 1 1/2 in (Tomo B16.11 del c\u00f3digo ASME)

$$t_{min. req} = \frac{P \times D_o}{[2 \times (S_n + (0,4 \times P))] + C_n} \quad (23)$$

Donde;

$t_{min. req}$  = Espesor m\u00ednimo requerido del coupling

$P$  = Presi\u00f3n de dise\u00f1o

$D_o$  = Di\u00e1metro externo del coupling

$S_n =$  Esfuerzo admisible del coupling

$C_n =$  Tolerancia de corrosión del coupling

$$t_{min. req} = \frac{256 \text{ psi} \times 2,5 \text{ in}}{[2 \times (20.000 \text{ psi} + (0,4 \times 256 \text{ psi})) + 0]}$$

$$t_{min. req} = 0,0159 \text{ in} \quad (0,40 \text{ mm})$$

**Cálculos del refuerzo.** Para el cálculo del espesor mínimo requerido del refuerzo, se aplicará la siguiente fórmula, según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-37 del código ASME.

$$t_{min. req} = \frac{P \times D}{[(2 \times S_v) + (0,8 \times P)]} \quad (24)$$

Donde;

$t_{min. req} =$  Espesor mínimo requerido del refuerzo

$P =$  Presión de diseño

$D =$  Diámetro externo del refuerzo

$S_v =$  Esfuerzo admisible de la carcasa

$$t_{min. req} = \frac{256 \text{ psi} \times 56,6086 \text{ in}}{[(2 \times 20.000 \text{ psi}) + (0,8 \times 256 \text{ psi})]}$$

$$t_{min. req} = 0,3604 \text{ in} \quad (9,15 \text{ mm})$$

$$t_n = 0,25 \text{ in}$$

La abertura está exenta de refuerzo según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-36 (c) (3) (b) del código ASME.

- Verificación del tamaño de las soldaduras. Para este caso y según el Tomo VIII, división 1, subsección B, parte UW-16.1 (d) del código ASME
- Espesor mínimo de la soldadura. Es expresado de la siguiente forma,

$$t_{min} = \text{el valor mínimo entre } 0,75 \text{ in}, t_c, t_n \quad (25)$$

$$t_c = 0,4724 \text{ in}$$

$$t_n = 0,25 \text{ in}$$

Por tanto;

$$t_{min} = t_n = 0,25 \text{ in}$$

Espesor final de la soldadura de esquina. Es expresado de la siguiente forma

$$t_c = \text{el valor m\u00ednimo entre } 0,25 \text{ in y } (0,7 \times t_{min}) \quad (26)$$

$$= (0,7 \times 0,25 \text{ in})$$

$$= 0,1750 \text{ in}$$

Por tanto;

$$t_c = (0,7 \times t_{min}) = 0,1750 \text{ in}$$

$$Wlmin = \frac{t_c}{0,7} \quad (27)$$

$$Wlmin = \frac{0,1750 \text{ in}}{0,7}$$

$$Wlmin = 0,25 \text{ in}$$

$$Wl usado = 0,3750 \text{ in}$$

$$Wl usado = \frac{3}{8} \text{ ''}$$

**7.2.4.3. C\u00e1lculo de la tuber\u00eda de retorno de la bomba.** Para su identificaci\u00f3n se llamar\u00e1 con las letras RB:

- C\u00e1lculo del espesor del coupling. Para el c\u00e1lculo del espesor m\u00ednimo requerido, se aplicar\u00e1 la siguiente f\u00f3rmula, seg\u00fan el Tomo VIII, divisi\u00f3n 1, subsecci\u00f3n A, parte UG-44 del c\u00f3digo ASME
- Di\u00e1metro externo del coupling (Do): 1,120 in (Tomo B16.11 del c\u00f3digo ASME)
- Di\u00e1metro del tubo: 1/2 in (Tomo B16.11 del c\u00f3digo ASME)

$$t_{min. req} = \frac{P \times D_o}{[2 \times (S_n + (0,4 \times P))] + C_n} \quad (28)$$

Donde;

$t_{min. req}$  = *Espesor mínimo requerido del coupling*

$P$  = *Presión de diseño*

$D_o$  = *Diámetro externo del coupling*

$S_n$  = *Esfuerzo admisible del coupling*

$C_n$  = *Tolerancia de corrosión del coupling*

$$t_{min. req} = \frac{256 \text{ psi} \times 1,120 \text{ in}}{[2 \times (20.000 \text{ psi} + (0,4 \times 256 \text{ psi})) + 0]}$$

$$t_{min. req} = 0,0071 \text{ in} \quad (0,18 \text{ mm})$$

**Cálculos del refuerzo.** Para el cálculo del espesor mínimo requerido del refuerzo, se aplicará la siguiente fórmula, según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-37 del código ASME.

$$t_{min. req} = \frac{P \times D}{[(2 \times S_v) - (0,2 \times P)]} \quad (29)$$

Donde;

$t_{min. req}$  = *Espesor mínimo requerido del refuerzo*

$P$  = *Presión de diseño*

$D$  = *Diámetro externo del refuerzo*

$S_v$  = *Esfuerzo admisible de la carcasa*

$$t_{min. req} = \frac{256 \text{ psi} \times 56,6086 \text{ in}}{[(2 \times 20.000 \text{ psi}) - (0,2 \times 256 \text{ psi})]}$$

$$t_{min. req} = 0,3628 \text{ in} \quad (9,21 \text{ mm})$$

$$t_n = 0,1610 \text{ in}$$

La abertura está exenta de refuerzo según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-36 (c) (3) (a) del código ASME.

- Verificación del tamaño de las soldaduras. Para este caso y según el Tomo VIII, división 1, subsección B, parte UW-16.1 (d) del código ASME
- Espesor mínimo de la soldadura. Es expresado de la siguiente forma

$$t_{min} = \text{el valor mínimo entre } 0,75 \text{ in}, t_c, t_n \quad (30)$$

$$t_c = 0,4724 \text{ in}$$

$$t_n = 0,1610 \text{ in}$$

Por tanto;

$$t_{min} = t_n = 0,1610 \text{ in}$$

Espesor final de la soldadura de esquina. Es expresado de la siguiente forma:

$$t_c = \text{el valor mínimo entre } 0,25 \text{ in y } (0,7 \times t_{min}) \quad (31)$$

$$= (0,7 \times 0,1610 \text{ in})$$

$$= 0,1127 \text{ in}$$

Por tanto;

$$t_c = (0,7 \times t_{min}) = 0,1127 \text{ in}$$

$$Wlmin = \frac{t_c}{0,7} \quad (32)$$

$$Wlmin = \frac{0,1127 \text{ in}}{0,7}$$

$$Wlmin = 0,1610 \text{ in}$$

$$Wl usado = 0,25 \text{ in}$$

$$Wl usado = \frac{1}{4} \text{ "}$$

**7.2.4.4. Cálculo de la tubería del indicador de nivel gas.** Para su identificación se llamará con las letras IG:

- Cálculo del espesor del coupling. Para el cálculo del espesor mínimo requerido, se aplicará la siguiente fórmula, según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-44 del código ASME
- Diámetro externo del coupling ( $D_o$ ): 0,75 in (Tomo B16.11 del código ASME)
- Diámetro del tubo: 1/4 in (Tomo B16.11 del código ASME)

$$t_{min. req} = \frac{P \times D_o}{[2 \times (S_n + (0,4 \times P))] + C_n} \quad (33)$$

Donde;

$t_{min. req}$  = Espesor mínimo requerido del coupling

$P$  = Presión de diseño

$D_o$  = Diámetro externo del coupling

$S_n$  = Esfuerzo admisible del coupling

$C_n$  = Tolerancia de corrosión del coupling

$$t_{min. req} = \frac{256 \text{ psi} \times 0,75 \text{ in}}{[2 \times (20.000 \text{ psi} + (0,4 \times 256 \text{ psi})) + 0]}$$

$$t_{min. req} = 0,0048 \text{ in} \quad (0,12 \text{ mm})$$

**Cálculos del refuerzo.** Para el cálculo del espesor mínimo requerido del refuerzo, se aplicará la siguiente fórmula, según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-37 del código ASME.

$$t_{min. req} = \frac{P \times D}{[(2 \times S_v) - (0,2 \times P)]} \quad (34)$$

Donde;

$t_{min. req}$  = Espesor mínimo requerido del refuerzo

$P$  = Presión de diseño

$D$  = Diámetro externo del refuerzo

$S_v$  = Esfuerzo admisible de la carcasa

$$t_{min. req} = \frac{256 \text{ psi} \times 56,6086 \text{ in}}{[(2 \times 20.000 \text{ psi}) - (0,2 \times 256 \text{ psi})]}$$

$$t_{min. req} = 0,3628 \text{ in} \quad (9,21 \text{ mm})$$

$$t_n = 0,1050 \text{ in}$$

La abertura está exenta de refuerzo según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-36 (c) (3) (a) del código ASME.

- Verificación del tamaño de las soldaduras. Para este caso y según el Tomo VIII, división 1, subsección B, parte UW-16.1 (d) del código ASME
- Espesor mínimo de la soldadura. Es expresado de la siguiente forma

$$t_{min} = \text{el valor mínimo entre } 0,75 \text{ in}, t_c, t_n \quad (35)$$

$$t_c = 0,4724 \text{ in}$$

$$t_n = 0,1050 \text{ in}$$

Por tanto;

$$t_{min} = t_n = 0,1050 \text{ in}$$

Espesor final de la soldadura de esquina. Es expresado de la siguiente forma

$$t_c = \text{el valor mínimo entre } 0,25 \text{ in y } (0,7 \times t_{min}) \quad (36)$$

$$= (0,7 \times 0,1050 \text{ in})$$

$$= 0,0735 \text{ in}$$

Por tanto;

$$t_c = (0,7 \times t_{min}) = 0,0735 \text{ in}$$

$$Wlmin = \frac{t_c}{0,7} \quad (37)$$

$$Wlmin = \frac{0,0735 \text{ in}}{0,7}$$

$$Wlmin = 0,1050 \text{ in}$$

$$Wlusado = 0,25 \text{ in}$$

$$Wlusado = \frac{1}{4} \text{ ''}$$

**7.2.4.5. Cálculo de la tubería del economizador.** Para su identificación se llamará con las letras EC:

- Cálculo del espesor del coupling. Para el cálculo del espesor mínimo requerido, se aplicará la siguiente fórmula, según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-44 del código ASME
- Diámetro externo del coupling ( $D_o$ ): 1,120 in (Tomo B16.11 del código ASME)
- Diámetro del tubo: 1/2 in (Tomo B16.11 del código ASME)

$$t_{min. req} = \frac{P \times D_o}{[2 \times (S_n + (0,4 \times P))] + C_n} \quad (38)$$

Donde;

$t_{min. req}$  = *Espesor mínimo requerido del coupling*

$P$  = *Presión de diseño*

$D_o$  = *Diámetro externo del coupling*

$S_n$  = *Esfuerzo admisible del coupling*

$C_n$  = *Tolerancia de corrosión del coupling*

$$t_{min. req} = \frac{256 \text{ psi} \times 1,120 \text{ in}}{[2 \times (20.000 \text{ psi} + (0,4 \times 256 \text{ psi}))] + 0}$$

$$t_{min. req} = 0,0071 \text{ in} \quad (0,18 \text{ mm})$$

**Cálculos del refuerzo.** Para el cálculo del espesor mínimo requerido del refuerzo, se aplicará la siguiente fórmula, según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-37 del código ASME.

$$t_{min. req} = \frac{P \times D}{[(2 \times S_v) - (0,2 \times P)]} \quad (39)$$

Donde;

$t_{min. req}$  = Espesor mínimo requerido del refuerzo

$P$  = Presión de diseño

$D$  = Diámetro externo del refuerzo

$S_v$  = Esfuerzo admisible de la carcasa

$$t_{min. req} = \frac{256 \text{ psi} \times 56,6086 \text{ in}}{[(2 \times 20.000 \text{ psi}) - (0,2 \times 256 \text{ psi})]}$$

$$t_{min. req} = 0,3628 \text{ in} \quad (9,21 \text{ mm})$$

$$t_n = 0,1425 \text{ in}$$

La abertura está exenta de refuerzo según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-36 (c) (3) (a) del código ASME.

- Verificación del tamaño de las soldaduras. Para este caso y según el Tomo VIII, división 1, subsección B, parte UW-16.1 (d) del código ASME.

Espesor mínimo de la soldadura. Es expresado de la siguiente forma

$$t_{min} = \text{el valor mínimo entre } 0,75 \text{ in}, t_c, t_n \quad (40)$$

$$t_c = 0,4724 \text{ in}$$

$$t_n = 0,1425 \text{ in}$$

Por tanto;

$$t_{min} = t_n = 0,1425 \text{ in}$$

Espesor final de la soldadura de esquina. Es expresado de la siguiente forma

$$t_c = \text{el valor m\u00ednimo entre } 0,25 \text{ in y } (0,7 \times t_{min}) \quad (41)$$

$$= (0,7 \times 0,1425 \text{ in})$$

$$= 0,0998 \text{ in}$$

Por tanto;

$$t_c = (0,7 \times t_{min}) = 0,0998 \text{ in}$$

$$Wlmin = \frac{t_c}{0,7} \quad (42)$$

$$Wlmin = \frac{0,0998 \text{ in}}{0,7}$$

$$Wlmin = 0,1425 \text{ in}$$

$$Wl usado = 0,25 \text{ in}$$

$$Wl usado = \frac{1}{4} \text{ ''}$$

**7.2.4.6. C\u00e1lculo de la tuber\u00eda de drenaje.** Para su identificaci\u00f3n se llamar\u00e1 con las letras DR:

- C\u00e1lculo del espesor del coupling. Para el c\u00e1lculo del espesor m\u00ednimo requerido, se aplicar\u00e1 la siguiente f\u00f3rmula, seg\u00fan el Tomo VIII, divisi\u00f3n 1, subsecci\u00f3n A, parte UG-44 del c\u00f3digo ASME
- Di\u00e1metro externo del coupling (Do): 1,75 in (Tomo B16.11 del c\u00f3digo ASME)
- Di\u00e1metro del tubo: 1 in (Tomo B16.11 del c\u00f3digo ASME)

$$t_{min. req} = \frac{P \times D_o}{[2 \times (S_n + (0,4 \times P))] + C_n} \quad (43)$$

Donde;

$t_{min. req}$  = Espesor m\u00ednimo requerido del coupling

$P$  = Presi\u00f3n de dise\u00f1o

$D_o =$  Diámetro externo del coupling

$S_n =$  Esfuerzo admisible del coupling

$C_n =$  Tolerancia de corrosión del coupling

$$t_{min. req} = \frac{256 \text{ psi} \times 1,75 \text{ in}}{[2 \times (20.000 \text{ psi} + (0,4 \times 256 \text{ psi})) + 0]}$$

$$t_{min. req} = 0,0111 \text{ in} \quad (0,12 \text{ m})$$

**Cálculos del refuerzo.** Para el cálculo del espesor mínimo requerido del refuerzo, se aplicará la siguiente fórmula, según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-37 del código ASME

$$t_{min. req} = \frac{P \times D}{[(2 \times S_v) - (0,2 \times P)]} \quad (44)$$

Donde;

$t_{min. req} =$  Espesor mínimo requerido del refuerzo

$P =$  Presión de diseño

$D =$  Diámetro externo del refuerzo

$S_v =$  Esfuerzo admisible de la carcasa

$$t_{min. req} = \frac{256 \text{ psi} \times 56,6086 \text{ in}}{[(2 \times 20.000 \text{ psi}) - (0,2 \times 256 \text{ psi})]}$$

$$t_{min. req} = 0,3627 \text{ in} \quad (9.214 \text{ mm})$$

$$t_n = 0,2175 \text{ in}$$

La abertura está exenta de refuerzo según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-36 (c) (3) (a) del código ASME.

- Verificación del tamaño de las soldaduras. Para este caso y según el Tomo VIII, división 1, subsección B, parte UW-16.1 (d) del código ASME

Espesor mínimo de la soldadura. Es expresado de la siguiente forma

$$t_{min} = \text{el valor m\u00ednimo entre } 0,75 \text{ in}, t_c, t_n \quad (45)$$

$$t_c = 0,4724 \text{ in}$$

$$t_n = 0,2175 \text{ in}$$

Por tanto;

$$t_{min} = t_n = 0,2175 \text{ in}$$

Espesor final de la soldadura de esquina. Es expresado de la siguiente forma

$$t_c = \text{el valor m\u00ednimo entre } 0,25 \text{ in y } (0,7 \times t_{min}) \quad (46)$$

$$= (0,7 \times 0,2175 \text{ in})$$

$$= 0,1523 \text{ in}$$

Por tanto;

$$t_c = (0,7 \times t_{min}) = 0,1523 \text{ in}$$

$$Wlmin = \frac{t_c}{0,7} \quad (47)$$

$$Wlmin = \frac{0,1523 \text{ in}}{0,7}$$

$$Wlmin = 0,2176 \text{ in}$$

$$Wl usado = 0,25 \text{ in}$$

$$Wl usado = \frac{1}{4} \text{ ''}$$

**7.2.4.7. C\u00e1lculo de la tuber\u00eda de llenado inferior.** Para su identificaci\u00f3n se llamar\u00e1 con las letras LI:

- C\u00e1lculo del espesor del coupling. Para el c\u00e1lculo del espesor m\u00ednimo requerido, se aplicar\u00e1 la siguiente f\u00f3rmula, seg\u00fan el Tomo VIII, divisi\u00f3n 1, subsecci\u00f3n A, parte UG-44 del c\u00f3digo ASME
- Di\u00e1metro externo del coupling (Do): 2,5 in (Tomo B16.11 del c\u00f3digo ASME)
- Di\u00e1metro del tubo: 1 1/2 in (Tomo B16.11 del c\u00f3digo ASME)

$$t_{min. req} = \frac{P \times D_o}{[2 \times (S_n + (0,4 \times P))] + C_n} \quad (48)$$

Donde;

$t_{min. req}$  = Espesor mínimo requerido del coupling

$P$  = Presión de diseño

$D_o$  = Diámetro externo del coupling

$S_n$  = Esfuerzo admisible del coupling

$C_n$  = Tolerancia de corrosión del coupling

$$t_{min. req} = \frac{256 \text{ psi} \times 2,5 \text{ in}}{[2 \times (20.000 \text{ psi} + (0,4 \times 256 \text{ psi})) + 0]}$$

$$t_{min. req} = 0,0159 \text{ in} \quad (0,40 \text{ mm})$$

**Cálculos del refuerzo.** Para el cálculo del espesor mínimo requerido del refuerzo, se aplicará la siguiente fórmula, según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-37 del código ASME

$$t_{min. req} = \frac{P \times D}{[(2 \times S_v) - (0,2 \times P)]} \quad (49)$$

Donde;

$t_{min. req}$  = Espesor mínimo requerido del refuerzo

$P$  = Presión de diseño

$D$  = Diámetro externo del refuerzo

$S_v$  = Esfuerzo admisible de la carcasa

$$t_{min. req} = \frac{256 \text{ psi} \times 56,6086 \text{ in}}{[(2 \times 20.000 \text{ psi}) - (0,2 \times 256 \text{ psi})]}$$

$$t_{min. req} = 0,3628 \text{ in} \quad (7,98 \text{ mm})$$

$$t_n = 0,25 \text{ in}$$

La abertura está exenta de refuerzo según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-36 (c) (3) (b) del código ASME.

- Verificación del tamaño de las soldaduras. Para este caso y según el Tomo VIII, división 1, subsección B, parte UW-16.1 (d) del código ASME

Espesor mínimo de la soldadura. Es expresado de la siguiente forma

$$t_{min} = \text{el valor mínimo entre } 0,75 \text{ in}, t_c, t_n \quad (50)$$

$$t_c = 0,4724 \text{ in}$$

$$t_n = 0,25 \text{ in}$$

Por tanto;

$$t_{min} = t_n = 0,25 \text{ in}$$

Espesor final de la soldadura de esquina. Es expresado de la siguiente forma

$$t_c = \text{el valor mínimo entre } 0,25 \text{ in y } (0,7 \times t_{min}) \quad (51)$$

$$= (0,7 \times 0,25 \text{ in})$$

$$= 0,1750 \text{ in}$$

Por tanto;

$$t_c = (0,7 \times t_{min}) = 0,1750 \text{ in}$$

$$Wlmin = \frac{t_c}{0,7} \quad (52)$$

$$Wlmin = \frac{0,1750 \text{ in}}{0,7}$$

$$Wlmin = 0,25 \text{ in}$$

$$Wl usado = 0,3750 \text{ in}$$

$$Wl usado = \frac{3}{8} \text{ "}$$

**7.2.4.8. Cálculo de la tubería de indicador de líquido.** Para su identificación se llamará con las letras NL:

Cálculo del espesor del coupling. Para el cálculo del espesor mínimo requerido, se aplicará la siguiente fórmula, según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-44 del código ASME

- Diámetro externo del coupling ( $D_o$ ): 0,75 in (Tomo B16.11 del código ASME)
- Diámetro del tubo: 1/4 in (Tomo B16.11 del código ASME)

$$t_{min. req} = \frac{P \times D_o}{[2 \times (S_n + (0,4 \times P))] + C_n} \quad (53)$$

Donde;

$t_{min. req}$  = Espesor mínimo requerido del coupling

$P$  = Presión de diseño

$D_o$  = Diámetro externo del coupling

$S_n$  = Esfuerzo admisible del coupling

$C_n$  = Tolerancia de corrosión del coupling  
256 psi  $\times$  0,75 in

$$t_{min. req} = \frac{256 \text{ psi} \times 0,75 \text{ in}}{[2 \times (20.000 \text{ psi} + (0,4 \times 256 \text{ psi})) + 0]}$$

$$t_{min. req} = 0,00477 \text{ in} \quad (0,121 \text{ mm})$$

**Cálculos del refuerzo.** Para el cálculo del espesor mínimo requerido del refuerzo, se aplicará la siguiente fórmula, según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-37 del código ASME.

$$t_{min. req} = \frac{P \times D}{[(2 \times S_v) - (0,2 \times P)]} \quad (54)$$

Donde;

$t_{min. req}$  = Espesor mínimo requerido del refuerzo

$P$  = Presión de diseño

$D$  = Diámetro externo del refuerzo

$S_v$  = Esfuerzo admisible de la carcasa

$$t_{min. req} = \frac{256 \text{ psi} \times 56,6086 \text{ in}}{[(2 \times 20.000 \text{ psi}) - (0,2 \times 256 \text{ psi})]}$$

$$t_{min. req} = 0,3628 \text{ in} \quad (7,98 \text{ mm})$$

$$t_n = 0,13 \text{ in}$$

La abertura está exenta de refuerzo según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-36 (c) (3) (a) del código ASME.

- Verificación del tamaño de las soldaduras. Para este caso y según el Tomo VIII, división 1, subsección B, parte UW-16.1 (d) del código ASME

Espesor mínimo de la soldadura. Es expresado de la siguiente forma

$$t_{min} = \text{el valor mínimo entre } 0,75 \text{ in}, t_c, t_n \quad (55)$$

$$t_c = 0,4724 \text{ in}$$

$$t_n = 0,13 \text{ in}$$

Por tanto;

$$t_{min} = t_n = 0,13 \text{ in}$$

Espesor final de la soldadura de esquina. Es expresado de la siguiente forma

$$t_c = \text{el valor mínimo entre } 0,25 \text{ in y } (0,7 \times t_{min}) \quad (56)$$

$$= (0,7 \times 0,13 \text{ in})$$

$$= 0,0910 \text{ in}$$

Por tanto;

$$t_c = (0,7 \times t_{min}) = 0,0910 \text{ in}$$

$$Wlmin = \frac{t_c}{0,7} \quad (57)$$

$$Wlmin = \frac{0,0910 \text{ in}}{0,7}$$

$$Wlmin = 0,13 \text{ in}$$

$$Wl usado = 0,25 \text{ in}$$

$$W_{\text{usado}} = \frac{1}{4} \text{ "}$$

**7.2.4.9. Cálculo de la tubería de llenado de termos.** Para su identificación se llamará con las letras *LT*:

Cálculo del espesor del coupling. Para el cálculo del espesor mínimo requerido, se aplicará la siguiente fórmula, según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-44 del código ASME

- Diámetro externo del coupling ( $D_o$ ): 1,120 in (Tomo B16.11 del código ASME)
- Diámetro del tubo: 1/2 in (Tomo B16.11 del código ASME)

$$t_{\text{min. req}} = \frac{P \times D_o}{[2 \times (S_n + (0,4 \times P))] + C_n} \quad (58)$$

Donde;

$t_{\text{min. req}}$  = Espesor mínimo requerido del coupling

$P$  = Presión de diseño

$D_o$  = Diámetro externo del coupling

$S_n$  = Esfuerzo admisible del coupling

$C_n$  = Tolerancia de corrosión del coupling

$$t_{\text{min. req}} = \frac{256 \text{ psi} \times 1,120 \text{ in}}{[2 \times (20.000 \text{ psi} + (0,4 \times 256 \text{ psi}))] + 0}$$

$$t_{\text{min. req}} = 0,0071 \text{ in} \quad (0,18 \text{ mm})$$

**Cálculos del refuerzo.** Para el cálculo del espesor mínimo requerido del refuerzo, se aplicará la siguiente fórmula, según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-37 del código ASME.

$$t_{\text{min. req}} = \frac{P \times D}{[(2 \times S_v) - (0,2 \times P)]} \quad (59)$$

Donde;

$t_{\text{min. req}}$  = Espesor mínimo requerido del refuerzo

$P$  = Presión de diseño

$D =$  Diámetro externo del refuerzo

$S_v =$  Esfuerzo admisible de la carcasa

$$t_{min. req} = \frac{256 \text{ psi} \times 56,6086 \text{ in}}{[(2 \times 20.000 \text{ psi}) - (0,2 \times 256 \text{ psi})]}$$

$$t_{min. req} = 0,3628 \text{ in} \quad (7,98 \text{ mm})$$

$$t_n = 0,1930 \text{ in}$$

La abertura está exenta de refuerzo según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-36 (c) (3) (a) del código ASME.

- Verificación del tamaño de las soldaduras. Para este caso y según el Tomo VIII, división 1, subsección B, parte UW-16.1 (d) del código ASME

Espesor mínimo de la soldadura. Es expresado de la siguiente forma

$$t_{min} = \text{el valor mínimo entre } 0,75 \text{ in}, t_c, t_n \quad (60)$$

$$t_c = 0,4724 \text{ in}$$

$$t_n = 0,1930 \text{ in}$$

Por tanto;

$$t_{min} = t_n = 0,1930 \text{ in}$$

Espesor final de la soldadura de esquina. Es expresado de la siguiente forma

$$t_c = \text{el valor mínimo entre } 0,25 \text{ in y } (0,7 \times t_{min}) \quad (61)$$

$$= (0,7 \times 0,1930 \text{ in})$$

$$= 0,1351 \text{ in}$$

Por tanto;

$$t_c = (0,7 \times t_{min}) = 0,1351 \text{ in}$$

$$Wlmin = \frac{t_c}{0,7} \quad (62)$$

$$Wlmin = \frac{0,1351 \text{ in}}{0,7}$$

$$Wlmin = 0,1930 \text{ in}$$

$$Wlusado = 0,25 \text{ in}$$

$$Wlusado = \frac{1}{4} \text{ ''}$$

**7.2.4.10. Cálculo de la tubería de rebose.** Para su identificación se llamará con las letras RS:

- Cálculo del espesor del coupling. Para el cálculo del espesor mínimo requerido, se aplicará la siguiente fórmula, según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-44 del código ASME
- Diámetro externo del coupling ( $D_o$ ): 0,75 in (Tomo B16.11 del código ASME)
- Diámetro del tubo: 1/4 in (Tomo B16.11 del código ASME)

$$t_{min. req} = \frac{P \times D_o}{[2 \times (S_n + (0,4 \times P))] + C_n} \quad (63)$$

Donde;

$t_{min. req}$  = Espesor mínimo requerido del coupling

$P$  = Presión de diseño

$D_o$  = Diámetro externo del coupling

$S_n$  = Esfuerzo admisible del coupling

$C_n$  = Tolerancia de corrosión del coupling

$$t_{min. req} = \frac{256 \text{ psi} \times 0,75 \text{ in}}{[2 \times (20.000 \text{ psi} + (0,4 \times 256 \text{ psi}))] + 0}$$

$$t_{min. req} = 0,0048 \text{ in} \quad (0,12 \text{ mm})$$

**Cálculos del refuerzo.** Para el cálculo del espesor mínimo requerido del refuerzo, se aplicará la siguiente fórmula, según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-37 del código ASME.

$$t_{min. req} = \frac{P \times D}{[(2 \times S_v) - (0,2 \times P)]} \quad (64)$$

Donde;

$t_{min. req}$  = Espesor mínimo requerido del refuerzo

$P$  = Presión de diseño

$D$  = Diámetro externo del refuerzo

$S_v$  = Esfuerzo admisible de la carcasa

$$t_{min. req} = \frac{256 \text{ psi} \times 56,6086 \text{ in}}{[(2 \times 20.000 \text{ psi}) - (0,2 \times 256 \text{ psi})]}$$

$$t_{min. req} = 0,3628 \text{ in} \quad (7,98 \text{ mm})$$

$$t_n = 0,1050 \text{ in}$$

La abertura está exenta de refuerzo según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-36 (c) (3) (a) del código ASME.

- Verificación del tamaño de las soldaduras. Para este caso y según el Tomo VIII, división 1, subsección B, parte UW-16.1 (d) del código ASME

Espesor mínimo de la soldadura. Es expresado de la siguiente forma

$$t_{min} = \text{el valor mínimo entre } 0,75 \text{ in}, t_c, t_n \quad (65)$$

$$t_c = 0,4724 \text{ in}$$

$$t_n = 0,1050 \text{ in}$$

Por tanto;

$$t_{min} = t_n = 0,1050 \text{ in}$$

Espesor final de la soldadura de esquina. Es expresado de la siguiente forma

$$t_c = \text{el valor mínimo entre } 0,25 \text{ in y } (0,7 \times t_{min}) \quad (66)$$

$$= (0,7 \times 0,1050 \text{ in})$$

$$= 0,0735 \text{ in}$$

Por tanto;

$$t_c = (0,7 \times t_{min}) = 0,0735 \text{ in}$$

$$Wlmin = \frac{t_c}{0,7} \quad (67)$$

$$Wlmin = \frac{0,0735 \text{ in}}{0,7}$$

$$Wlmin = 0,1050 \text{ in}$$

$$Wl usado = 0,25 \text{ in}$$

$$Wl usado = \frac{1}{4} \text{ "}$$

**7.2.4.11. Cálculo de la tubería de alimentación de la bomba.** Para su identificación se llamará con las letras AB:

- Cálculo del espesor del coupling. Para el cálculo del espesor mínimo requerido, se aplicará la siguiente fórmula, según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-44 del código ASME
- Diámetro externo del coupling ( $D_o$ ): 1,75 in (Tomo B16.11 del código ASME)
- Diámetro del tubo: 1 in (Tomo B16.11 del código ASME)

$$t_{min. req} = \frac{P \times D_o}{[2 \times (S_n + (0,4 \times P))] + C_n} \quad (68)$$

Donde;

$t_{min. req}$  = Espesor mínimo requerido del coupling

$P$  = Presión de diseño

$D_o$  = Diámetro externo del coupling

$S_n$  = Esfuerzo admisible del coupling

$C_n$  = Tolerancia de corrosión del coupling

$$t_{min. req} = \frac{256 \text{ psi} \times 1,75 \text{ in}}{[2 \times (20.000 \text{ psi} + (0,4 \times 256 \text{ psi}))] + 0}$$

$$t_{min. req} = 0,0111 \text{ in} \quad (0,28 \text{ mm})$$

**Cálculos del refuerzo.** Para el cálculo del espesor mínimo requerido del refuerzo, se aplicará la siguiente fórmula, según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-37 del Código ASME.

$$t_{min. req} = \frac{P \times D}{[(2 \times S_v) - (0,2 \times P)]} \quad (69)$$

Donde;

$t_{min. req}$  = Espesor mínimo requerido del refuerzo

$P$  = Presión de diseño

$D$  = Diámetro externo del refuerzo

$S_v$  = Esfuerzo admisible de la carcasa

$$t_{min. req} = \frac{256 \text{ psi} \times 56,6086 \text{ in}}{[(2 \times 20.000 \text{ psi}) - (0,2 \times 256 \text{ psi})]}$$

$$t_{min. req} = 0,3628 \text{ in} \quad (7,98 \text{ mm})$$

$$t_n = 0,2175 \text{ in}$$

La abertura está exenta de refuerzo según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-36 (c) (3) (a) del código ASME.

- Verificación del tamaño de las soldaduras. Para este caso y según el Tomo VIII, división 1, subsección B, parte UW-16.1 (d) del código ASME

Espesor mínimo de la soldadura. Es expresado de la siguiente forma

$$t_{min} = \text{el valor mínimo entre } 0,75 \text{ in}, t_c, t_n \quad (70)$$

$$t_c = 0,4724 \text{ in}$$

$$t_n = 0,2175 \text{ in}$$

Por tanto;

$$t_{min} = t_n = 0,2175 \text{ in}$$

Espesor final de la soldadura de esquina. Es expresado de la siguiente forma

$$t_c = \text{el valor mínimo entre } 0,25 \text{ in y } (0,7 \times t_{min}) \quad (71)$$

$$= (0,7 \times 0,2175 \text{ in})$$

$$= 0,1523 \text{ in}$$

Por tanto;

$$t_c = (0,7 \times t_{min}) = 0,1523 \text{ in}$$

$$Wlmin = \frac{t_c}{0,7} \quad (72)$$

$$Wlmin = \frac{0,1523 \text{ in}}{0,7}$$

$$Wlmin = 0,2175 \text{ in}$$

$$Wl usado = 0,3750 \text{ in}$$

$$Wl usado = \frac{1}{4} \text{ "}$$

En la siguiente tabla se hace un resumen de los resultados obtenidos para los couplings, las tuberías y soldaduras del manifold.

Tabla 36.

*Resumen couplings, tubería y soldadura de manifold.*

	<b>Espesor mínimo requerido del coupling</b>	<b>Diámetro externo del coupling</b>	<b>Diámetro nominal del coupling</b>	<b>Espesor mínimo de la soldadura de esquina</b>	<b>Espesor final de la soldadura de esquina</b>
Línea de venteo (ve)	0,0111" = 0,28mm	1,75" = 44,45mm	1" = 25,4mm	0,2175 = 5,52mm	0,25 = 6,35mm = ¼"
Línea de llenado superior (ls)	0,0159" = 0,40mm	2,5" = 63,5mm	1 ½" = 38,1mm	0,25" = 6,35mm	0,3750" 0 9,52mm = 3/8"
Línea de retorno de la bomba (rb)	0,0071" = 0,18mm	1,120" = 28,49mm	½" = 12,7mm	0,1610" = 4,09mm	0,25 = 6,35mm = ¼"
Línea de indicador de nivel fase gas (ig)	0,0048" = 0,12mm	0,75" = 19,05mm	¼" = 6,35mm	0,1050" = 2,67mm	0,25 = 6,35mm = ¼"
Línea del economizador (ec)	0,0071" = 0,18mm	1,120" = 28,49mm	½" = 12,7mm	0,1425" = 3,62mm	0,25 = 6,35mm = ¼"
Línea de drenaje (dr)	0,0111" = 0,28mm	1,75" = 44,45mm	1" = 25,4mm	0,1523" = 3,87mm	0,25 = 6,35mm = ¼"
Línea de llenado inferior (li)	0,0159" = 0,40mm	2,5" = 63,5mm	1 ½" = 38,1mm	0,25" = 6,35mm	0,3750" 0 9,52mm = 3/8"
Línea de indicador de fase líquida (nl)	0,0041" = 0,10mm	0,75" = 19,05mm	¼" = 6,35mm	0,13" = 3,30mm	0,25 = 6,35mm = ¼"
Línea de llenado de termos (lt)	0,0071" = 0,18mm	1,120" = 28,49mm	½" = 12,7mm	0,1350" = 3.43mm	0,25 = 6,35mm = ¼"
Línea de rebose (rs)	0,0048" = 0,12mm	0,75" = 19,05mm	¼" = 6,35mm	0,1050" = 2,67mm	0,25 = 6,35mm = ¼"
Línea de alimentación de la bomba (ab)	0,0111" = 0,28mm	1,75" = 44,45mm	1" = 25,4mm	0,2175 = 5,52mm	0,3750" 0 9,52mm = 3/8"

*Nota.* Autoría propia.

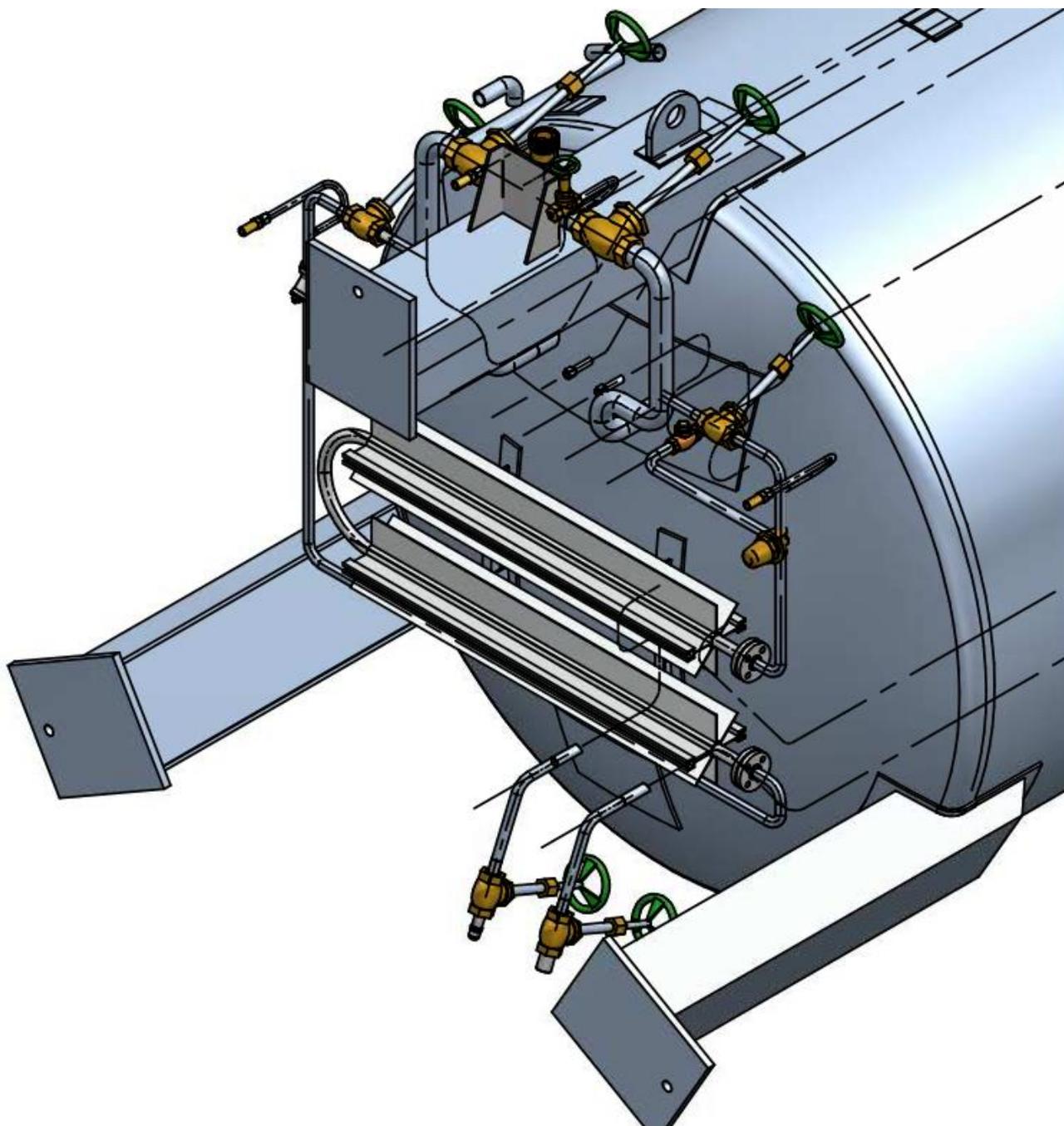


Figura 54. Esquema tubería manifold CAD. Autoría propia.

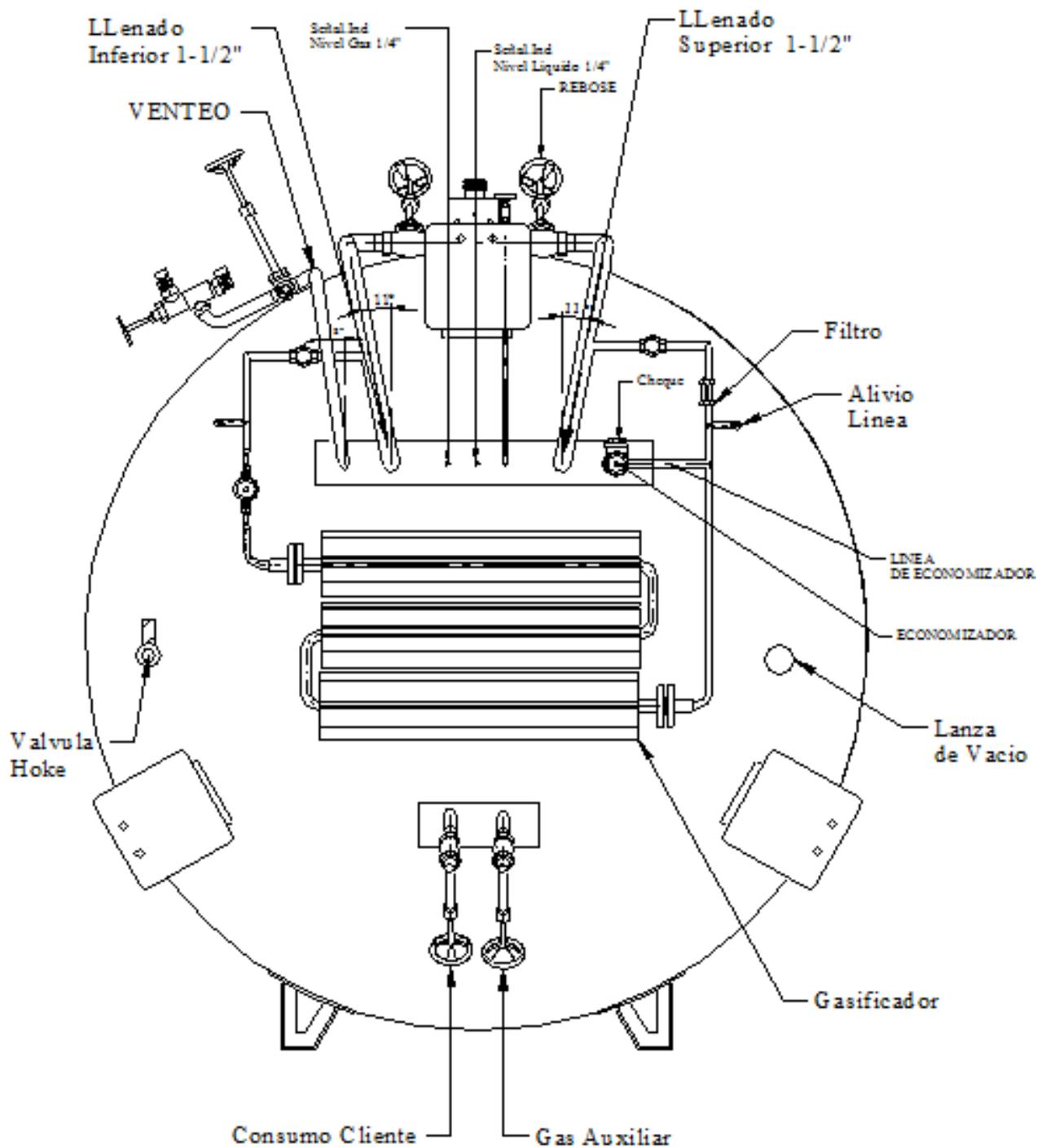


Figura 55. Vista inferior manifold. Oxigar.

### 7.2.5. Cálculo del gasificador de aumento de presión.

Permite el proceso de gasificación del producto oxígeno en estado líquido almacenado en el tanque estacionario a estado gaseoso, cálculo y especificaciones se hace a continuación;

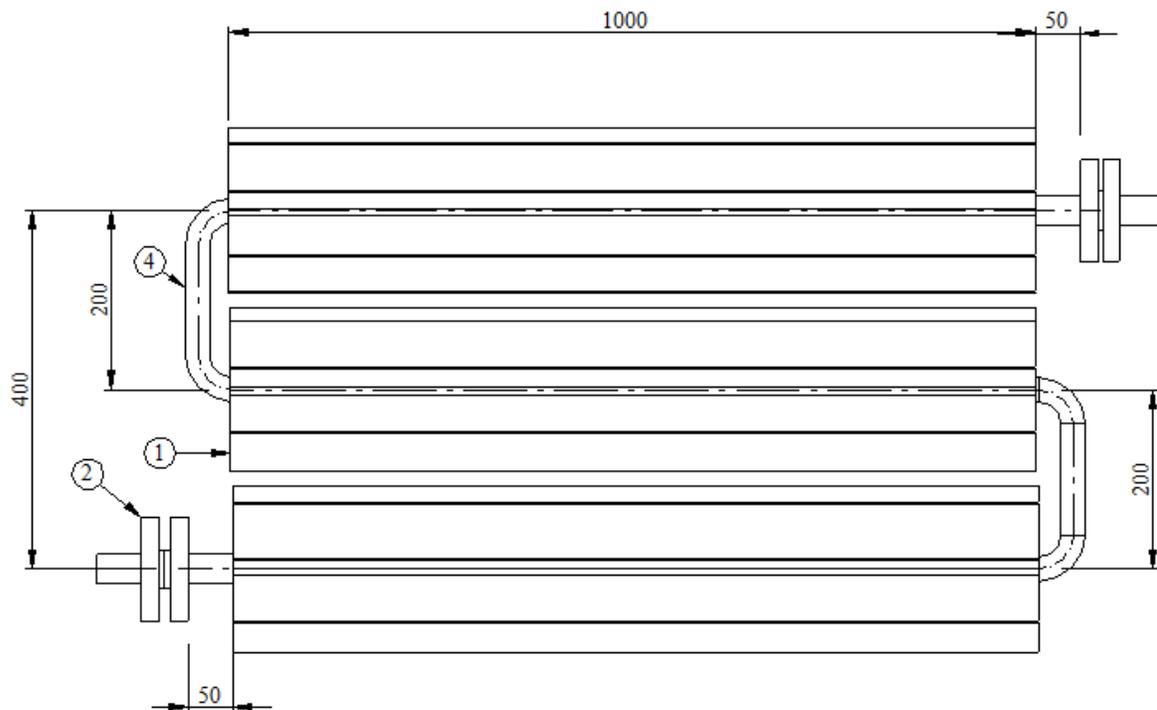


Figura 56. Cálculos y especificaciones de gasificador, aumento de presión. Autoría propia.

Teniendo en cuenta las medidas conocidas y configuración del gasificador se tienen los cálculos y especificaciones en la siguiente tabla;

Tabla 37.

*Dimensiones de gasificador.*

Descripción	Dimensión
Diámetro interno del tubo de aluminio ( $d_i$ )	26 mm = 0,026 m = 1,027 in
Diámetro externo del tubo de aluminio ( $d_e$ )	34 mm = 0,034 m = 1,339 in
Diámetro externo entre aletas ( $d_a$ )	174 mm = 0,174 m = 6,850 in
Espesor de raíz de la aleta ( $Y$ )	4 mm = 0,004 m = 0,157 in
Altura de la aleta ( $h$ )	70 mm = 0,07 m = 2,756 in
Longitud de la aleta ( $L$ )	1.000 mm = 1 m = 39,37 in
Distribución de aletas	3 x 1

*Nota.* Autoría propia.

En la siguiente tabla se menciona la temperatura que tiene el oxígeno líquido a la entrada del gasificador, y la temperatura que tiene el oxígeno gaseoso a la salida del gasificador, también se tiene el flujo másico total de oxígeno que es convertido por el gasificador;

Tabla 38.

*Datos de entrada.*

Temperatura de entrada del O <sub>2</sub> (T <sub>1</sub> )	-195,56°C
Temperatura de salida del O <sub>2</sub> (T <sub>2</sub> )	18°C
Flujo másico de O <sub>2</sub> ( $\dot{m}$ )	1.105 kg / h

*Nota.* Autoría propia.

Las propiedades del O<sub>2</sub> se describen a continuación;

Tabla 39.

*Propiedades del oxígeno.*

Producto	O <sub>2</sub>
Descripción	
Densidad del líquido ( $\rho$ )	1.140 kg / m <sup>3</sup>
Densidad gas en punto de sublimación ( $\rho$ )	2,813 kg / m <sup>3</sup>
Calor específico (C <sub>p</sub> )	0,92 KJ / Kg °K
Punto de ebullición (sublimación) (T <sub>B</sub> )	-182,96°C
Calor de vaporización (L <sub>v</sub> )	214 KJ / Kg
Coefficiente de transferencia de calor (h <sub>f</sub> )	2 W / m <sup>2</sup> °K

*Nota.* Fuente: Enciclopedia Air liquide

Las propiedades del material que se utiliza para el gasificador se describen a continuación;

Tabla 40.

*Propiedades del aluminio.*

Material	Aleación de aluminio b345 s-23, 6063 temple t-5 @100°F
Descripción	
Módulo de elasticidad	70 Gpa
Conductividad térmica @ 25°C (K)	238 W / m* °C
Densidad ( $\rho$ )	2.700 kg / m <sup>3</sup>
Coefficiente de dilatación térmica ( $\alpha$ )	0,0000235 mm / °C
Eficiencia de junta del material (E)	1
Máximo esfuerzo admisible del material (S <sub>ult</sub> )	5.700 psi = (273.030 Pa)

*Nota.* Modulo de materiales solid edge ST9

### 7.2.5.1. *Espesor de un tubo aleteado.*

$$e_{t.a} = \left[ \frac{\left( \frac{d_e - d_i}{2} \right)}{\left( \frac{25,4mm}{1in} \right)} \right] \quad (73)$$

Donde;

$e_{t.a}$  = Espesor de un tubo aleteado

$d_e$  = Diámetro externo del tubo

$d_i$  = Diámetro interno del tubo

$$t = \left[ \frac{\left( \frac{34mm - 26mm}{2} \right)}{\left( \frac{25,4mm}{1in} \right)} \right]$$

$e_{t.a} = 4,005 \text{ mm} \quad (0,004 \text{ m}) \quad (0,1575 \text{ in})$

### 7.2.5.2. *Presión máxima para el espesor de tubo calculado.*

$$P_{max} = \frac{2 \times S_{ult} \times E \times e_{t.a}}{d_e - (0,4 \times e_{t.a})} \quad (74)$$

Donde;

$P_{max}$  = Presión máxima para el espesor de tubo;

$e_{t.a} = 0,1575 \text{ in}$

$S_{ult}$  = Máximo esfuerzo admisible

$E$  = Eficiencia de junta

$e_{t.a}$  = Espesor de un tubo aleteado

$d_e$  = Diámetro externo del tubo

$$P_{max} = \frac{2 \times 5.700 \text{ psi} \times 1 \times 0,1575 \text{ in}}{1,3385 \text{ in} - (0,4 \times 0,1575 \text{ in})}$$

$$P_{max} = 1.407,68 \text{ psig} \approx 1.408 \text{ psig}$$

**7.2.5.3. Máxima presión de trabajo admisible MAWP del tubo.**

$$MAWP_t = \frac{P_{max}}{2} \quad (75)$$

Donde;

$MAWP_t$  = Máxima presión de trabajo admisible

$P_{max}$  = Presión máxima para el espesor de tubo  $e_{t.a}$

$$MAWP_t = \frac{1.407,68 \text{ psig}}{2}$$

$$MAWP_t = 703,84 \text{ psig} \approx 704 \text{ psig}$$

**7.2.5.4. Factor de seguridad del diseñador.**

$$F.S_d = \frac{P_{max}}{MAWP_t} \quad (76)$$

Donde;

$F.S_d$  = Factor de seguridad del diseñador

$P_{max}$  = Presión máxima para el espesor de tubo  $e_{t.a}$

$MAWP_t$  = Máxima presión de trabajo admisible

$$F.S_d = \frac{1.407,68 \text{ psig}}{703,84 \text{ psig}}$$

$$F.S_d = 2$$

**7.2.5.5. Capacidad volumétrica de 1 metro de aleta.**

$$V_a = \frac{\pi \times (d_i)^2}{4} \times L \quad (77)$$

Donde;

$V_a$  = Capacidad volumétrica de 1 metro de aleta

$\pi$  = Pi (3,1416)

$d_i$  = Diámetro del tubo

$L$  = Longitud de la aleta

$$V_a = \frac{3,1416 \times (0,026 \text{ m})^2}{4} \times 1 \text{ m}$$

$$V_a = 0,00053 \text{ m}^3$$

#### 7.2.5.6. Calor cedido por el oxígeno.

$$Q_{c.o} = Q_{\text{vaporización}} \times \dot{m}_{O_2} \quad (78)$$

Donde;

$Q_{c.o}$  = Calor cedido por el oxígeno

$Q_{\text{vaporización}}$  = Calor de vaporización del oxígeno

$\dot{m}_{O_2}$  = Flujo másico de oxígeno consumido por hora

$$Q_{c.o} = 214 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \times 1.105 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$Q_{c.o} = 236.470 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

$$\text{Factor} = \frac{236.470 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}}{224.130 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}} \quad (\text{factor de conversión})$$

$$\text{Factor} = 1,05$$

#### 7.2.5.7. Eficiencia de cada aleta de un tubo.

$$L_c = h + \left(\frac{Y}{2}\right) \quad (79)$$

Donde;

$h$  = Altura de ala aleta

$Y$  = Espesor de raíz de la aleta

$$L_c = 0,07 \text{ m} + \left(\frac{0,004 \text{ m}}{2}\right)$$

$$L_c = 0,072 \text{ m}$$

$$m = \sqrt{\frac{2 \times h_f}{K \times Y}} \quad (80)$$

Donde;

$h_f$  = Coeficiente de transferencia de calor del oxígeno

$K$  = Conductividad térmica del aluminio

$Y$  = Espesor de raíz de la aleta

$$m = \sqrt{\frac{2 \times 2 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ\text{C}}}{238 \frac{W}{m \text{ } ^\circ\text{C}} \times 0,004 \text{ m}}}$$

$$m = 2,0498$$

$$\eta_{c.a} = \frac{\tanh(m \times L_c)}{m \times L_c} \quad (81)$$

Donde;

$\eta_{c.a}$  = Eficiencia de cada aleta de un tubo

$$\eta_{c.a} = \frac{\tanh(2,0498 \times 0,072 \text{ m})}{2,0498 \times 0,072 \text{ m}}$$

$$\eta_{c.a} = 5,86 \%$$

$$\eta_{t.a} = \eta_{c.a} \times \# \text{ aletas por tubo}$$

Donde;

$\eta_{t.a}$  = Eficiencia de un tubo aleteado

$\eta_{c.a}$  = Eficiencia de cada aleta de un tubo

# aletas por tubo = Número de aletas por tubo

$$\eta_{t.a} = 5,86 \% \times 8$$

$$\eta_{t.a} = 46,88 \%$$

### 7.2.5.8. Área de un tubo sin aletas.

$$A_{t.s.a} = \pi \times d_e \times L \quad (82)$$

Donde;

$A_{t.s.a}$  = Área de un tubo sin aletas

$\pi = Pi$  (3,1416)

$d_e$  = Diámetro externo del tubo

$L$  = Longitud de la aleta

$$A_{t.s.a} = 3,1416 \times 34 \text{ mm} \times 1.000 \text{ mm}$$

$$A_{t.s.a} = 106.814 \text{ mm}^2 \quad (0,1068 \text{ m}^2)$$

### 7.2.5.9. Calor cedido por el oxígeno sin aletas.

$$Q_{o.s.a} = A_{t.s.a} \times h_f \times (T_2 - T_1) \quad (83)$$

Donde;

$Q_{o.s.a}$  = Calor cedido por el oxígeno sin aletas

$A_{t.s.a}$  = Área de un tubo sin aletas

$h_f$  = Coeficiente de transferencia de calor del oxígeno

$T_1$  = Temperatura de entrada del oxígeno

$T_2$  = Temperatura de salida del oxígeno

$$Q_{o.s.a} = 0,1068 \text{ m}^2 \times 2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \times (18 \text{ } ^\circ\text{C} - (-195,56 \text{ } ^\circ\text{C}))$$

$$Q_{o.s.a} = 213,56 \text{ W}$$

$$Q_{o.s.a} = 213,56 \text{ W} \times \text{factor de calor cedido por el oxígeno}$$

$$Q_{o.s.a} = 213,56 \text{ W} \times 1,05$$

$$Q_{o.s.a} = 224,2 \frac{BTU}{h}$$

### 7.2.5.10. Área de un tubo con aletas.

$$A_{(t.c.a)} = (\pi \times d_e \times L) + [(h \times L \times 2 \times \#aletas \times tubo) + (Y \times L \times \#aletas \times tubo)] + (0,035 \times L \times 4) + (Y \times L \times 4) \quad (84)$$

Donde;

$A_{t.c.a}$  = Área de un tubo con aletas

$\pi = 3,1416$

$d_e$  = Diámetro externo del tubo

$L$  = Longitud de la aleta

$h$  = Altura de la aleta

$Y$  = Espesor de raíz de la aleta

$$\begin{aligned} A_{t.c.a} &= (3,1416 \times 34mm \times 1.000mm) \\ &+ [(70mm \times 1.000mm \times 2 \times 8) + (4mm \times 1.000mm \times 8)] \\ &+ (0,035 \times 1.000mm \times 4) + (4mm \times 1.000mm \times 4) \end{aligned}$$

$$A_{t.c.a} = 1.274.954 \text{ mm}^2 \quad (1,2749 \text{ m}^2)$$

### 7.2.5.11. Área del gasificador.

$$A_{s.g} = A_{t.c.a} \times 3 \quad (85)$$

Donde;

$A_{s.g}$  = Área del gasificador

$A_{t.c.a}$  = Área de un tubo con aletas

3 = # de tubos aleteados del gasificador

$$A_{s.g} = 1.274.954 \text{ mm}^2 \times 3$$

$$A_{s.g} = 3.824.862 \text{ mm}^2 \quad (3,8248 \text{ m}^2)$$

### 7.2.5.12. Calor cedido por el oxígeno con aletas.

$$Q_{o.c.a} = A_{t.c.a} \times \eta_{t.a} \times h_f \times (T_2 - T_1) \quad (86)$$

Donde;

$Q_{o.c.a}$  = Calor cedido por el oxígeno con aletas

$A_{t.c.a}$  = Área de un tubo sin aletas

$h_f$  = Coeficiente de transferencia de calor del oxígeno

$\eta_{t.a}$  = Eficiencia de un tubo aleteado

$T_1$  = Temperatura de entrada del oxígeno

$T_2$  = Temperatura de salida del oxígeno

$$Q_{o.c.a} = 1,2749 \text{ m}^2 \times 46,88 \times 2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \times (18 \text{ } ^\circ\text{C} - (-195,56 \text{ } ^\circ\text{C}))$$

$$Q_{o.s.a} = 25.527,81 \text{ W}$$

$$Q_{o.c.a} = 9.323,7006 \text{ W} \times \text{factor de calor cedido por el oxígeno}$$

$$Q_{o.c.a} = 25.527,81 \text{ W} \times 1,05$$

$$Q_{o.c.a} = 26.804 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

#### 7.2.5.13. Eficiencia de cada tubo sin aletas.

$$\eta_{t.s.a} = \frac{Q_{o.s.a} \times \eta_{t.a}}{Q_{o.c.a}} \times 100 \quad (87)$$

Donde;

$\eta_{t.s.a}$  = Eficiencia de un tubo sin aletas

$Q_{o.s.a}$  = Calor cedido por el oxígeno sin aletas

$\eta_{t.a}$  = Eficiencia de un tubo aleteado

$$\eta_{t.s.a} = \frac{213,56 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} \times 46,88 \%}{26.804 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}} \times 100$$

$$\eta_{t.s.a} = 37,4 \%$$

#### 7.2.5.14. Eficiencia total del tubo aleteado.

$$\eta_{t.t.a} = \eta_{t.s.a} + (\eta_{c.a} \times \#aletas \text{ por tubo}) \quad (88)$$

Donde;

$\eta_{t.t.a}$  = Eficiencia total de un tubo aleteado

$\eta_{t.s.a}$  = Eficiencia de un tubo sin aletas

$Q_{c.a}$  = Eficiencia de cada aleta de un tubo

$$\eta_{t.t.a} = 37,4 \% + (5,86 \% \times 8)$$

$$\eta_{t.t.a} = 84,3 \%$$

#### 7.2.5.15. Capacidad de calor cedido.

$$Q_c = Q_{o.c.a} \times (3 \times 1) \quad (89)$$

Donde;

$Q_c$  = Capacidad de calor cedido

$Q_{o.c.a}$  = Calor cedido por el oxígeno con aletas

$$Q_c = 26.804 \frac{BTU}{h} \times (3 \times 1)$$

$$Q_c = 80.412 \frac{BTU}{h}$$

**7.2.5.16. Porcentaje de respuesta antes de saturación.** Para determinar el tiempo de respuesta del gasificador antes de la situación completa se debe analizar la capacidad de ceder calor del sistema de aletas comparado con la capacidad de ceder calor del oxígeno sin aletas, el resultado de esta comparación nos dará un porcentaje de saturación del sistema de aletas, que al evaluarlo en un intervalo de una hora nos dará una aproximación del tiempo de utilización antes del inicio de la saturación.

$$\%_{r.a.s} = \frac{Q_c}{Q_{c.o}} \quad (90)$$

Donde;

$\%_{r.a.s}$  = respuesta antes de saturación

$Q_c$  = Capacidad de calor cedido

$Q_{c.o}$  = Calor cedido por el oxígeno

$$\%_{r.a.s} = \frac{80.412 \frac{BTU}{h}}{224.130 \frac{BTU}{h}}$$

$$\%_{r.a.s} = 0,35 = 35\%$$

Este porcentaje indica la capacidad del gasificador de aumento de presión del tanque para incrementar la presión en un trabajo constante.

#### 7.2.5.17. Consumo de aleta por metro.

$$C_a = \frac{V_a \times Q_{o.c.a}}{2,4} \quad (91)$$

Donde;

$C_a$  = Consumo de oxígeno por metro

$V_a$  = Volumen de 1 m de aleta

$Q_{o.c.a}$  = Calor cedido por el oxígeno con aletas

$$C_a = \frac{0,00053 \text{ m}^3 \times 26.804 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}}{2,4}$$

$$C_a = 5,9 \frac{\text{m}^3}{\text{m}}$$

En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos por medio de los cálculos para el gasificador de aletas;

Tabla 41.

*Resumen cálculos del gasificador.*

<b>Cálculos térmicos requeridos</b>	
Capacidad Volumétrica de 1m de aleta ( $V_a$ )	0,00053m <sup>3</sup>
Calor cedido por el producto ( $Q_{c.o}$ )	224.130 B TU / h
Eficiencia de cada aleta ( $\eta_{t.a}$ )	5,90%
Calor cedido por el oxígeno sin aletas/m ( $Q_{os.a}$ )	17 B TU / h
Calor cedido por el oxígeno con aletas/m ( $Q_{oc.a}$ )	26.804 B TU / h
Eficiencia de tubo sin aletas ( $\eta_{t.s.a}$ )	37,4%
Eficiencia total del tubo aleteado ( $\eta_{t.t.a}$ )	84,3%
<b>Gasificador seleccionado</b>	
Capacidad de calor cedido ( $Q.c$ )	80.412 B TU / h

Tiempo de respuesta antes de saturación ( $t_{r.a.s}$ )	0,35 h (21 min)
Consumo de aleta /m ( $C_a$ )	5,9 m <sup>3</sup> /m

*Nota.* Autoría propia.

### 7.2.6. Cálculo de flujo de calor total en el recipiente.

En el cálculo de este se tiene en cuenta el aislamiento térmico y el oxígeno líquido depositado en el tanque de almacenamiento, hay que tener en cuenta las siguientes especificaciones;

El proceso es iterativo, ya que los coeficientes de convección a utilizar dependen de la distribución de temperaturas y estas dependen así mismo de los coeficientes utilizados

La resistencia térmica convectiva y el coeficiente de convección al interior del tanque es despreciable o nulo, ya que en su interior almacena oxígeno en estado líquido con un coeficiente de convección muy grande en comparación al coeficiente exterior

En el caso de líquidos criogénicos y en cambio de fase, solo existe transferencia de calor por convección, el intercambio de calor por radiación es despreciable ya que las superficies internas del tanque están a la misma temperatura del líquido criogénico, entonces se asigna un valor de coeficiente de película de radiación nulo  $h_{rad} = 0$ .

Teniendo en cuenta esto, se calcula la resistencia térmica de la pared de material acero inoxidable en el que está fabricado el tanque interno con las siguientes especificaciones;

$$r_{ext} = \frac{1.700 \text{ mm}}{2} = 850 \text{ mm}$$

$$r_{int} = \frac{1.700 \text{ mm} - 24 \text{ mm}}{2} = 838 \text{ mm}$$

$$R_{\text{térmica pared tanque interno}} = \frac{\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{2 \times \pi \times k_{\text{acero inoxidable}}} \quad (92)$$

Donde;

$R_{\text{térmica tanque interno}}$  = Resistencia térmica de la pared del tanque interno

$r_{ext}$  = Radio externo del tanque interno

$r_{int}$  = Radio interior del tanque interno

$\pi$  = Pi (3,1416)

$k_{\text{acero inoxidable}} = \text{Conductividad térmica del acero inoxidable}$

$$R_{\text{térmica pared tanque interno}} = \frac{\ln\left(\frac{0,85 \text{ m}}{0,838 \text{ m}}\right)}{2 \times 3,1416 \times 16 \frac{W}{m \text{ } ^\circ K}}$$

$$R_{\text{térmica pared tanque interno}} = 0,000141 \frac{W}{m \text{ } ^\circ K}$$

Se calcula la resistencia térmica de la capa total de material aislante fibra de vidrio con las siguientes especificaciones;

$$r_{\text{ext}} = \frac{1.700 \text{ mm}}{2} + 120 \text{ mm} = 970 \text{ mm}$$

$$r_{\text{int}} = \frac{1.700 \text{ mm}}{2} = 850 \text{ mm}$$

$$R_{\text{térmica capa fibra de vidrio}} = \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{ext}}}{r_{\text{int}}}\right)}{2 \times \pi \times k_{\text{fibra de vidrio}}} \quad (93)$$

Donde;

$R_{\text{térmica capa fibra de vidrio}} = \text{Resistencia térmica de capa total de fibra de vidrio}$

$r_{\text{ext}} = \text{Radio externo de la capa de fibra de vidrio}$

$r_{\text{int}} = \text{Radio interno de la capa de fibra de vidrio}$

$\pi = \text{Pi (3,1416)}$

$k_{\text{fibra de vidrio}} = \text{Conductividad térmica de la fibra de vidrio}$

$$R_{\text{térmica capa fibra de vidrio}} = \frac{\ln\left(\frac{0,97 \text{ m}}{0,85 \text{ m}}\right)}{2 \times 3,1416 \times 0,0039 \frac{W}{m \text{ } ^\circ K}}$$

$$R_{\text{térmica capa fibra de vidrio}} = 0,539 \frac{W}{m \text{ } ^\circ K}$$

Se calcula la resistencia térmica de la capa total de material complementario reflectivo papel aluminio con las siguientes especificaciones;

$$r_{ext} = \frac{1.700 \text{ mm}}{2} + 4,2 \text{ mm} = 854,2 \text{ mm}$$

$$r_{int} = \frac{1.700 \text{ mm}}{2} = 850 \text{ mm}$$

$$R_{\text{t\u00e9rmica capa papel aluminio}} = \frac{\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{2 \times \pi \times k_{\text{papel aluminio}}} \quad (94)$$

Donde;

$R_{\text{t\u00e9rmica capa papel aluminio}}$  = Resistencia t\u00e9rmica de capa total de papel aluminio

$r_{ext}$  = Radio externo de la capa de papel aluminio

$r_{int}$  = Radio interno de la capa de papel aluminio

$\pi$  = Pi (3,1416)

$k_{\text{papel aluminio}}$  = Conductividad t\u00e9rmica del papel aluminio

$$R_{\text{t\u00e9rmica capa papel aluminio}} = \frac{\ln\left(\frac{0,8542 \text{ m}}{0,85 \text{ m}}\right)}{2 \times 3,1416 \times 0,000017 \frac{W}{m \text{ } ^\circ K}}$$

$$R_{\text{t\u00e9rmica capa papel aluminio}} = 46,15 \frac{W}{m \text{ } ^\circ K}$$

Se calcula la resistencia t\u00e9rmica de la pared de material acero al carbono en el que est\u00e1 fabricado el tanque externo con las siguientes especificaciones;

$$r_{ext} = \frac{2.209 \text{ mm}}{2} = 1104,5 \text{ mm}$$

$$r_{int} = \frac{2.209 \text{ mm} - 9,525 \text{ mm}}{2} = 1094,975 \text{ mm}$$

$$R_{\text{t\u00e9rmica pared tanque externo}} = \frac{\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{2 \times \pi \times k_{\text{acero al carbono}}} \quad (95)$$

Donde;

$R_{\text{térmica tanque externo}} = \text{Resistencia térmica de la pared del tanque externo}$

$r_{\text{ext}} = \text{Radio exterior del tanque externo}$

$r_{\text{int}} = \text{Radio interior del tanque externo} = \text{Pi (3,1416)}$

$k_{\text{acero al carbono}} = \text{Conductividad térmica del acero al carbono}$

$$R_{\text{térmica pared tanque externo}} = \frac{\ln\left(\frac{1,1045 \text{ m}}{1,0950 \text{ m}}\right)}{2 \times 3,1416 \times 41 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}}$$

$$R_{\text{térmica pared tanque externo}} = 0,0000335 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

Se suman los totales de resistencias térmicas de los materiales tanto de tanque interno, fibra de vidrio, papel aluminio y tanque externo, para hallar el valor de resistencia térmica de los materiales componentes del sistema tanque-aislamiento;

$$R_{\text{térmica convectiva componentes}} = \sum \text{resistencias térmicas componentes} \quad (96)$$

$$R_{\text{térmica convectiva componentes}} = (0,000141 + 0,539 + 46,15 + 0,0000335) \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$R_{\text{térmica convectiva componentes}} = 46,39 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

Para el cálculo del coeficiente de convección en la superficie exterior siendo un flujo de tipo laminar se tiene;

$$h_{\text{convección}} = 1,32 \times \sqrt[4]{\frac{\Delta T}{D_{\text{ext}}}} \quad (97)$$

Donde;

$h_{\text{convección}} = \text{Coeficiente de convección externa}$

$D_{\text{ext}} = \text{Diámetro exterior del tanque externo}$

$\Delta T = \text{Diferencia de temperaturas entre la } T_{\text{oxígeno líquido}} \text{ y } T_{\text{ambiente}}$

$$h_{convección} = 1,32 \times \sqrt[4]{\frac{20\text{ °C} - (-195,96\text{ °C})}{2,290\text{ m}}}$$

$$h_{convección} = 4,15 \frac{W}{m^2 \text{ °K}}$$

Para el cálculo del coeficiente de radiación en la superficie exterior se tiene;

$$h_{radiación} = \varepsilon \times \sigma \times (T_{sup.tanque\ interno} + T_{ambiente}) \times (T_{sup.tanque\ interno}^2 + T_{ambiente}^2) \quad (98)$$

Donde;

$h_{radiación}$  = Coeficiente de radiación externo

$\varepsilon$  = Coeficiente de emisividad de la superficie externa

$\sigma$  = Constante de Stefan – Boltzman

$T_{sup.tanque\ interno}$  = Temperatura del tanque interno

$T_{ambiente}$  = Temperatura del ambiente

$$h_{radiación} = \left( \left( 0,90 \times 5,67e^{-8} \frac{W}{m^2 \text{ °K}^4} \right) \times (77,19\text{ °K} + 293,15\text{ °K}) \right) \times ((77,19\text{ °K})^2 + (293,15\text{ °K})^2)$$

$$h_{radiación} = 1,73 \frac{W}{m^2 \text{ °K}}$$

Para obtener el coeficiente de convección-radiación exterior se suma el coeficiente de convección externo y el coeficiente de radiación externo de la siguiente manera;

$$h_{convección-radiación\ externo} = h_{convección\ externo} + h_{radiación\ externo} \quad (99)$$

$$h_{convección-radiación\ externo} = 4,15 \frac{W}{m^2 \text{ °K}} + 1,73 \frac{W}{m^2 \text{ °K}}$$

$$h_{convección-radiación\ externo} = 5,88 \frac{W}{m^2 \text{ °K}}$$

La resistencia térmica por convección de capas cilíndrica se expresa de la siguiente forma;

$$R_{conv. \text{ capas cilíndrica}} = \frac{1}{2 \times \pi \times r_{ext. \text{ tanque externo}} \times h_{conv-rad}} \quad (100)$$

Donde;

$R_{conv. \text{ capa cilíndrica}}$  = Resistencia térmica en capas cilíndricas

$h_{conv-rad}$  = Coeficiente de convección – radiación

$\pi$  = Pi (3,1416)

$r_{ext. \text{ tanque externo}}$  = Radio exterior del tanque externo

$$R_{conv. \text{ capas cilíndrica}} = \frac{1}{2 \times 3,1416 \times 1,1045 \text{ m} \times 5,88 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}}$$

$$R_{conv. \text{ capas cilíndrica}} = 0,0245 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}$$

La resistencia térmica total es la suma de la resistencia térmica de los componentes y la resistencia térmica convectiva de una capa cilíndrica con la siguiente expresión;

$$R_{t\acute{e}rmica \text{ total}} = R_{t\acute{e}rmica \text{ convectiva componentes}} + R_{conv. \text{ capas cilíndrica}} \quad (101)$$

$$R_{t\acute{e}rmica \text{ total}} = 46,69 \frac{W}{m \cdot ^\circ K} + 0,0245 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}$$

$$R_{t\acute{e}rmica \text{ total}} = 46,71 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}$$

La pérdida de calor por metro se calcula de la siguiente forma;

$$\frac{q}{H} \Big|_{cilindro} = \frac{T_{amb} - T_{superficie \text{ interna}}}{R_{t\acute{e}rmica \text{ total}}} \quad (102)$$

$$\frac{q}{H}\Big|_{cilindro} = \frac{20\text{ }^{\circ}\text{C} - (-195,96\text{ }^{\circ}\text{C})}{46,71 \frac{W}{m\text{ }^{\circ}\text{K}}}$$

$$\frac{q}{H}\Big|_{cilindro} = 4,62 \frac{W}{m}$$

Finalmente, el flujo de calor total del depósito está dado por la siguiente expresión;

$$q = \frac{\frac{q}{H}\Big|_{cilindro}}{2 \times \pi \times r_{int}} \times [(\pi \times r_{int}^2) + (2 \times \pi \times r_{int} \times L) + (\pi \times r_{int}^2)] \quad (103)$$

Donde;

$$\frac{q}{H}\Big|_{cilindro} = \text{Pérdida de calor por metro}$$

$r_{int}$  = Radio exterior del tanque interno

$L$  = Longitud del tanque interno

$\pi$  = Pi (3,1416)

$$q = \frac{4,62 \frac{W}{m}}{2 \times 3,1416 \times 0,85\text{ m}} \times [(\pi \times (0,85\text{ m})^2) + (2 \times 3,1416 \times 0,85\text{ m} \times 4\text{ m}) + (3,1416 \times (0,85\text{ m})^2)]$$

$$q = 22,407\text{ W}$$

### 7.2.7. Cálculo del espesor del tanque externo.

Para el cálculo del espesor del tanque externo se llevará una serie de pasos según el tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-28 del código ASME.

Por los cálculos anteriormente hallados, y conociendo los datos del recipiente interna y el espesor del aislamiento, se tiene como resultado un espacio anular entre tanque interno y externo de 200 mm por cada lado, con estos valores es suficiente para calcular recipiente externo.

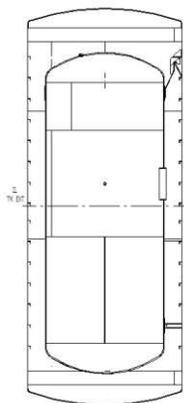


Figura 57. Espacio anular entre tanques. Autoría propia.

El nivel de vacío en el espacio anular debe ser por debajo de 50 micrones en caliente, al ser sacado el tanque del proceso de secado y expuesto a la temperatura ambiente este baja entre 10 y 15 micrones, enseguida el proceso de enfriamiento del tanque interno se debe hacer por medio de nitrógeno a presión, y cuando el tanque se encuentre frío se llena con el oxígeno líquido alcanzando mediciones entre los 4 y 6 micrones, este es el rango final en el que debe estar un tanque de estas características.

El primer paso es asumir un valor de espesor  $t$  y determinar las relaciones  $L/D_o$  y  $D_o/t$  de la siguiente forma;

El valor asumido para el espesor  $t$  del recipiente será;

$$t = \frac{3}{8}'' \quad (9,525 \text{ mm}) \quad (0,3750 \text{ in})$$

$$\frac{L_s}{D_o} = \frac{70,87 \text{ in}}{86,96 \text{ in}}$$

$$\frac{L_s}{D_o} = 0,82$$

$$\frac{D_o}{t} = \frac{86,96 \text{ in}}{0,3750 \text{ in}}$$

$$\frac{D_o}{t} = 232$$

Ahora según el tomo IID, subparte 3, figura G del código ASME, se ubican en la gráfica los valores de las relaciones  $L/D_o$  y  $D_o/t$  para hallar el factor  $A$ ;

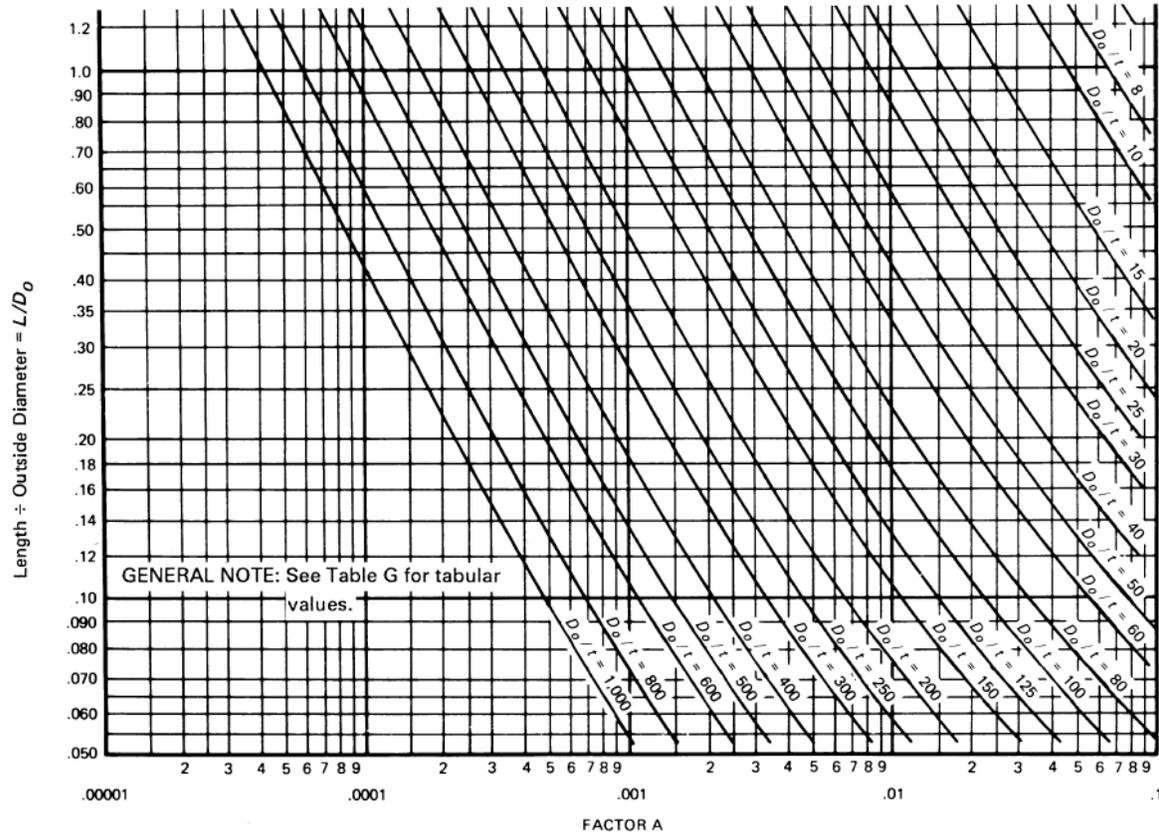


Figura 58. Factor A. Fuente Código ASME, Tomo IID, subparte 3, figura G

$$A = 0,00048$$

Donde;

$A =$  Factor para determinar el material aplicable

Ahora según el tomo IID, subparte 3, figura CS-2 del código ASME, se ubica en la gráfica el valor de A hallado en el paso anterior y la temperatura de diseño para hallar el factor B;

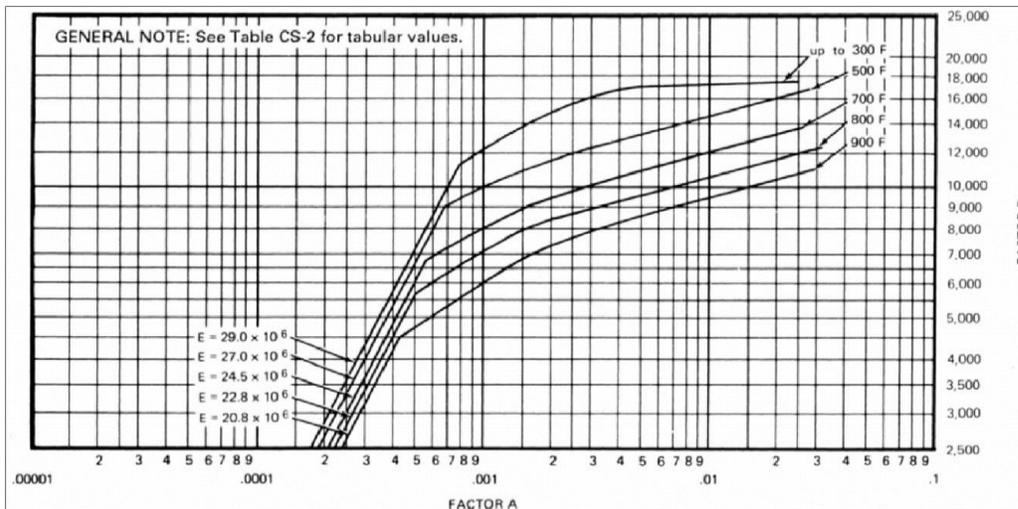


Figura 59. Factor B. Fuente: Código ASME, Tomo IID, subparte 3, figura CS-2

$$B = 7.000$$

Donde;

$B$  = Factor determinado a partir de la tabla de los materiales aplicables

Usando  $B$ , se calcula la presión externa máxima de trabajo ( $P_a$ ) con la siguiente ecuación según el tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-28 del código ASME;

$$P_a = \frac{4 \times B}{3 \times \frac{D_o}{t}} \quad (104)$$

Donde;

$t$  = Espesor del tanque externo

$P_a$  = Presión externa máxima de trabajo

$D_o$  = Diámetro externo de la carcasa

$$P_a = \frac{4 \times 7.000}{3 \times \frac{86,96 \text{ in}}{0,3750 \text{ in}}}$$

$$P_a = 40 \text{ psi}$$

Finalmente, como la presión externa máxima de trabajo ( $P_a$ ) es mayor que la presión de diseño, el espesor asumido es el correcto.

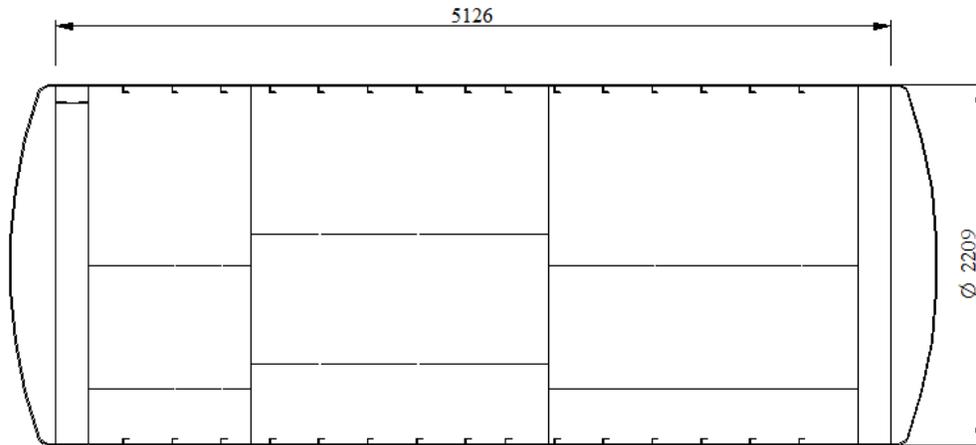


Figura 60. Esquema de tanque externo. Autoría propia.

Según la ecuación de desarrollo de un cilindro;

$$d = D_o - 1(e) \times \pi \quad (105)$$

Donde;

$d =$  Desarrollo de un cilindro

$D_o =$  Diámetro externo de la carcasa

$t =$  Espesor de la carcasa

$\pi =$  Constante Pi (3,1416)

$$d = 2.209 \text{ mm} - 1(9,525 \text{ mm}) \times \pi$$

$$d = 6.909 \text{ mm}$$

Se necesitan 4 láminas comerciales de 1.830 mm X 3/8" X 6.100 mm

### 7.2.8. Cálculo de anillos atiesadores.

Los anillos rígidos para carcasas cilíndricas sometidas a presión externa son utilizados para evitar la compresión del recipiente por presiones externas y el vacío interno, serán colocados en recipiente externa por medio de soldadura y para el cálculo se tendrán en cuenta los siguientes datos de diseño, según el tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-29 y UG.30 del código ASME;

- Presión de diseño externa (atmosférica): 15 psi
- Espesor nominal del recipiente externa (t): (3/8") (0,3750 in) (9,525 mm)
- Distancia entre anillos atiesadores (Ls): 1.800 mm
- Material del anillo atizador: Acero al carbón SA-36

Según el tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-29 del código ASME se determina el momento de inercia requerido en conjunto anillo-carcasa mediante la siguiente ecuación;

$$I = 1,10\sqrt{D_o \times t} \quad (106)$$

Donde;

$t =$  Espesor de la carcasa externa

$D_o =$  Diámetro de la carcasa externa

$$\frac{1,10\sqrt{86,96 \text{ in} \times 0,3750 \text{ in}}}{6,28 \text{ in}^2}$$

Según el tomo VIII, división 1, subsección A, figura UG-30 (c) del código ASME se escogerá como solución colocar 3 anillos atiesadores en la forma de ángulo en L de la siguiente forma;

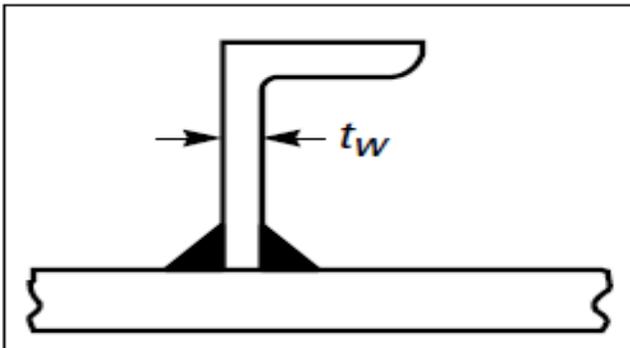


Figura 61. Método de anillo atiesado. Fuente: Código ASME, Tomo VIII, división 1.

El área para un ángulo de medidas 1/4" X 2" es de 0,94 in<sup>2</sup> y será reemplazado en el paso a continuación;

Por tanto, el factor B según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-29 del código ASME será calculado mediante la siguiente ecuación;

$$B = \frac{3}{4} \times \left[ \frac{P \times D_o}{t + \frac{A_s}{L_s}} \right] \quad (107)$$

Donde;

$B$  = Factor para el material utilizado en el anillo de refuerzo

$t$  = Espesor de la carcasa externa

$D_o$  = Diámetro de la carcasa externa

$P$  = Presión de diseño

$A_s$  = Área de sección transversal del anillo rígido

$L_s$  = Distancia entre anillos rígidos

$$B = \frac{3}{4} \times \left[ \frac{15 \text{ psi} \times 86,96 \text{ in}}{0,3750 \text{ in} + \frac{0,94 \text{ in}^2}{70,87 \text{ in}}} \right]$$

$$B = 2.531$$

Ahora según el tomo IID, subparte 3, figura CS-2 del código ASME, se ubica en la gráfica el valor del factor B hallado en el paso anterior y la temperatura de diseño para hallar el factor A;

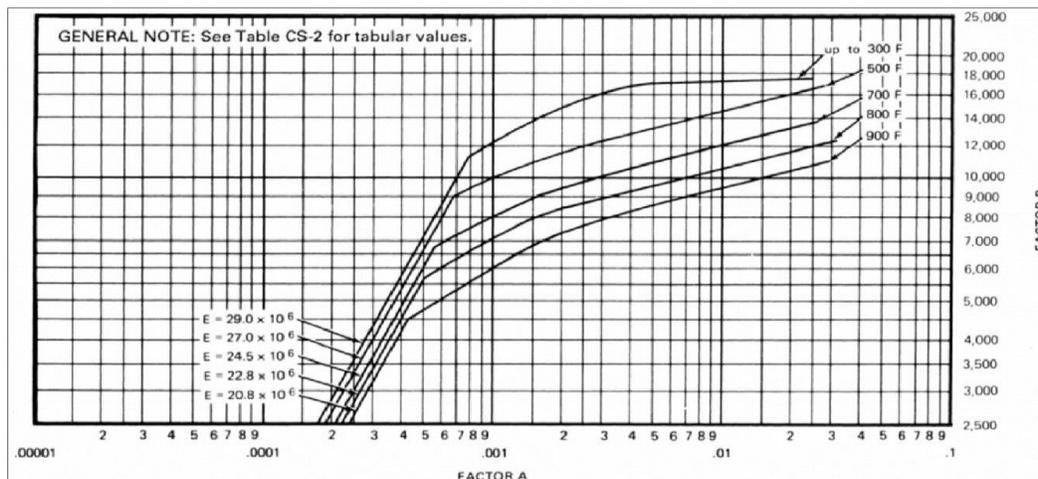


Figura 62. Factor A. Fuente: Código ASME, Tomo IID, subparte 3, figura CS-2

$$A = 0,00018$$

Donde;

$A$  = Factor para el material utilizado en el anillo de refuerzo

Según la ecuación de desarrollo:

$$d = D_i - 1(t) \times \pi \quad (108)$$

Donde;

$d$  = Desarrollo de un cilindro

$D_i$  = Diámetro interno de la carcasa externa

$t$  = Espesor de la carcasa

$\pi$  = Constante Pi (3,1416)

$$d = 2.200 \text{ mm} - 6,35 \text{ mm} \times \pi$$

$$d = 6.892 \text{ mm}$$

### 7.2.9. Cálculo de tapas torisfericas para tanque externo.

Para el cálculo de las tapas torisfericas del tanque externo se tendrán en cuenta los siguientes datos de diseño y fórmulas según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-33 (e) del código ASME;

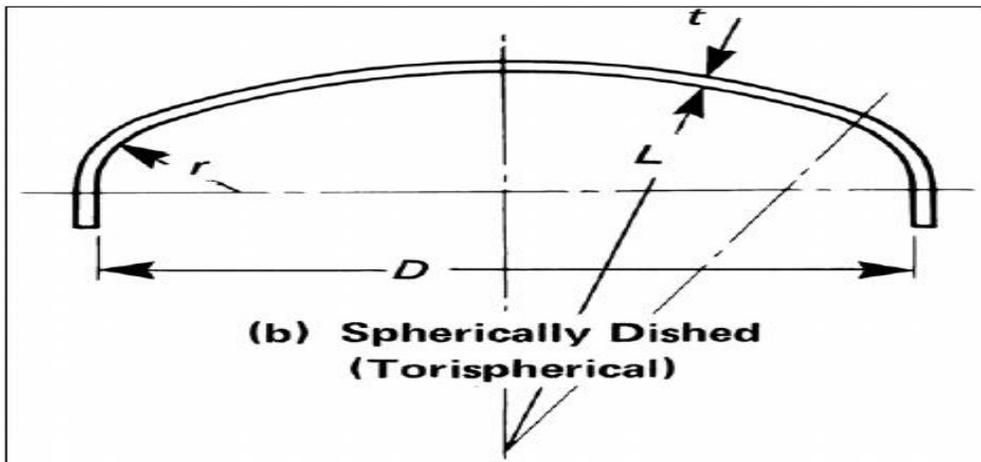


Figura 63. Esquema tapas torisfericas tanque externo. Fuente: Código ASME, Tomo VIII, división 1, apéndices obligatorios 1, figura 1-4 (b)

- Presión de Diseño (P): 15 psi
- Temperatura de Diseño (T): 150°F (56,56°C)
- Material de las tapas torisfericas: Acero al carbón SA-36

Con los cálculos anteriormente hallados en cuanto a las dimensiones del tanque externo, se tienen los datos suficientes para calcular las tapas torisfericas del tanque externo.

El primer paso es asumir un valor de espesor  $t$  y determinar el valor del factor  $A$  dado por la siguiente ecuación según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-33 (d) del código ASME;

El valor asumido para el espesor  $t$  del recipiente externa será;

$$t = \frac{1}{4}'' \quad (6,35 \text{ mm}) \quad (0,25 \text{ in})$$

Por tanto;

$$A = \left[ \frac{0,125}{\left(\frac{R_o}{t}\right)} \right] \quad (109)$$

Donde;

$A =$  Factor para determinar el material aplicable

$t =$  Espesor de las tapas torisféricas

$R_o =$  Radio exterior de la corona de la tapa

$$A = \left[ \frac{0,125}{\left( \frac{43,68 \text{ in}}{0,25 \text{ in}} \right)} \right]$$

$$A = 0,00071$$

Ahora según el tomo IID, subparte 3, figura CS-2 del código ASME, se ubica en la gráfica el valor del factor A hallado en el paso anterior y la temperatura de diseño para hallar el factor B;

$$B = 10.500$$

Donde;

$B =$  Factor determinado a partir de la tabla de los materiales aplicables

Usando B, se calcula la presión externa máxima de trabajo ( $P_a$ ) con la siguiente ecuación según el Tomo VIII, división 1, subsección A, parte UG-33 (f) (1) (a) del código ASME;

$$P_a = \left[ \frac{B}{\left( \frac{R_o}{t} \right)} \right] \quad (110)$$

Donde;

$B =$  Factor determinado a partir de la tabla de materiales aplicables

$t =$  Espesor de las tapas torisféricas

$P_a =$  Presión externa máxima de trabajo

$R_o =$  Radio exterior de la corona de la tapa

$$A = \left[ \frac{10.500}{\left( \frac{43,68 \text{ in}}{0,25 \text{ in}} \right)} \right]$$

$$P_a = 60 \text{ psi}$$

Finalmente, como la presión externa máxima de trabajo ( $P_a$ ) es mayor que la presión de diseño, el espesor asumido es el correcto.

### 7.2.10. Cálculo de tanque vacío, lleno de oxígeno líquido y sistema completo.

Para el cálculo del peso tanto del tanque interno vacío, con producto, aislamiento, manifold y accesorios, como para el tanque externo y apoyos de posicionamiento vertical se requiere hallar el volumen de la pared del tanque interno expresado de la siguiente forma;

$$V_{ext} = \pi \times (r_{ext})^2 \times L \quad (111)$$

Donde;

$V_{ext}$  = Volumen del tanque interno teniendo en cuenta el espesor de pared

$\pi$  = Pi (3,1416)

$r_{ext}$  = Radio externo del tanque interno

$e$  = Espesor de la lámina del tanque interno

$L$  = Longitud del tanque interno

$$V_{ext} = 3,1614 \times (0,85 \text{ m})^2 \times 4 \text{ m}$$

$$V_{ext} = 9 \text{ m}^3$$

$$V_{int} = \pi \times (r_{ext} - e)^2 \times L \quad (112)$$

Donde;

$V_{int}$  = Volumen del tanque interno sin tener en cuenta el espesor de pared

$\pi$  = Pi (3,1416)

$r_{ext}$  = Radio externo del tanque interno

$e$  = Espesor de la lámina del tanque interno

$L$  = Longitud del tanque interno

$$V_{int} = 3,1614 \times (0,85 \text{ m} - 0,012 \text{ m})^2 \times 4 \text{ m}$$

$$V_{int} = 8,82 \text{ m}^3$$

$$V_{pared} = V_{ext} - V_{int} \quad (113)$$

Donde;

$V_{pared}$  = Volumen de la pared del tanque

$\pi = Pi$  (3,1416)

$V_{ext}$  = Volumen del tanque interno teniendo en cuenta el espesor de pared

$V_{int}$  = Volumen del tanque interno sin tener en cuenta el espesor de pared

$$V_{pared} = 9 \text{ m}^3 - 8,82 \text{ m}^3$$

$$V_{pared} = 0,18 \text{ m}^3$$

Para el cálculo del peso del tanque interno vacío se tiene entonces la siguiente expresión;

$$W_{t. \text{ vacio}} = V_{pared} \times \rho \quad (114)$$

Donde;

$W_{t. \text{ vacio}}$  = Peso del tanque interno vacío

$V_{pared}$  = Volumen de la pared del tanque

$\rho$  = Densidad del acero

$$W_{t. \text{ vacio}} = 0,18 \text{ m}^3 \times 7.850 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$W_{t. \text{ vacio}} = 2.059,28 \text{ Kg}$$

Para el cálculo del peso del tanque interno con oxígeno líquido se tiene entonces la siguiente expresión;

$$W_{t. \text{ lleno}} = V_{int} \times \rho \quad (115)$$

Donde;

$W_{t. \text{lleno}}$  = *Peso del tanque interno lleno de oxígeno líquido*

$V_{\text{int}}$  = *Volumen del tanque interno sin tener en cuenta el espesor de pared*

$\rho$  = *Densidad del acero*

$$W_{t. \text{lleno}} = 8,82 \text{ m}^3 \times 1.141,2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$W_{t. \text{lleno}} = 10.065,4 \text{ Kg}$$

Para el cálculo del peso del tanque externo se tienen las siguientes especificaciones;

$$W_{t. \text{externo}} = W_{\text{tapas}} \times W_{\text{lamina cuerpo}} \quad (116)$$

Donde;

$W_{t. \text{externo}}$  = *Peso del tanque externo*

$W_{\text{tapas}}$  = *Peso de las tapas del tanque externo del tanque externo*

$W_{\text{lamina cuerpo}}$  = *Peso del cuerpo del tanque externo*

$$W_{t. \text{externo}} = 2.599,56 \text{ Kg} + 526,54 \text{ Kg}$$

$$W_{t. \text{externo}} = 3.126,1 \text{ Kg}$$

### 7.2.11. Cálculo de peso total del conjunto completo.

Para el cálculo del peso total del conjunto completo entre tanque interno, aislamiento, manifold, anillos atiesadores, tanque externo y accesorios en general se tiene la siguiente expresión;

$$W_{\text{total sistema}} = \sum t. \text{lleno, manifold, aislamiento, etc} + W_{\text{tanque externo}} \quad (117)$$

$$W_{\text{total sistema}} = 15.428,18 \text{ Kg} + 3.126,1 \text{ Kg}$$

$$W_{\text{total sistema}} = 18.652,28 \text{ Kg}$$

### 7.2.12. Cálculo de esfuerzo en los soportes florero.

Para el cálculo de los soportes se tienen las siguientes especificaciones;

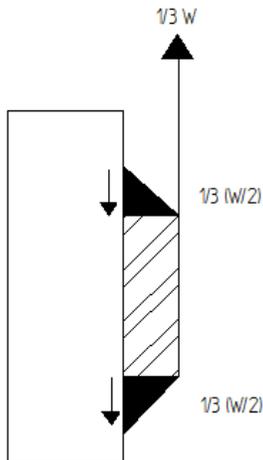


Figura 64. Especificaciones soportes de florero. Autoría propia.

$$F = \frac{1}{3} \times \frac{W_{t. \text{lleno}}}{2} \quad (118)$$

Donde;

$F = \text{Fuerza}$

$W_{t. \text{lleno}} = \text{Peso del tanque interno lleno de oxígeno líquido}$

$$F = \frac{1}{3} \times \frac{33.942 \text{ lb}}{2}$$

$$F = 5.657 \text{ lb}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$\sum F_y = \left[ \left( \frac{1}{3} \times \frac{W}{2} \right) + \left( \frac{1}{3} \times \frac{W}{2} \right) - \left( \frac{1}{3} \times W \right) \right]$$

$$F_y = 5.657 \text{ lb} + 5.657 \text{ lb} + 11.314 \text{ lb}$$

$$F_y = 0$$

$$A = \frac{1}{4} \times \left( \pi \times \frac{D_{ext}}{3} \right) \quad (119)$$

Donde;

$A = \text{Área}$

$D_{ext} = \text{Diámetro externo del tanque interno}$

$$A = \frac{1}{3} \times \left( 3,1416 \times \frac{66,93 \text{ in}}{2} \right)$$

$$A = 17,5 \text{ in}^2$$

$$S = \frac{F}{A} \quad (120)$$

Donde;

$S = \text{Esfuerzo sobre los soportes}$

$F = \text{Fuerza}$

$A = \text{Área}$

$$S = \frac{5.657 \text{ lb}}{17,5 \text{ in}^2}$$

$$S = 323,2 \text{ psi}$$

Lo que quiere decir que;

$$323,2 \text{ psi} < (20.000 \text{ psi} \times 0,49)$$

$$323,2 \text{ psi} < 9.800 \text{ psi}$$

Los soportes tipo florero son los correctos para aguantar las cargas y el peso del tanque lleno de oxígeno líquido.

Para el cálculo de los 3 apoyos de posicionamiento vertical se tiene la siguiente expresión;

$$W_{\text{cada apoyo}} = \frac{W_{\text{total sistema}}}{3} \quad (121)$$

Donde;

$W_{\text{cada apoyo}} = \text{Peso de cada apoyo}$

$W_{total\ sistema} = \text{Peso total del sistema}$

$$W_{cada\ apoyo} = \frac{18.652,28\ Kg}{3}$$

$$W_{cada\ apoyo} = 6.217,43\ Kg.$$

### 7.3. Verificación de diseño, resistencia de materiales – elementos finitos

Para realizar la validación de los cálculos realizados en el sub capítulo 7,2 Cálculos, se utilizarán herramienta de ingeniería asistida por ordenador CAE por sus siglas en inglés, esta verificación de parámetros de orientación para el diseño de los elementos principales del equipo, dentro de los cálculos de elementos finitos se tendrán en cuenta los principales esfuerzos de membrana, así como las principales deformaciones y factores de seguridad.

Se realizarán tres análisis principales el primero enfocado a verificar los espesores calculados para el tanque interno, el segundo enfocado a diseñar y verificar los soportes utilizados para sujetar el tanque interno con el tanque externo, por último, el tercer análisis se enfocará en los esfuerzos y deformaciones generados por el peso del recipiente sobre los puntos de apoyo principales.

El análisis de elementos finitos se realizará utilizando Solid edge ST 9 con el módulo de desarrollo de ingeniería NASTRAN.

Como datos de entrada común para los tres análisis tenemos la siguiente información:

- Presión de trabajo: 250 psig
- Peso del equipo en operación 18000 Kg
- Material de Tanque interno: SA /A 240 TP 304
- Material de soporte tanque externo: A / ASTM 36.

En todos los análisis planteados realizaremos un análisis estático lineal, utilizando mallado tipo tetraédrico que garantiza una aproximación a los casos reales.

En la siguiente tabla se observa las características del material para acero inoxidable y acero carbón.

- **Acero inoxidable, 304:** El material utilizado en la mayor parte del diseño del recipiente es acero inoxidable por lo que a continuación se muestran las principales características.

Tabla 42.

*Características del acero inoxidable.*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
Densidad	8027.000 kg/m <sup>3</sup>
Coefficiente de expansión térmica	0.0000 /C
Conductividad térmica	0.017 kW/m-C
Calor específico	502.000 J/kg-C
Módulo de elasticidad	193053.196 MPa
Coefficiente de Poisson	0.290
Límite elástico	255.106 MPa
Tensión de rotura	579.160 MPa
% de elongación	0.000

*Nota.* Autoría propia.

- **Acero estructural:** Algunos componentes del equipo son en acero estructural por lo que a continuación se presentan las principales características.

Tabla 43.

*Características steel structural.*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
Densidad	7833.000 kg/m <sup>3</sup>
Coefficiente de expansión térmica	0.0000 /C
Conductividad térmica	0.032 kW/m-C
Calor específico	481.000 J/kg-C
Módulo de elasticidad	199947.953 MPa
Coefficiente de Poisson	0.290
Límite elástico	262.001 MPa
Tensión de rotura	358.527 MPa
% de elongación	0.000

*Nota.* Autoría propia.

### 7.3.1. Tanque interno.

Como se mencionó anteriormente el tanque interno está fabricado 100% en acero inoxidable calidad A/SA 240 TP 304, las dimensiones finales del tanque interno que se utilizaron para el análisis se pueden apreciar en el plano PL-TV1000-003, en la siguiente tabla se aprecian las características físicas del material.

Tabla 44.

*Características del acero inoxidable.*

Propiedad	Valor
Densidad	8027.000 kg/m <sup>3</sup>
Coefficiente de expansión térmica	0.0000 /C
Conductividad térmica	0.017 kW/m-C
Calor específico	502.000 J/kg-C
Módulo de elasticidad	193053.196 MPa
Coefficiente de Poisson	0.290
Límite elástico	255.106 MPa
Tensión de rotura	579.160 MPa
% de elongación	0.000

*Nota.* Autoría propia.

Para el tanque interno, se utilizará la presión constante y máxima a la que se encuentra el equipo durante operación (250 psi), se aplican restricciones en los puntos donde se sujeta el tanque interno con el tanque externo, el principal objetivo es validar los espesores calculados para el cuerpo y las tapas. En la siguiente secuencia de imágenes se observan los resultados del análisis.

- **Cargas:** Para el análisis de resistencia del tanque interno se aplica una carga constante sobre toda la superficie interna del equipo de 250 psi, esta presión es la presión máxima de operación del equipo.

Tabla 45.

*Cargas tanque interno.*

Nombre de carga	Tipo de carga	Valor de carga	Distribución de carga	Dirección de carga	Opción de dirección de carga
-----------------	---------------	----------------	-----------------------	--------------------	------------------------------

Presión 1	Presión	250 psi		Compresiva	Perpendicular a cara
-----------	---------	---------	--	------------	----------------------

*Nota.* Autoría propia.

- **Restricciones:** Se restringe el modelo a los puntos de apoyo entre tanques para verificar su comportamiento ante la aplicación de la carga.

Tabla 46.

*Restricción tanque interno.*

Nombre de restricción	Tipo de restricción	Grados de libertad
Fijo 1	Fijo	Grados de libertad disponibles: Ninguno

*Nota.* Autoría propia.

- **Información de mallado:** El análisis de elementos finitos utiliza mallado tetraédrico, en el cual se divide en n número de piezas el modelo para analizar punto a punto su comportamiento, en la siguiente tabla se observa las características del mallado.

Tabla 47.

*Información tipo de mallado tanque interno.*

Tipo de mallado	Tetraédrico
Número total de cuerpos mallados	1
Número total de elementos	38,385
Número total de nodos	67,747
Tamaño subjetivo de malla (1-10)	10

*Nota.* Autoría propia.

- **Resultados:** Los resultados obtenidos se enfocan en tres aspectos fundamentales el primero corresponde a el máximo desplazamiento o deformación obtenida del modelo ante la aplicación de la carga, el segundo análisis corresponde a el máximo esfuerzo ante la aplicación de la carga, el tercer aspecto analizado es el factor de seguridad, mínimo y máximo.
- **Resultados del desplazamiento:** Del análisis obtenido observamos que el máximo desplazamiento hallado, se ubica en la tapa inferior con un valor de 1,3mm.

Tabla 48.

*Resultados de desplazamiento tanque interno.*

Componente de resultados: traslación total				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0 mm	-191.190 mm	-837.658 mm	3574.610 mm
Máxima	1.3 mm	-161.700 mm	366.142 mm	-362.000 mm

*Nota.* Autoría propia.

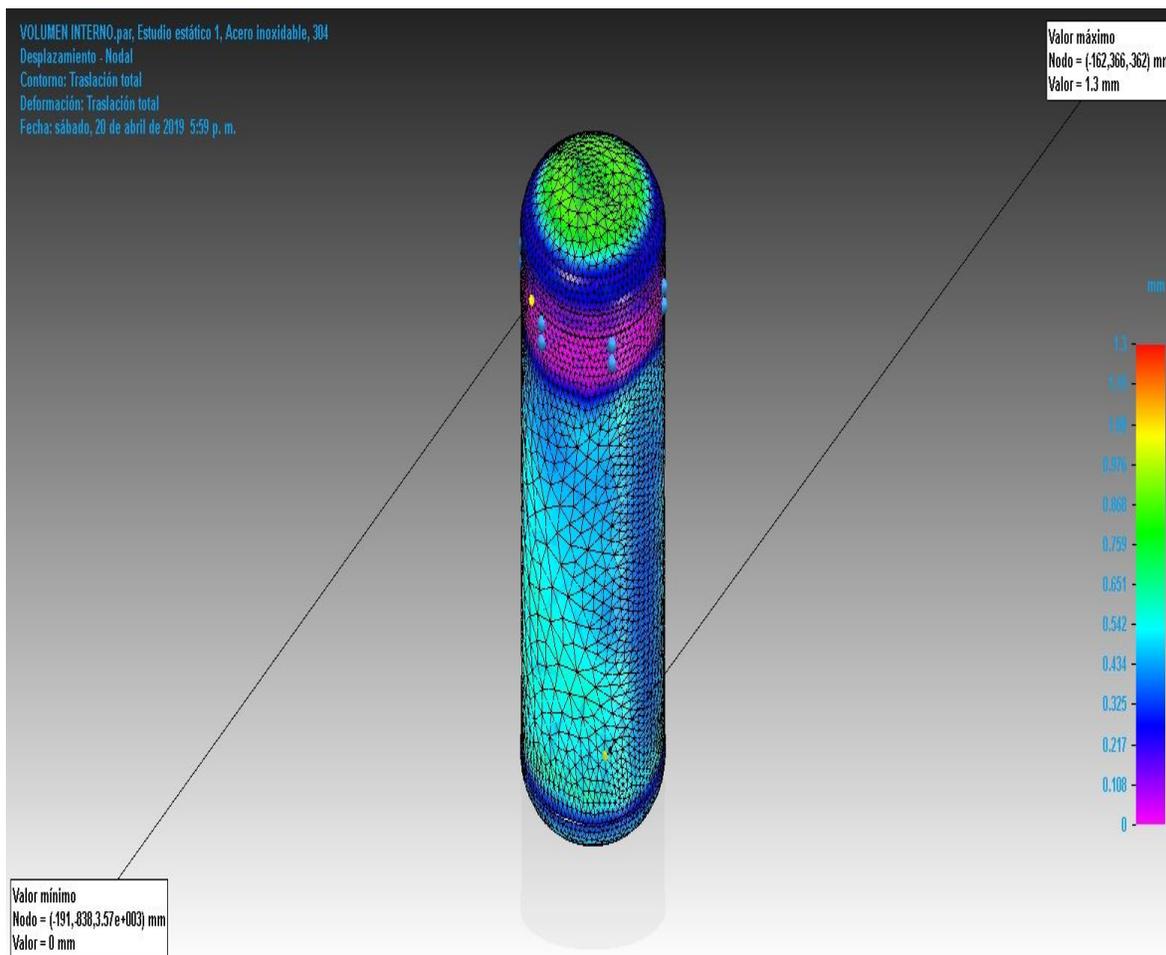


Figura 65. Solid edge 3D. Traslación total tanque interno. Autoría propia.

- **Resultados de tensión:** El esfuerzo máximo de tensión determinado por von mises se encuentra al igual que la deformación en el punto inferior de la tapa torisfericas inferior.

Tabla 49.

*Resultados de tensión tanque interno.*

Componente de resultados: von mises				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0.723 MPa	-491.070 mm	705.035 mm	3414.147 mm
Máxima	194 MPa	642.942 mm	474.201 mm	-155.859 mm

*Nota.* Autoría propia.

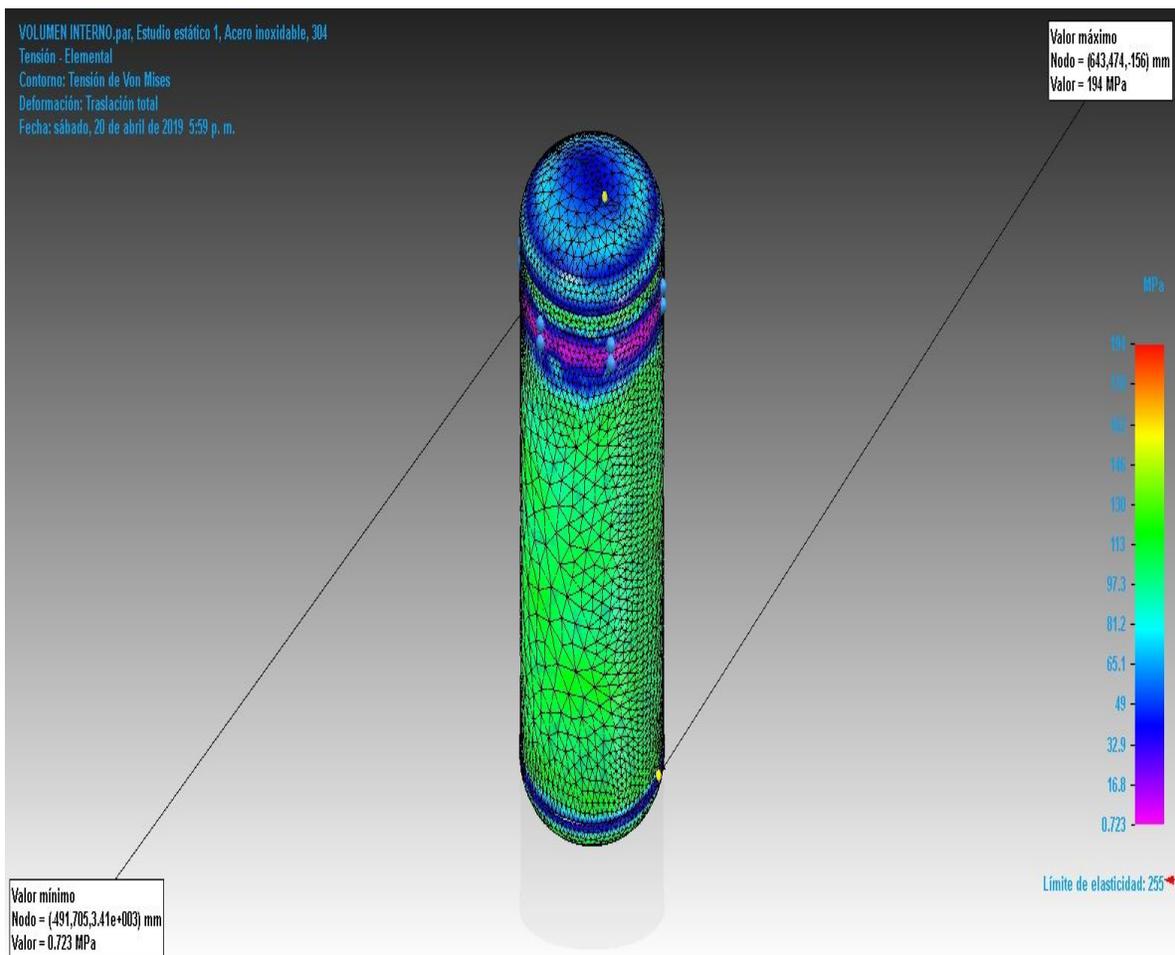


Figura 66. Solid edge 3D. von mises tanque interno. Autoría propia.

- **Resultados del factor de seguridad:** A continuación, se muestra el resultado obtenido del factor de seguridad del tanque interno.

Tabla 50.

*Resultados factor de seguridad tanque interno*

Componente resultante: factor de seguridad				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	1.32	642.942 mm	474.201 mm	-155.859 mm
Máxima	353	-491.070 mm	705.035 mm	3414.147 mm

*Nota.* Autoría propia.

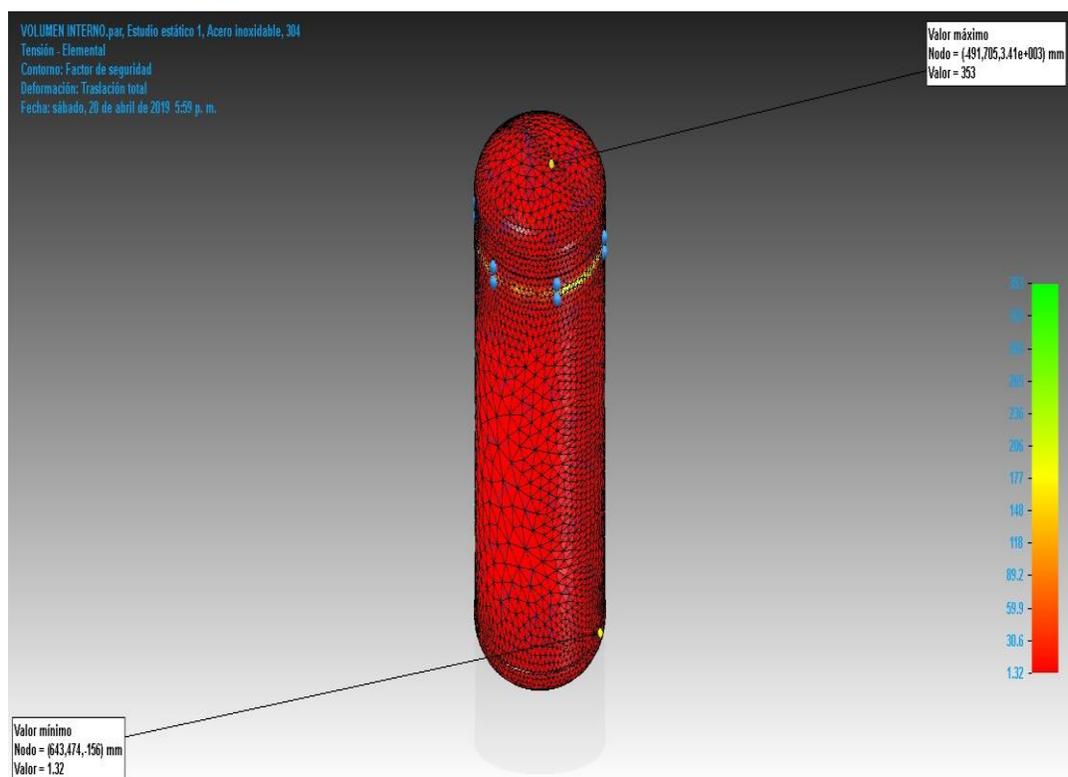


Figura 67. Solid edge 3D. Factor de seguridad tanque interno. Autoría propia.

**7.3.1.1. Análisis de los resultados obtenidos.** Se puede analizar con base en los resultados obtenidos que el equipo en cuanto a criterios de diseño se encuentra dentro de los parámetros normales de operación, se observa una máxima deformación de 1,3mm con un esfuerzo de membrana de 194 Mpa, lo cual determina un factor de seguridad general del equipo de 1,38, que si se verifica con respecto a la norma guía de diseño está bastante aproximado, ya que el código ASME utiliza como criterios de diseño un factor de seguridad de 1,5.

### 7.3.2. Soporte tanque interno.

Los soportes diseñados para sujetar el tanque interno del tanque externo se diseñan para evitar el mínimo contacto entre metales con la finalidad de minimizar la transferencia de calor por conducción, estos soportes alcanzan temperaturas cerca a la temperatura a la que se encuentra el líquido almacenado, por lo que es importante diseñarlos y fabricarlos en materiales que resistan esas temperaturas criogénica, como el acero inoxidable, el diseñarlos en otro tipo de material podría incurrir en fragilización ocasionando ruptura y desprendimiento del tanque interno.

En términos generales el tanque interno se sujeta del tanque externo en tres puntos de apoyo, y queda en cierto modo suspendido de estos puntos de apoyo, como se mencionó anteriormente evitando al máximo el contacto entre los dos tanques para minimizar la transferencia de calor que gasifique el producto almacenado, en la siguiente imagen se puede observar el sistema de sujeción del tanque interno con el tanque externo.

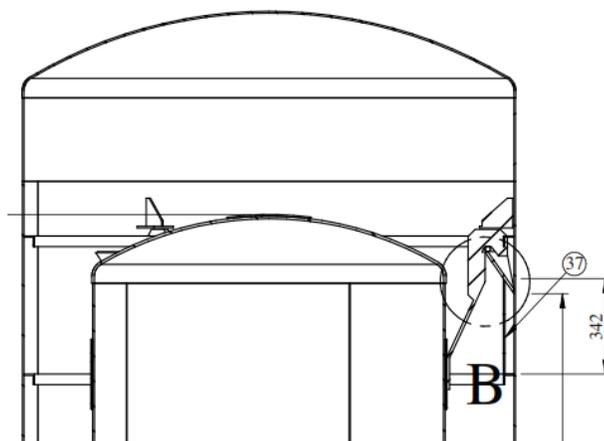


Figura 68. Esquema de sujeción tanque interno con tanque externo. Autoría propia.

Las características del material del soporte son las mismas aplicadas para la fabricación del tanque interno, ya que se trata del mismo material A/SA 240 TP 304, para los soportes del tanque interno al tanque externo se analiza la parte donde va soldado el cada uno de los 3 puntos de apoyo de tanque interno al tanque externo, teniendo en cuenta la fuerza y el área que está en contacto, se aplican restricciones en la parte donde va soldado el soporte a la superficie interna del tanque externo.

- **Cargas:** Aplicación de las cargas para el análisis de los soportes del tanque interno.

En el diagrama de cuerpo libre podemos apreciar la aplicación de la carga y el punto de restricción utilizado para el análisis

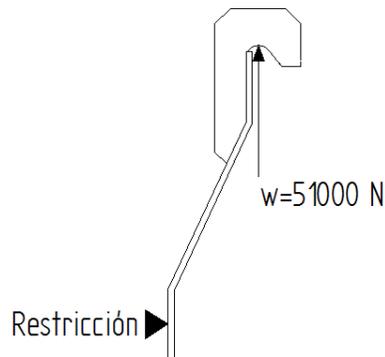


Figura 69. Diagrama de cuerpo libre aplicación de carga y restricciones. Autoría propia.

Tabla 51.

*Cargas soporte de tanque interno.*

Nombre de carga	Tipo de carga	Valor de carga	Distribución de carga	Dirección de carga	Opción de dirección de carga
Fuerza 1	Fuerza	Fx: 0 N, Fy: 0 N, Fz: -51000 N	Por entidad		Componentes

*Nota.* Autoría propia.

**Restricciones:** Tipo de restricción del modelo para análisis de elementos finitos.

Tabla 52.

*Restricciones soporte tanque interno.*

Nombre de restricción	Tipo de restricción	Grados de libertad
Fijo 1	Fijo	grados de libertad disponibles: Ninguno

*Nota.* Autoría propia.

- **Información de mallado:** El análisis de elementos finitos utiliza mallado tetraédrico, en el cual se divide en n número de piezas el modelo para analizar punto a punto su comportamiento, en la siguiente tabla se observa las características del mallado.

Tabla 53.

*Información tipo de mallado soporte tanque interno.*

Tipo de mallado	Tetraédrico
Número total de cuerpos mallados	1
Número total de elementos	117,741
Número total de nodos	184,370
Tamaño subjetivo de malla (1-10)	10

*Nota.* Autoría propia.

- **Resultados:** Los resultados obtenidos se enfocan en tres aspectos fundamentales el primero corresponde a el máximo desplazamiento o deformación obtenida del modelo ante la aplicación de la carga, el segundo análisis corresponde a el máximo esfuerzo ante la aplicación de la carga, el tercer aspecto analizado es el factor de seguridad, mínimo y máximo.
- **Resultados del desplazamiento:** Del análisis obtenido observamos que el máximo desplazamiento hallado, se ubica en la parte inferior con un valor de 1,67mm.

Tabla 54.

*Resultados del desplazamiento soporte tanque interno.*

Componente de resultados: traslación total				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0 mm	13.978 mm	-6.278 mm	4.117 mm
Máxima	1.67 mm	146.352 mm	-1.143 mm	-503.000 mm

*Nota.* Autoría propia

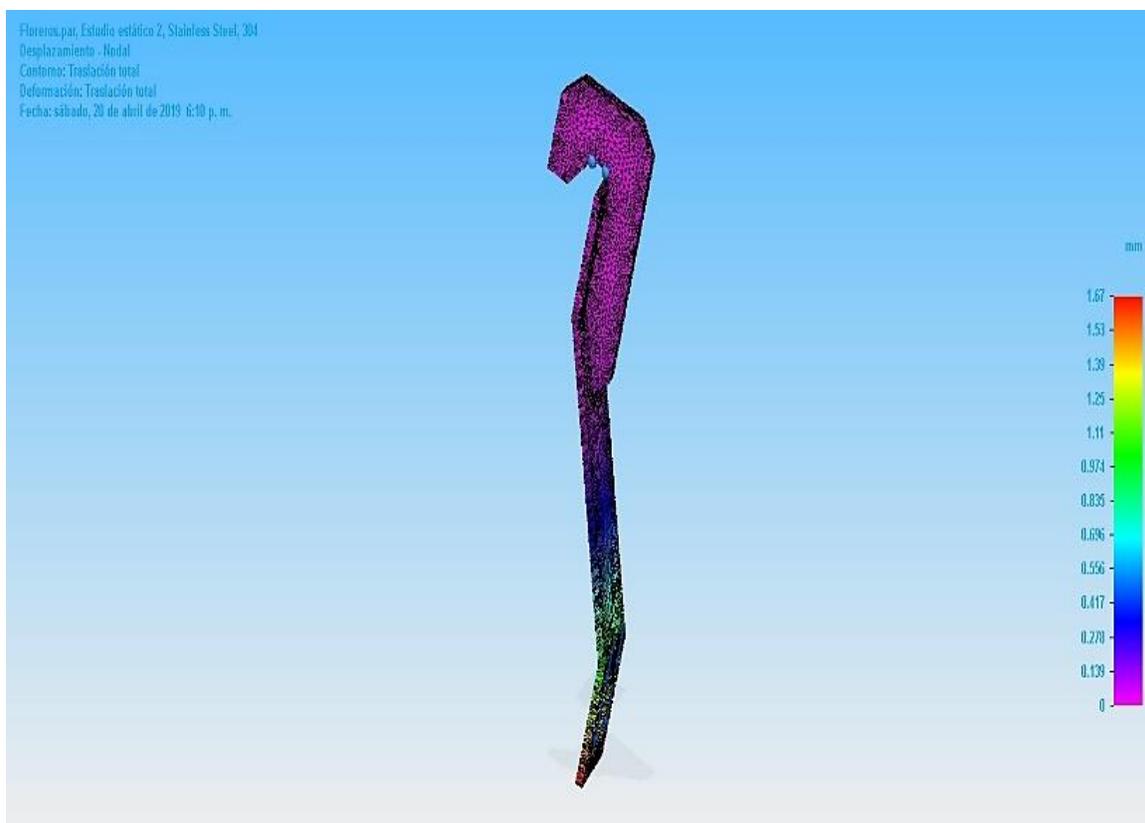


Figura 70. Solid edge 3D. Traslación total soporte tanque interno. Autoría propia.

- **Resultados de tensión:** El esfuerzo máximo de tensión determinado por von mises se encuentra en la transición del gancho con la platina.

Tabla 55.

*Resultados de tensión soporte tanque interno.*

Componente de resultados: von mises				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	1.37 kPa	-51.250 mm	7.938 mm	63.750 mm
Máxima	9.65e+004 kPa	50.994 mm	7.938 mm	-183.504 mm

*Nota.* Autoría propia



Figura 71. Solid edge 3D. Von mises soporte tanque interno. Autoría propia.

- **Resultados del factor de seguridad:** A continuación, se muestra el resultado obtenido del factor de seguridad del tanque interno.

Tabla 56.

*Resultados factor de seguridad soporte tanque interno.*

Componente resultante: factor de seguridad				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	2.64	50.994 mm	7.938 mm	-183.504 mm
Máxima	1.86e+005	-51.250 mm	7.938 mm	63.750 mm

*Nota.* Autoría propia

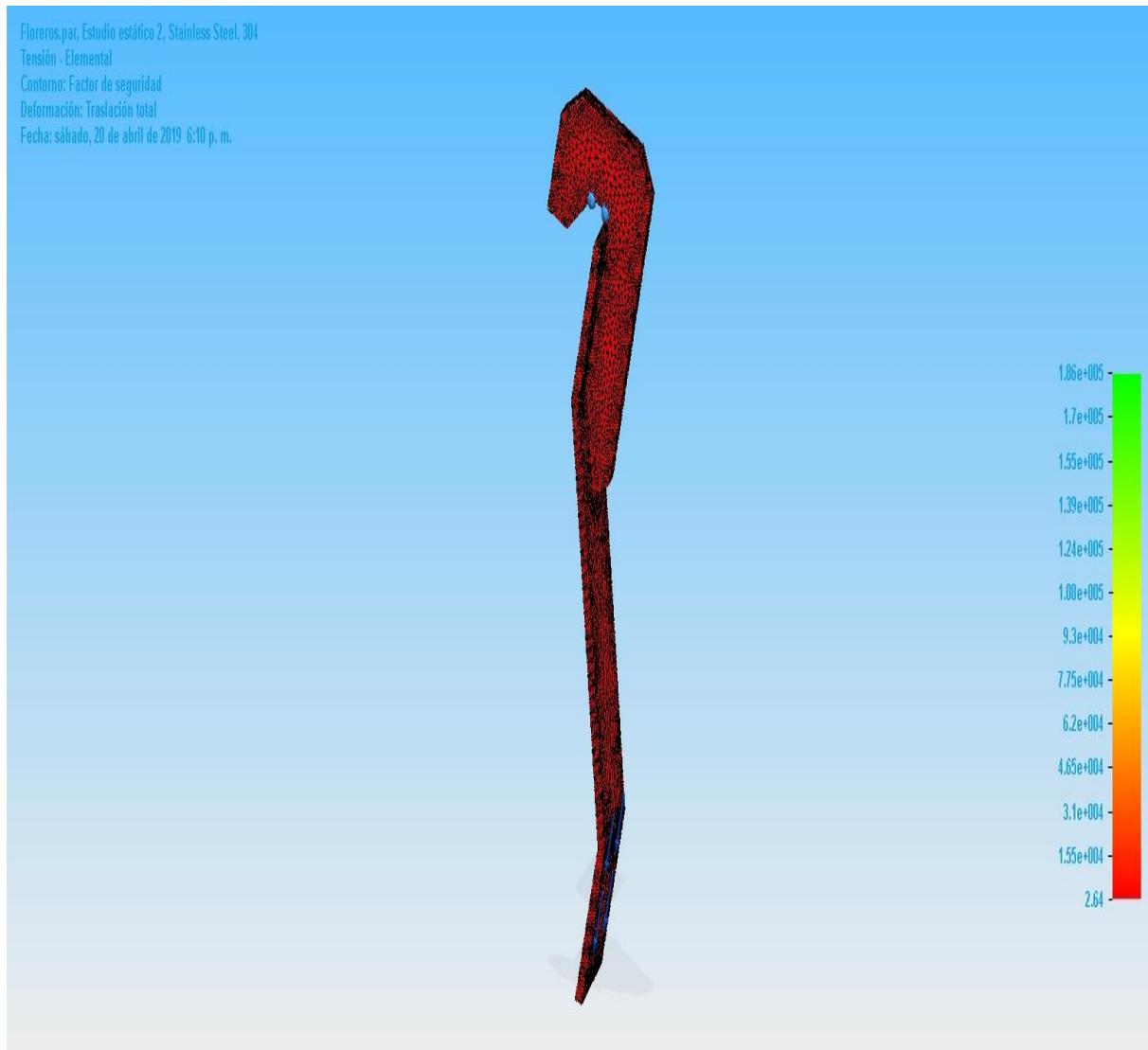


Figura 72. Solid edge 3D. Factor seguridad soporte tanque interno. Autoría propia.

**7.3.2.1 Análisis de los resultados obtenidos.** Se puede analizar con base en los resultados obtenidos que el equipo en cuanto a criterios de diseño se encuentra dentro de los parámetros normales de operación, se observa una máxima deformación de 1,67mm con un esfuerzo de membranosa de  $9.65 \text{ E4 Kpa}$ , lo cual determina un factor de seguridad general del equipo de 2,64, criterio bastante aceptable para el funcionamiento del equipo.

### 7.3.3. Soportes verticales de tanque estacionario.

Las patas de apoyo del tanque esta fábrica en material estructural ASTM A36 las características principales de este material están dadas en el comienzo de este capítulo, Para los soportes verticales del tanque estacionario se analiza el peso total del tanque interno lleno de oxígeno líquido, el

aislamiento, anillos de refuerzo, tanque externo y accesorios, se aplican restricciones en la base de cada uno de los 3 apoyos donde va anclado al piso.

- **Cargas:** Para la aplicación de la carga se tiene en cuenta la carga que genera el equipo cargado a full capacidad.

Tabla 57.

*Cargas soportes verticales tanque estacionario.*

Nombre de carga	Tipo de carga	Valor de carga	Distribución de carga	Dirección de carga	Opción de dirección de carga
Fuerza 1	Fuerza	5.1e+003 N	Total	(-0.01, 0.63, - 0.78)	A lo largo del vector

*Nota.* Autoría propia

- **Restricciones:** Igual que en los casos anteriores se realiza restricción para el análisis.

Tabla 58.

*Restricciones soportes verticales tanque estacionario.*

Nombre de restricción	Tipo de restricción	Grados de libertad
Fijo 1	Fijo	Grados de libertad disponibles: Ninguno

*Nota.* Autoría propia

- **Información de mallado:** El análisis de elementos finitos utiliza mallado tetraédrico, en el cual se divide en n número de piezas el modelo para analizar punto a punto su comportamiento, en la siguiente tabla se observa las características del mallado.

Tabla 59.

*Información de tipo de mallado soportes verticales tanque estacionario.*

Tipo de mallado	Tetraédrico
Número total de cuerpos mallados	1
Número total de elementos	79,658
Número total de nodos	135,800
Tamaño subjetivo de malla (1-10)	10

*Nota.* Autoría propia

- **Resultados:** Los resultados obtenidos se enfocan en tres aspectos fundamentales el primero corresponde a el máximo desplazamiento o deformación obtenida del modelo ante la aplicación de la carga, el segundo análisis corresponde a el máximo esfuerzo ante la aplicación de la carga, el tercer aspecto analizado es el factor de seguridad, mínimo y máximo.
- **Resultados del desplazamiento:** Del análisis obtenido observamos que el máximo desplazamiento hallado, se ubica en la parte inferior con un valor de 0,143mm.

Tabla 60.

*Resultados del desplazamiento soportes verticales tanque estacionario.*

Componente de resultados: traslación total				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0 mm	-61.198 mm	1063.353 mm	-825.400 mm
Máxima	0.143 mm	-80.000 mm	1084.990 mm	-161.368 mm

*Nota.* Autoría propia

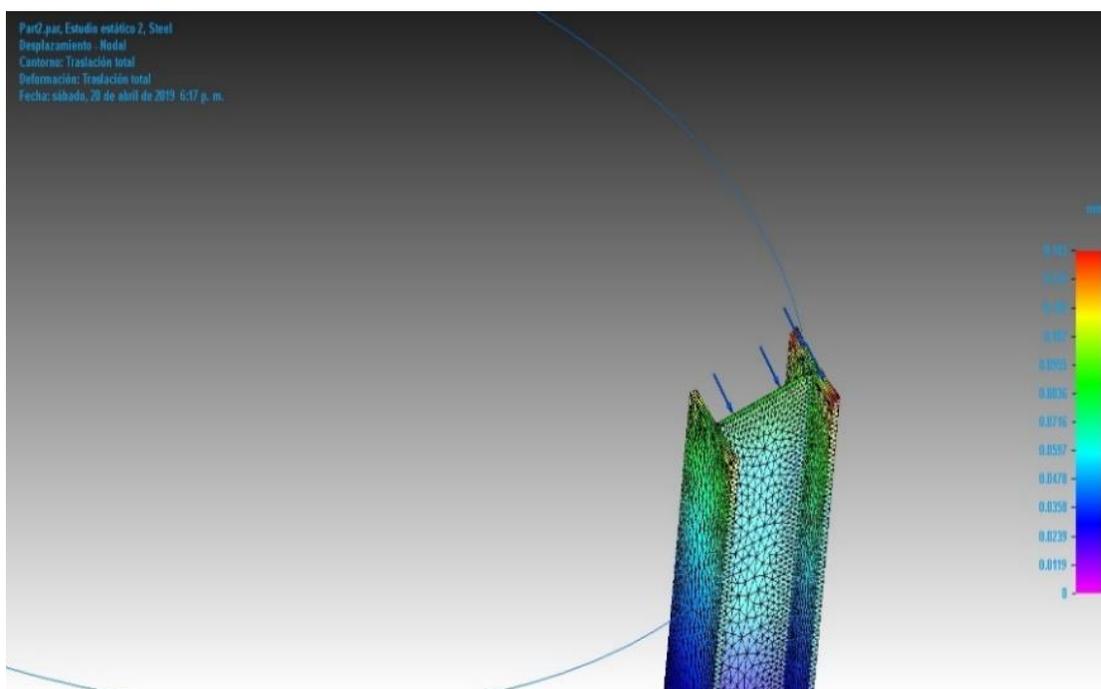


Figura 73. Solid edge 3D. Traslación total soportes verticales tanque estacionario. Autoría propia.

- **Resultados de tensión:** El esfuerzo máximo de tensión determinado por von mises se encuentra en la unión del soporte al tanque.

Tabla 61.

*Resultados de Tensión soportes verticales tanque estacionario.*

Componente de resultados: von mises				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0.000313 MPa	149.520 mm	1154.846 mm	-800.000 mm
Máxima	38.6 MPa	-6.461 mm	1075.804 mm	-173.250 mm

*Nota.* Autoría propia

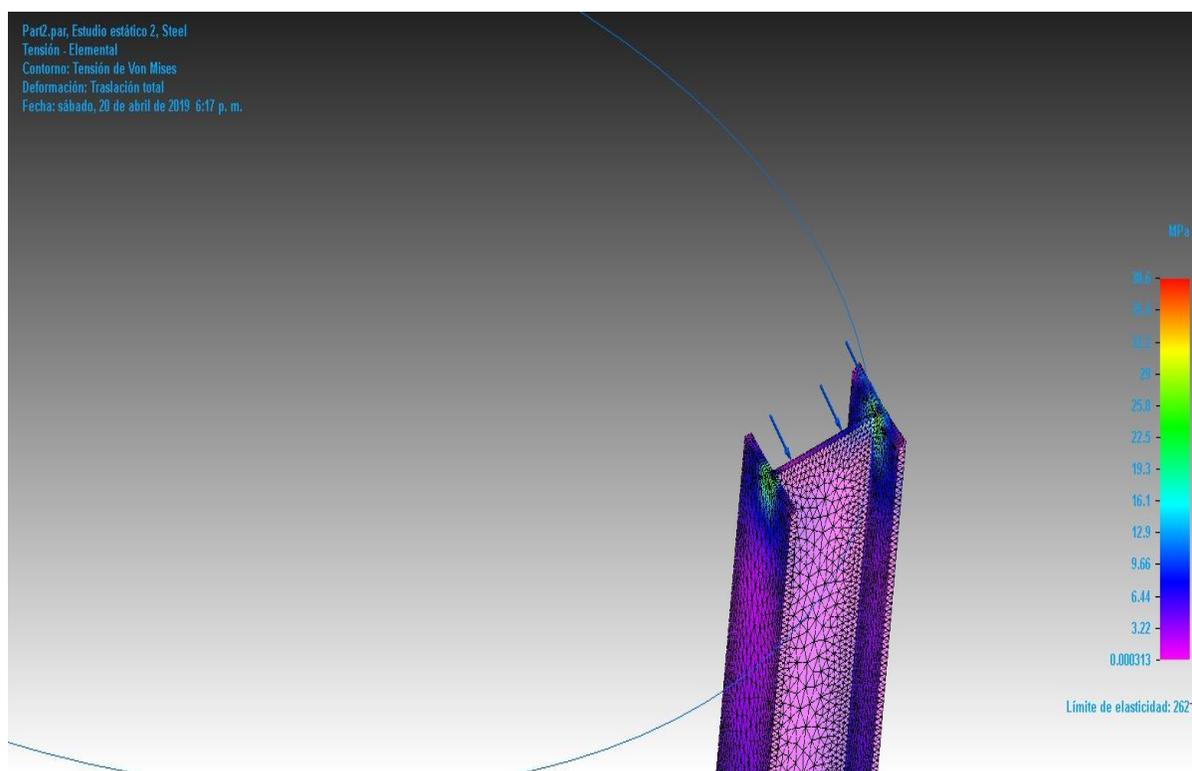


Figura 74. Solid edge 3D. von mises soportes verticales tanque estacionario. Autoría propia.

- **Resultados Factor de Seguridad:** El factor de seguridad hallado se encuentra dentro de los parámetros de seguridad del equipo.

Tabla 62.

*Resultados Factor de Seguridad soportes verticales tanque estacionario.*

Componente resultante: factor de seguridad				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	6.78	-6.461 mm	1075.804 mm	-173.250 mm
Máxima	8.37e+005	149.520 mm	1154.846 mm	-800.000 mm

*Nota.* Autoría propia

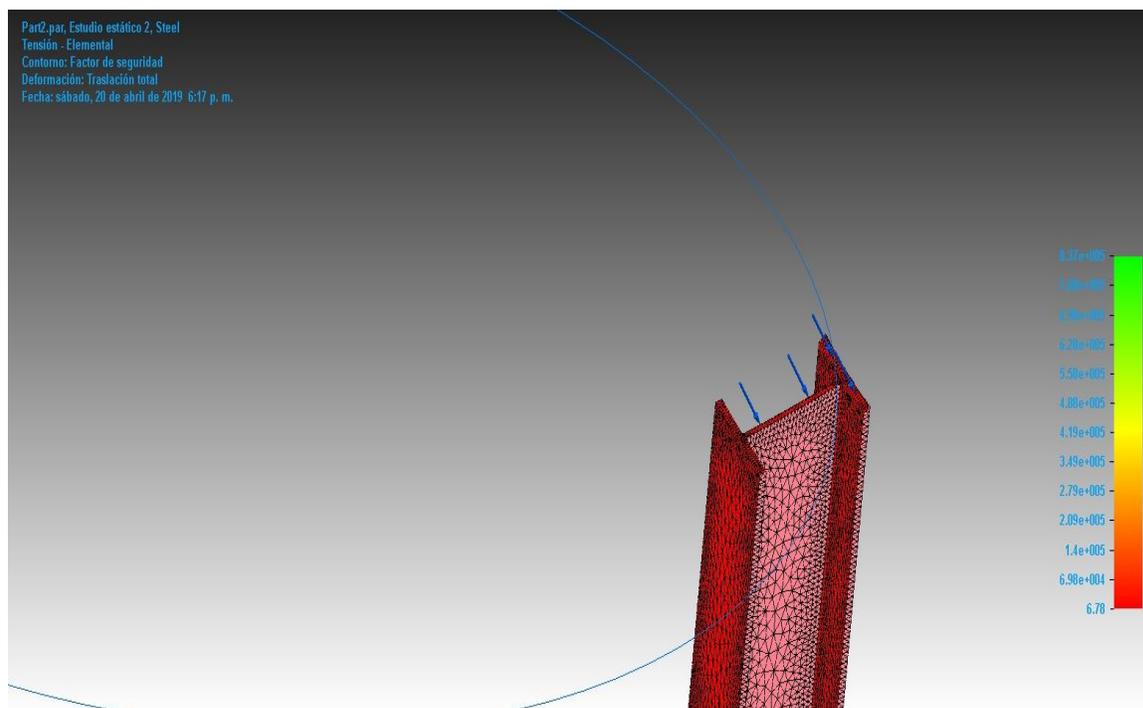


Figura 75. Solid edge 3D. Factor de seguridad soportes verticales tanque estacionario. Autoría propia.

**7.3.3.1 Análisis de resultados obtenidos.** Se puede analizar con base en los resultados obtenidos que el equipo en cuanto a criterios de diseño se encuentra dentro de los parámetros normales de operación, se observa una máxima deformación de 0.143 mm con un esfuerzo de membrana de 38 Mpa, lo cual determina un factor de seguridad general del equipo de 6.78, criterio bastante aceptable para el funcionamiento del equipo.

#### 7.4. Ensamblajes y sub ensamblajes

Para comprender el proceso productivo del equipo desarrollado se ha realizado una estratificación diferenciada en ensamblajes generales y sub ensamblajes de primer y segundo nivel,

esta información se tomará como base para el desarrollo de los diagramas de proceso en cada una de las etapas de fabricación.

Tabla 63.

*Esquema general de ensambles y sub ensambles del equipo.*

Ensamble general	Sub ensambles de primer nivel	Sub ensambles de segundo nivel
Tanque criogénico vertical 2500 GLS, para uso con oxígeno medicinal	Tanque interno	Tapas tanque interno
		Cuerpo interno
		Tuberías de proceso
		Soporte entre tanque interno y tanque externo
		Aislamiento térmico
	Tanque externo	Tapas tanque externo
		Cuerpo externo
		Rigidizadores
		Soporte entre tanque interno y tanque externo
	Patas de apoyo periféricos	Patas de apoyo
		Aro de seguridad superior
		Orejales de izaje
		Dispositivo de vacío
	Manifold de llenado	Línea de llenado
		Línea de seguridad
		Línea de consumo
Línea de economización		

*Nota.* Autoría propia

### 7.5. Diagramas de proceso y fabricación

Para el ensamble del equipo se debe tener clara la información de proceso para la fabricación, además de contar con los parámetros de fabricación, herramientas necesarias para la operación, y puntos de inspección requeridos que garanticen la culminación de la operación.

### 7.5.1. Sub ensamblés de segundo nivel.

Diagrama de proceso									
Área de trabajo:		Código de área:		Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:	
Fabrica (maquina de trabajo)		00001 inoxidable		PAOLA DAZA		LAURA OSPINA		PAOLA DAZA	
Nombre del procedimiento:		DIAGRAMA DE PROCESO FABRICACIÓN DE TAPAS TANQUE INTERNO							
Código del procedimiento:		001-2019		Fecha Aprobó:		29/03/2019		Páginas: 1 de 1	
Plano de Fabricacion:		PL-TV1000-001		Material:		A/SA 240 TP 304, de 3050 x		Simbología	
No. Act.	Descripción de las actividades	CANTIDAD	TIEMPO (hh)	Operación	Transporte	Inspección	Espera	Almacenamiento	
1	Recepción de lamina	1	2						X
2	Medición de lamina	1	1			X			
3	Trazo y corte de discos para bombeado	2	4	X					
4	Transporte a servicio de bombeado y pestañado				X				
5	proceso de bombeado	2	16	X					
6	Proceso de pestañado	2	8	X					
7	Transporte a planta desde servicio de bombeado				X				
8	Verificación dimensional	2	1			X			
TOTAL tiempo requerido en horas hombre			32						
No. Act.	Descripción de las actividades	HERRAMIENTA			OBSERVACIONES				
1	Recepción de lamina	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad				
2	Medición de lamina	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad				
3	Trazo y corte de discos para bombeado	Equipo de plasma, compas, pulidora							
4	Transporte a servicio de bombeado y pestañado	camioneta con capacidad para 1000 Kg							
5	proceso de bombeado	Bombedora de lamina			Servicio solicitado externamente a planta				
6	Proceso de pestañado	Pestañadora de Tapas			Servicio solicitado externamente a planta				
7	Transporte a planta desde servicio de bombeado	camioneta con capacidad para 1000 Kg							
8	Verificación dimensional	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad				

Figura 76. Diagrama de proceso fabricación tapas. Autoría propia.

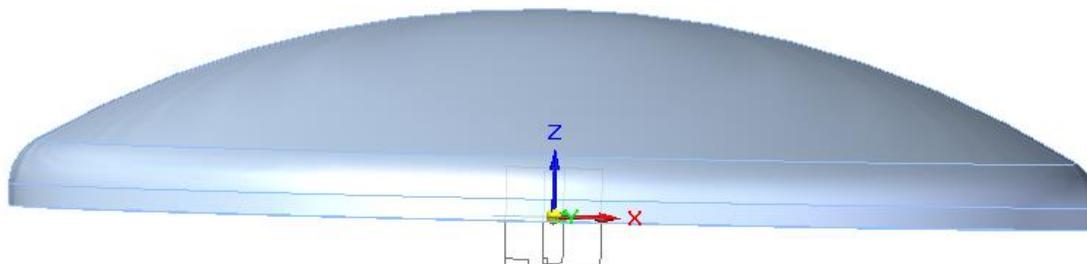


Figura 77. Tapa tanque interno. Autoría propia.

Diagrama de proceso								
Área de trabajo:		Código de área:		Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:
Fabrica (maquina de trabajo)		00001 inoxidable		PAOLA DAZA		LAURA OSPINA		PAOLA DAZA
Nombre del procedimiento:		DIAGRAMA DE PROCESO FABRICACIÓN DE TANQUE INTERNO						
Código del procedimiento:		002-2019		Fecha Aprobó:		29/03/2019		Páginas: 1 de 1
Plano de Fabricación:		PL-TV1000-002		Simbología		●	➔	■
Material:		A/SA 240 TP 304, de 3050 x						
No. Act.	Descripción de las actividades	CANTIDAD	TIEMPO (hh)	Operación	Transporte	Inspección	Espera	Almacenamiento
1	Recepción de lamina	1	2					X
2	Medición de lamina	1	3			X		
3	Trazo y corte de laminas para rolado	3	8	X				
4	Transporte a servicio de rolado	1			X			
5	proceso de rolado	3	24	X				
6	Proceso de recilindrado	3	16	X				
7	Transporte a planta desde servicio de rolado	1			X			
8	Verificación dimensional	3	2			X		
TOTAL tiempo requerido en horas hombre			55					
No. Act.	Descripción de las actividades	HERRAMIENTA		OBSERVACIONES				
1	Recepción de lamina	Flexómetro, Calibrador, Decámetro		Operación realizada por Inspector de calidad				
2	Medición de lamina	Flexómetro, Calibrador, Decámetro		Operación realizada por Inspector de calidad				
3	Trazo y corte de laminas para rolado	Equipo de plasma, compas, pulidora						
4	Transporte a servicio de rolado	camioneta con capacidad para 1000 Kg						
5	proceso de rolado	Bombedora de lamina		Servicio solicitado externamente a planta				
6	Proceso de recilindrado	Pestañadora de Tapas		Servicio solicitado externamente a planta				
7	Transporte a planta desde servicio de rolado	camioneta con capacidad para 1000 Kg						
8	Verificación dimensional	Flexómetro, Calibrador, Decámetro		Operación realizada por Inspector de calidad				

Figura 78. Diagrama de proceso fabricación de cuerpo. Autoría propia.

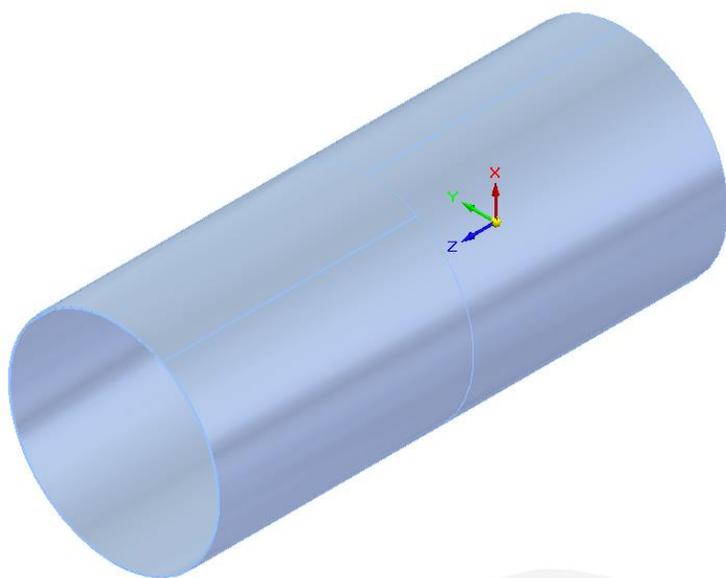


Figura 79. Ensamble de cuerpo. Autoría propia.

Diagrama de proceso									
Área de trabajo:		Código de área:		Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:	
Fabrica (maquina de trabajo)		00001 inoxidable		PAOLA DAZA		LAURA OSPINA		PAOLA DAZA	
Nombre del procedimiento:		DIAGRAMA DE PROCESO FABRICACION DE TUBERIAS DE PROCESO							
Código del procedimiento:		003-2019		Fecha Aprobó:		29/03/2019		Páginas: 1 de 1	
Plano de Fabricacion:		PL-TV1000-0012-13-14-15			    				
Material:		A/SA 240 TP 304, de 3050 x		Simbología					
No. Act.	Descripción de las actividades	CANTIDAD	TIEMPO (hh)	Operación	Transporte	Inspección	Espera	Almacenamiento	
1	Recepcion de tuberias	10	1						X
2	Recepcion de codos y accesorios soldados	20	1			X			
3	Trazo y corte de Tuberia de proceso	10	16	X					
4	Armado de lines de proceso	10	24	X					
5	Resoldado de lineas de proceso	10	36	X					
6	Verificación dimensional	10	3	X					
7	Pruebas Hidrostaticas a lineas de proceso	10	16			X			
8	Pruebas de espectrometría a lineas de proceso	10	8			X			
TOTAL tiempo requerido en horas hombre			105						
No. Act.	Descripción de las actividades	HERRAMIENTA			OBSERVACIONES				
1	Recepcion de tuberias	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad				
2	Recepcion de codos y accesorios soldados	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad				
3	Trazo y corte de Tuberia de proceso	compas, pulidora, Motortool							
4	Armado de lines de proceso	Equipo de soldadura Miller Tig 250							
5	Resoldado de lineas de proceso	Equipo de soldadura Miller Tig 250							
6	Verificación dimensional	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad				
7	Pruebas Hidrostaticas a lineas de proceso	Bomba de pruebas hidrostaticas			inspector/operario				
8	Pruebas de espectrometría a lineas de proceso	Equipo de espectrometría UL 200			inspector/operario				

Figura 80. Diagrama de proceso fabricación de tuberías de proceso. Autoría propia.

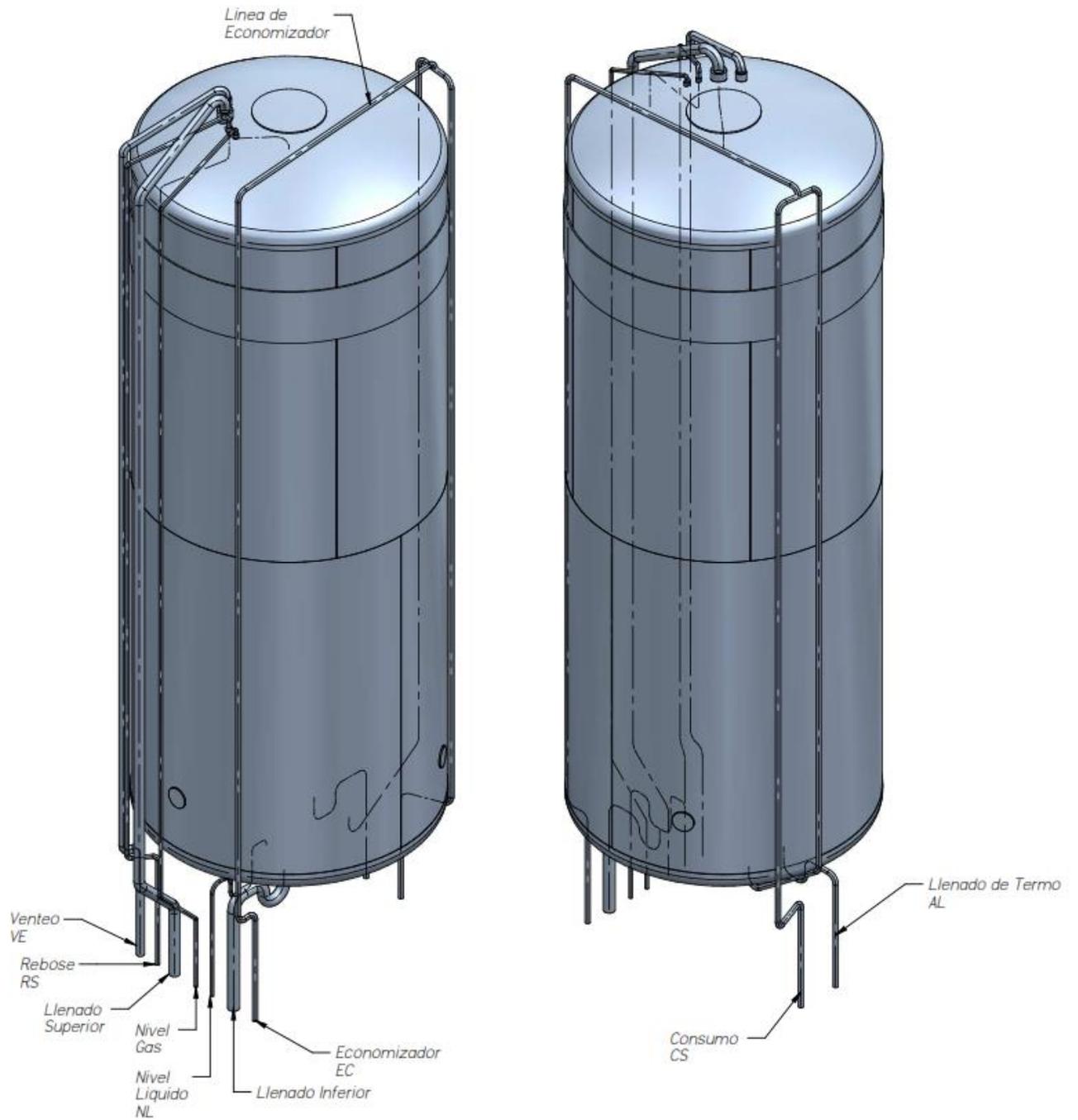


Figura 81. Isométrico de tuberías de proceso. Autoría propia.

Diagrama de proceso										
Área de trabajo:		Código de área:		Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:		
Fabrica (maquina de trabajo)		00001 inoxidable		PAOLA DAZA		LAURA OSPINA		PAOLA DAZA		
Nombre del procedimiento: DIAGRAMA DE PROCESO FABRICACIÓN DE SOPORTE ENTRE TANQUE INTERNO Y EXTERNO										
Código del procedimiento: 004-2019				Fecha Aprobó:		29/03/2019		Páginas: 1 de 1		
Plano de Fabricación: PL-TV1000-0016				Simbología		●	➔	■	◐	▼
Material: A/SA 240 TP 304, de 3050 x										
No. Act.	Descripción de las actividades	CANTIDAD	TIEMPO (hh)	Operación	Transporte	Inspección	Espera	Almacenamiento		
1	Recepción de lamina para soporte	10	1					X		
2	Material para soportes de posicionamiento	20	1			X				
3	Trazo y corte de soportes	10	8	X						
4	Armado de soportes	10	16	X						
5	Resoldado de soportes	10	24	X						
6	instalación de soportes a tanque	10	16	X						
TOTAL tiempo requerido en horas hombre			66							
No. Act.	Descripción de las actividades	HERRAMIENTA			OBSERVACIONES					
1	Recepción de lamina para soporte	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad					
2	Material para soportes de posicionamiento	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad					
3	Trazo y corte de soportes	compas, pulidora, Motortool								
4	Armado de soportes	Equipo de soldadura Miller Tig 250								
5	Resoldado de soportes	Equipo de soldadura Miller Tig 250								
6	instalación de soportes a tanque	Equipo de soldadura Miller Tig 250			Operación realizada por Inspector de calidad					

Figura 82. Diagrama de proceso soporte entre tanques. Autoría propia.

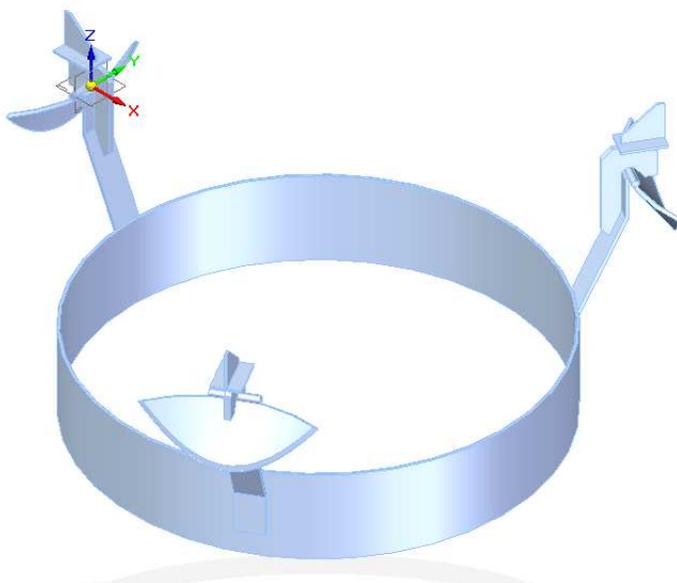


Figura 83. Soporte entre tanques. Autoría propia.

Diagrama de proceso								
Área de trabajo:		Código de área:		Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:
Fabrica (maquina de trabajo)		00001 inoxidable		PAOLA DAZA		LAURA OSPINA		PAOLA DAZA
Nombre del procedimiento:		DIAGRAMA DE PROCESO INSTALACION DE AISLAMIENTO						
Código del procedimiento:		005-2019		Fecha Aprobó:		29/03/2019		Páginas: 1 de 1
Plano de Fabricación:		Material: FOIL DE ALUMINIO / FIBRA TEXSA		Simbología		●	➔	■
						D	▽	
No. Act.	Descripción de las actividades	CANTIDAD	TIEMPO (hh)	Operación	Transporte	Inspección	Espera	Almacenamiento
1	Recepción de lamina para aislamiento	10	1					X
2	proceso de aislamiento	80	60	X				
3	verificacion de vueltas de aislamiento	80	2			X		
TOTAL tiempo requerido en horas hombre			63					
No. Act.	Descripción de las actividades	HERRAMIENTA			OBSERVACIONES			
1	Recepción de lamina para aislamiento	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad			
2	proceso de aislamiento	operación manual						
3	verificacion de vueltas de aislamiento	operación manual			Operación realizada por Inspector de calidad			

Figura 84. Instalación de aislamiento. Autoría propia.



Figura 85. Ejemplo de instalación de aislamiento. Autoría: Chart industries Estados Unidos.

Diagrama de proceso								
Área de trabajo:		Código de área:		Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:
Fabrica (maquina de trabajo)		00001 inoxidable		PAOLA DAZA		LAURA OSPINA		PAOLA DAZA
Nombre del procedimiento: DIAGRAMA DE PROCESO FABRICACIÓN DE TAPAS TANQUE EXTERNO								
Código del procedimiento: 006-2019				Fecha Aprobó:		29/03/2019		Páginas: 1 de 1
Plano de Fabricación: PL-TV1000-004				Material: ASTM 36		Simbología		
				    				
No. Act.	Descripción de las actividades	CANTIDAD	TIEMPO (hh)	Operación	Transporte	Inspección	Espera	Almacenamiento
1	Recepción de lamina	1	2					X
2	Medición de lamina	1	1			X		
3	Trazo y corte de discos para bombeado	2	4	X				
4	Transporte a servicio de bombeado y pestañado				X			
5	proceso de bombeado	2	16	X				
6	Proceso de pestañado	2	8	X				
7	Transporte a planta desde servicio de bombeado				X			
8	Verificación dimensional	2	1			X		
TOTAL tiempo requerido en horas hombre			32					
No. Act.	Descripción de las actividades	HERRAMIENTA			OBSERVACIONES			
1	Recepción de lamina	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad			
2	Medición de lamina	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad			
3	Trazo y corte de discos para bombeado	Equipo de plasma, compas, pulidora						
4	Transporte a servicio de bombeado y pestañado	camioneta con capacidad para 1000 Kg						
5	proceso de bombeado	Bombedora de lamina			Servicio solicitado externamente a planta			
6	Proceso de pestañado	Pestañadora de Tapas			Servicio solicitado externamente a planta			
7	Transporte a planta desde servicio de bombeado	camioneta con capacidad para 1000 Kg						
8	Verificación dimensional	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad			

Figura 86. Diagrama de proceso tapas externas. Autoría propia.

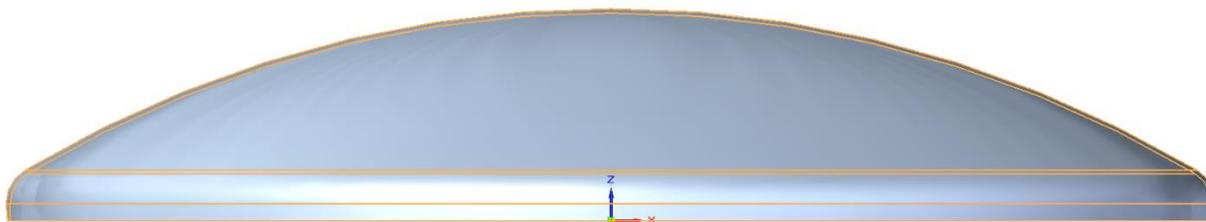


Figura 87. Perfil de tapas externas. Autoría propia.

Diagrama de proceso								
Área de trabajo:		Código de área:		Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:
Fabrica (maquina de trabajo)		00001 inoxidable		PAOLA DAZA		LAURA OSPINA		PAOLA DAZA
Nombre del procedimiento: DIAGRAMA DE PROCESO FABRICACIÓN DE TANQUE EXTERNO Y RIDIGIZADORES								
Código del procedimiento: 002-2019				Fecha Aprobó:		29/03/2019		Páginas: 1 de 1
Plano de Fabricación: PL-TV1000-005				Material: A/SA 240 TP 304, de 3050 x		Simbología		
				    				
No. Act.	Descripción de las actividades	CANTIDAD	TIEMPO (hh)	Operación	Transporte	Inspección	Espera	Almacenamiento
1	Recepción de lamina	1	2					X
2	Medición de lamina	1	3			X		
3	Trazo y corte de laminas para rolado	3	8	X				
4	Transporte a servicio de rolado	1			X			
5	proceso de rolado	3	24	X				
6	Proceso de recilindrado	3	16	X				
7	Transporte a planta desde servicio de rolado	1			X			
8	Verificación dimensional	3	2			X		
TOTAL tiempo requerido en horas hombre			55					
No. Act.	Descripción de las actividades	HERRAMIENTA			OBSERVACIONES			
1	Recepción de lamina	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad			
2	Medición de lamina	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad			
3	Trazo y corte de laminas para rolado	Equipo de plasma, compas, pulidora						
4	Transporte a servicio de rolado	camioneta con capacidad para 1000 Kg						
5	proceso de rolado	Bombedora de lamina			Servicio solicitado externamente a planta			
6	Proceso de recilindrado	Pestañadora de Tapas			Servicio solicitado externamente a planta			
7	Transporte a planta desde servicio de rolado	camioneta con capacidad para 1000 Kg						
8	Verificación dimensional	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad			

Figura 88. Diagrama de proceso tanque externo. Autoría propia.

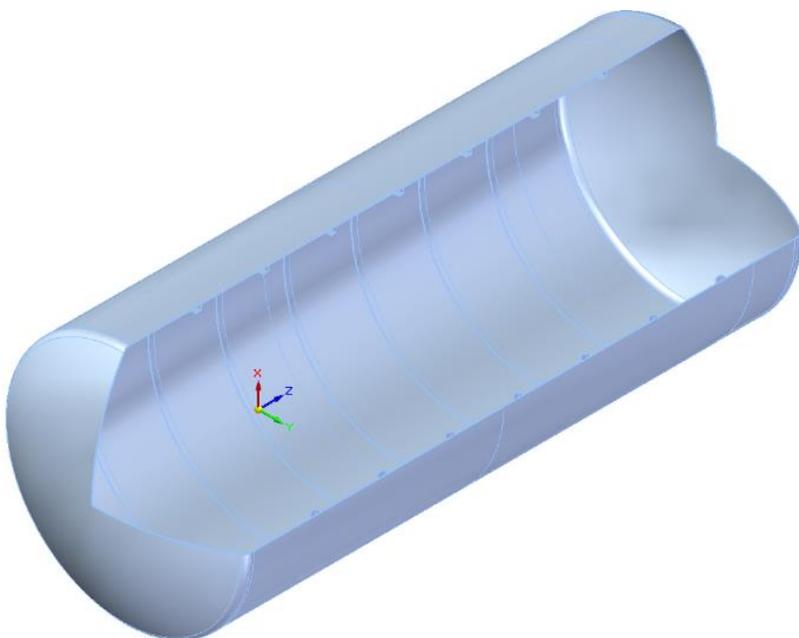


Figura 89. Esquema tanque externo. Autoría propia.

Diagrama de proceso										
Área de trabajo:		Código de área:		Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:		
Fabrica (maquina de trabajo)		00001 inoxidable		PAOLA DAZA		LAURA OSPINA		PAOLA DAZA		
Nombre del procedimiento: DIAGRAMA DE PROCESO FABRICACIÓN DE SOPORTE ENTRE TANQUE INTERNO Y EXTERNO										
Código del procedimiento: 004-2019				Fecha Aprobó:		29/03/2019		Páginas: 1 de 1		
Plano de Fabricación: PL-TV1000-0016				Simbología		●	➔	■	◐	▼
Material: A/SA 240 TP 304, de 3050 x										
No. Act.	Descripción de las actividades	CANTIDAD	TIEMPO (hh)	Operación	Transporte	Inspección	Espera	Almacenamiento		
1	Recepción de lamina para soporte	10	1					X		
2	Material para soportes de posicionamiento	20	1			X				
3	Trazo y corte de soportes	10	8	X						
4	Armado de soportes	10	16	X						
5	Resoldado de soportes	10	24	X						
6	instalación de soportes a tanque	10	16	X						
TOTAL tiempo requerido en horas hombre			66							
No. Act.	Descripción de las actividades	HERRAMIENTA			OBSERVACIONES					
1	Recepción de lamina para soporte	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad					
2	Material para soportes de posicionamiento	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad					
3	Trazo y corte de soportes	compas, pulidora, Motortool								
4	Armado de soportes	Equipo de soldadura Miller Tig 250								
5	Resoldado de soportes	Equipo de soldadura Miller Tig 250								
6	instalación de soportes a tanque	Equipo de soldadura Miller Tig 250			Operación realizada por Inspector de calidad					

Figura 90. Diagrama de proceso soporte entre tanques. Autoría propia.

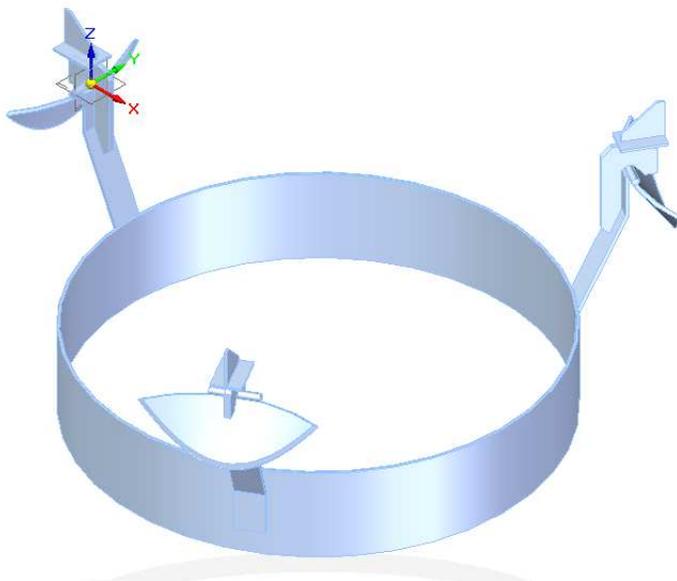


Figura 91. Soporte entre tanques. Autoría propia.

Diagrama de proceso								
Área de trabajo:		Código de área:		Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:
Fabrica (maquina de trabajo)		00001 inoxidable		PAOLA DAZA		LAURA OSPINA		PAOLA DAZA
Nombre del procedimiento:		DIAGRAMA DE PROCESO FABRICACIÓN DE PATAS DE APOYO Y PERIFÉRICOS						
Código del procedimiento:		007-2019		Fecha Aprobó:		29/03/2019		Páginas: 1 de 1
Plano de Fabricación:		PL-TV1000-0017						
Material:		ASTM A 36						
No. Act.	Descripción de las actividades	CANTIDAD	TIEMPO (hh)	Operación	Transporte	Inspección	Espera	Almacenamiento
1	Recepción de lamina	1	2					X
2	Medición de lamina	1	3			X		
3	Trazo y corte de laminas para patas, orejas y periféric	3	8	X				
4	Transporte a servicio de doblado	1			X			
5	proceso de doblado	3	24	X				
6	Proceso de plegado	3	16	X				
7	Transporte a planta desde servicio de plegado	1			X			
8	Verificación dimensional	3	2			X		
TOTAL tiempo requerido en horas hombre			55					
No. Act.	Descripción de las actividades	HERRAMIENTA			OBSERVACIONES			
1	Recepción de lamina	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad			
2	Medición de lamina	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad			
3	Trazo y corte de laminas para patas, orejas y periféric	Equipo de plasma, compas, pulidora						
4	Transporte a servicio de doblado	camioneta con capacidad para 1000 Kg						
5	proceso de doblado	dobladora de lamina			Servicio solicitado externamente a planta			
6	Proceso de plegado	Plegadora de Tapas			Servicio solicitado externamente a planta			
7	Transporte a planta desde servicio de plegado	camioneta con capacidad para 1000 Kg						
8	Verificación dimensional	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad			

Figura 92. Diagrama de proceso patas y periféricos. Autoría propia.

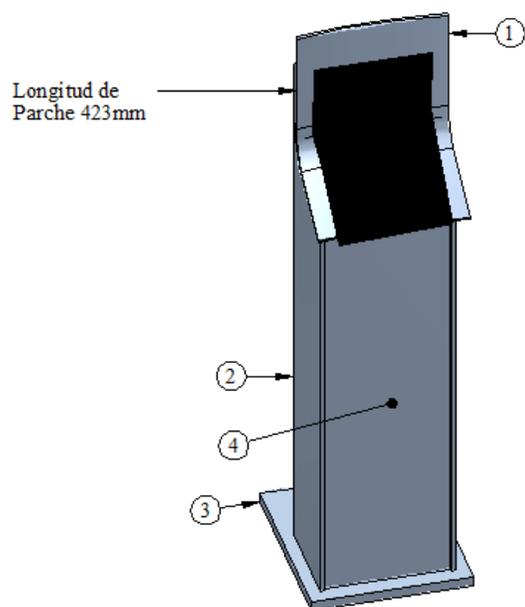


Figura 93. Esquema de pata de apoyo. Autoría propia.

Diagrama de proceso									
Área de trabajo:		Código de área:		Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:	
Fabrica (maquina de trabajo)		00001 inoxidable		PAOLA DAZA		LAURA OSPINA		PAOLA DAZA	
Nombre del procedimiento:				DIAGRAMA DE PROCESO FABRICACION LINEA DE LLENADO					
Código del procedimiento:				008-2019		Fecha Aprobó:	29/03/2019	Páginas:	1 de 1
Plano de Fabricación:									
Material:				Inoxidable / Bronce	Simbología				
				●	→	■	◐	▼	
No. Act.	Descripción de las actividades	CANTIDAD	TIEMPO (hh)	Operación	Transporte	Inspección	Espera	Almacenamiento	
1	Recepción de lamina para aislamiento	10	1					X	
2	proceso de fabricacion de linea de llenado	80	20	X					
3	verificacion de hermeticidad de la linea	80	3			X			
TOTAL tiempo requerido en horas hombre			24						
No. Act.	Descripción de las actividades	HERRAMIENTA			OBSERVACIONES				
1	Recepción de lamina para aislamiento	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad				
2	proceso de fabricacion de linea de llenado	Equipo de soldadura miller tig 250							
3	verificacion de hermeticidad de la linea	operación manual			Operación realizada por Inspector de calidad				

Figura 94. Fabricación línea de llenado. Autoría propia.

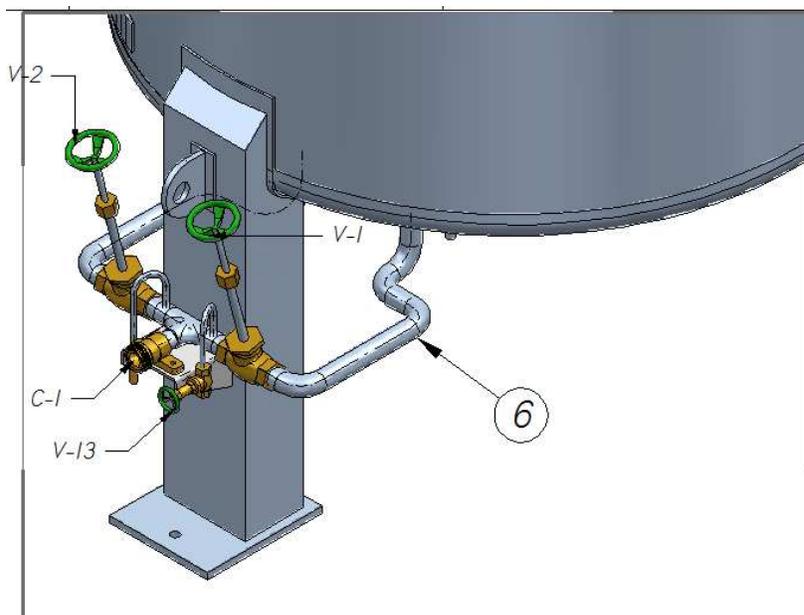


Figura 95. Fabricación línea de llenado. Autoría propia.

Diagrama de proceso										
Área de trabajo:		Código de área:		Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:		
Fabrica (maquina de trabajo)		00001 inoxidable		PAOLA DAZA		LAURA OSPINA		PAOLA DAZA		
Nombre del procedimiento:				DIAGRAMA DE PROCESO FABRICACION LINEA DE SEGURIDAD						
Código del procedimiento:				008-2019		Fecha Aprobó:	29/03/2019	Páginas:	1 de 1	
Plano de Fabricación:				PL-TV1000-0021						
Material:				Inoxidable / Bronce	Simbología					
No. Act.	Descripción de las actividades	CANTIDAD	TIEMPO (hh)	Operación	Transporte	Inspección	Espera	Almacenamiento		
1	Recepción de lamina para aislamiento	10	1					X		
2	proceso de fabricacion de linea de llenado	80	15	X						
3	verificacion de hermeticidad de la linea	80	3			X				
TOTAL tiempo requerido en horas hombre			19							
No. Act.	Descripción de las actividades	HERRAMIENTA			OBSERVACIONES					
1	Recepción de lamina para aislamiento	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad					
2	proceso de fabricacion de linea de llenado	Equipo de soldadura miller tig 250								
3	verificacion de hermeticidad de la linea	operación manual			Operación realizada por Inspector de calidad					

Figura 96. Fabricación línea de venteo. Autoría propia.

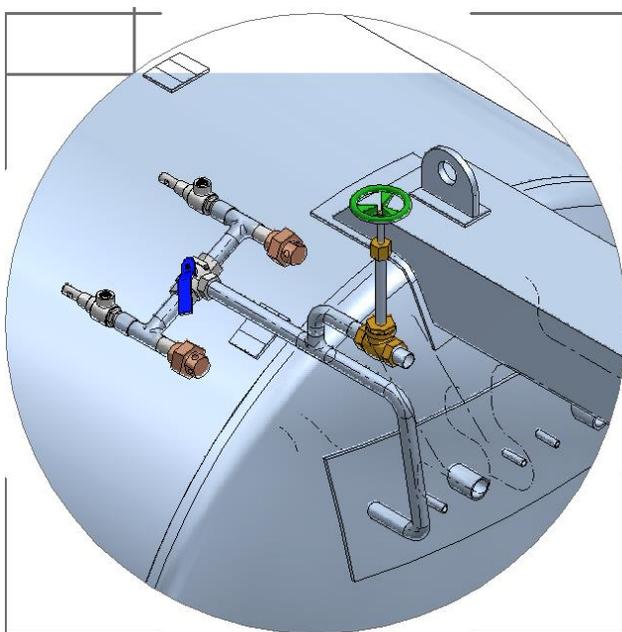


Figura 97. Fabricación línea de venteo. Autoría propia.

Diagrama de proceso								
Área de trabajo:		Código de área:		Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:
Fabrica (maquina de trabajo)		00001 inoxidable		PAOLA DAZA		LAURA OSPINA		PAOLA DAZA
Nombre del procedimiento:		DIAGRAMA DE PROCESO FABRICACION LINEA DE CONSUMO						
Código del procedimiento:		023-2019		Fecha Aprobó:		29/03/2019		Páginas: 1 de 1
Plano de Fabricación:		PL-TV1000-0021						
Material:		Inoxidable / Bronce						
No. Act.	Descripción de las actividades	CANTIDAD	TIEMPO (hh)	Operación	Transporte	Inspección	Espera	Almacenamiento
1	Recepción de lamina para aislamiento	10	1					X
2	proceso de fabricacion de linea de llenado	80	6	X				
3	verificacion de hermeticidad de la linea	80	3			X		
TOTAL tiempo requerido en horas hombre			10					
No. Act.	Descripción de las actividades	HERRAMIENTA			OBSERVACIONES			
1	Recepción de lamina para aislamiento	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad			
2	proceso de fabricacion de linea de llenado	Equipo de soldadura miller tig 250						
3	verificacion de hermeticidad de la linea	operación manual			Operación realizada por Inspector de calidad			

Figura 98. Fabricación línea de consumo. Autoría propia.

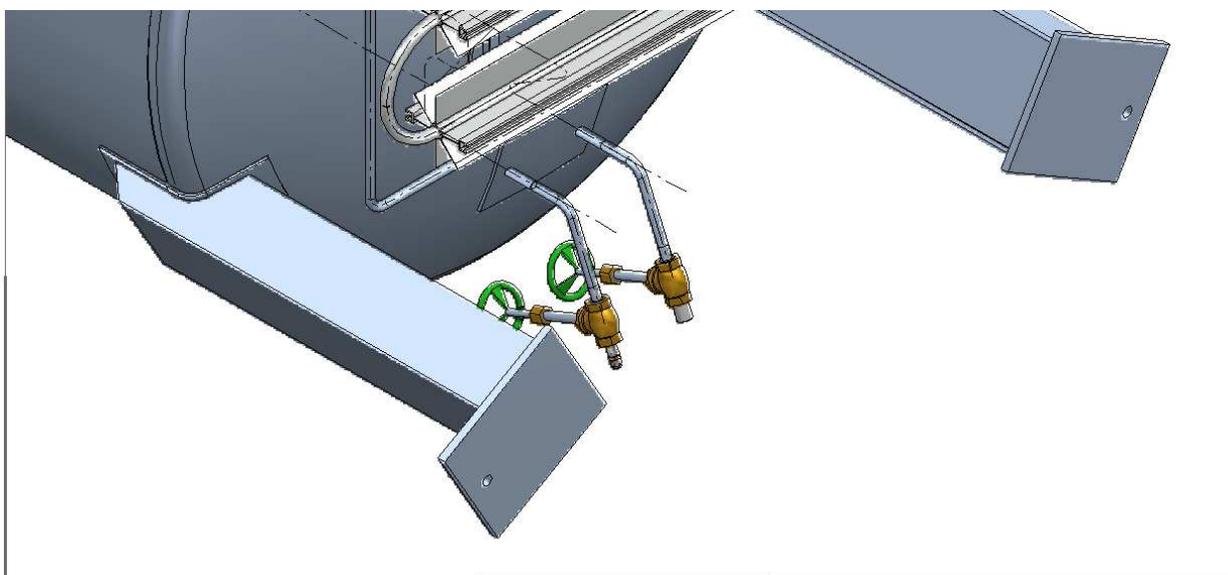


Figura 99. Línea de consumo. Autoría propia.

Diagrama de proceso								
Área de trabajo:		Código de área:		Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:
Fabrica (maquina de trabajo)		00001 inoxidable		PAOLA DAZA		LAURA OSPINA		PAOLA DAZA
Nombre del procedimiento: DIAGRAMA DE PROCESO FABRICACION LINEA DE CONSUMO								
Código del procedimiento: 024-2019				Fecha Aprobó:		29/03/2019		Páginas: 1 de 1
Plano de Fabricación: PL-TV1000-0022				    				
Material: Inoxidable / Bronce		Simbología						
No. Act.	Descripción de las actividades	CANTIDAD	TIEMPO (hh)	Operación	Transporte	Inspección	Espera	Almacenamiento
1	Recepción de lamina para aislamiento	10	1					X
2	proceso de fabricacion de linea de llenado	80	6	X				
3	verificacion de hermeticidad de la linea	80	3			X		
TOTAL tiempo requerido en horas hombre			10					
No. Act.	Descripción de las actividades	HERRAMIENTA			OBSERVACIONES			
1	Recepción de lamina para aislamiento	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad			
2	proceso de fabricacion de linea de llenado	Equipo de soldadura miller tig 250						
3	verificacion de hermeticidad de la linea	operación manual			Operación realizada por Inspector de calidad			

Figura 100. Fabricación línea de economizador. Autoría propia.

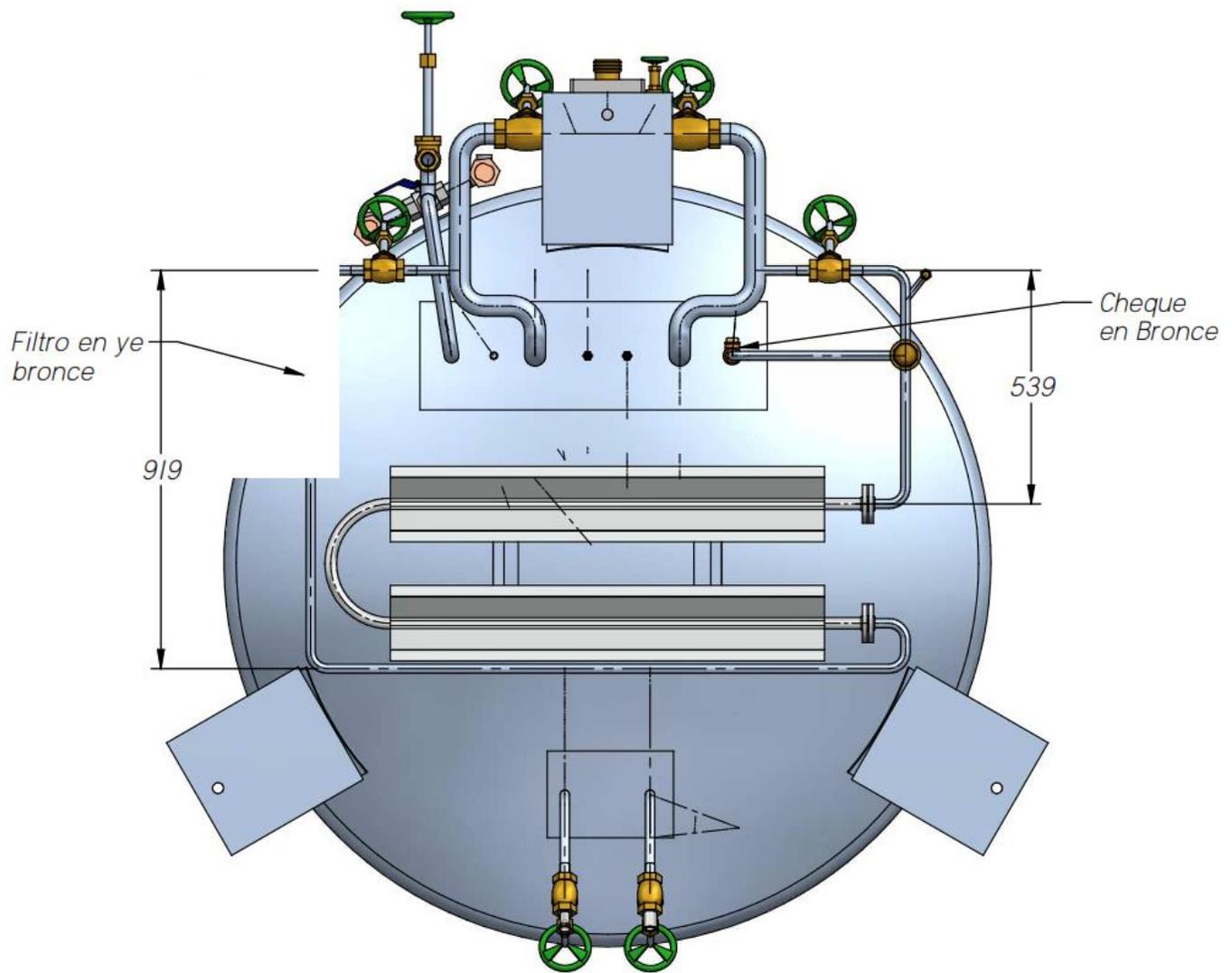


Figura 101. Vista línea de economizador. Autoría propia.

### 7.5.2. Sub ensambles de primer nivel.

Diagrama de proceso								
Área de trabajo:		Código de área:		Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:
Fabrica (maquina de trabajo)		00001 inoxidable		PAOLA DAZA		LAURA OSPINA		PAOLA DAZA
Nombre del procedimiento: DIAGRAMA DE PROCESO ENSAMBLE DE TANQUE INTERNO								
Código del procedimiento:				Fecha Aprobó:		Páginas:		1 de 1
025-2019				29/03/2019				
Plano de Fabricación:				Simbología				
PL-TV1000-0022				●	➔	■	◐	▼
Material:								
No. Act.	Descripción de las actividades	CANTIDAD	TIEMPO (hh)	Operación	Transporte	Inspección	Espera	Almacenamiento
1	Recepcion de elementos	1	2					X
2	ensambles de tapas a cuerpo	1	24	X				
3	ensamble de tuberías a cuerpo	10	36	X				
4	instalacion de soporte entre tanques	1	12	X				
5	prueba hidrostática recipiente	1	24			X		
6	prueba de espectrometría general tanque interno	1	36			X		
7	instalacion de aislamiento	1	60	X				
8	liberacion para telescopiado	1	3			X		
TOTAL tiempo requerido en horas hombre			197					
No. Act.	Descripción de las actividades	HERRAMIENTA			OBSERVACIONES			
1	Recepcion de elementos							
2	ensambles de tapas a cuerpo	Equipo de soldadura Miller 300 A						
3	ensamble de tuberías a cuerpo	Equipo de soldadura Miller tig 250						
4	instalacion de soporte entre tanques	Equipo de soldadura Miller 300 A						
5	prueba hidrostática recipiente	Bomba de prueba hidrostática						
6	prueba de espectrometría general tanque interno	Detector de helio UL 200						
7	instalacion de aislamiento	Operación Manual			Operación realizada por Inspector de calidad			
8	liberacion para telescopiado				Operación realizada por Inspector de calidad			

Figura 102. Sub Ensamble de primer nivel interno. Autoría propia.

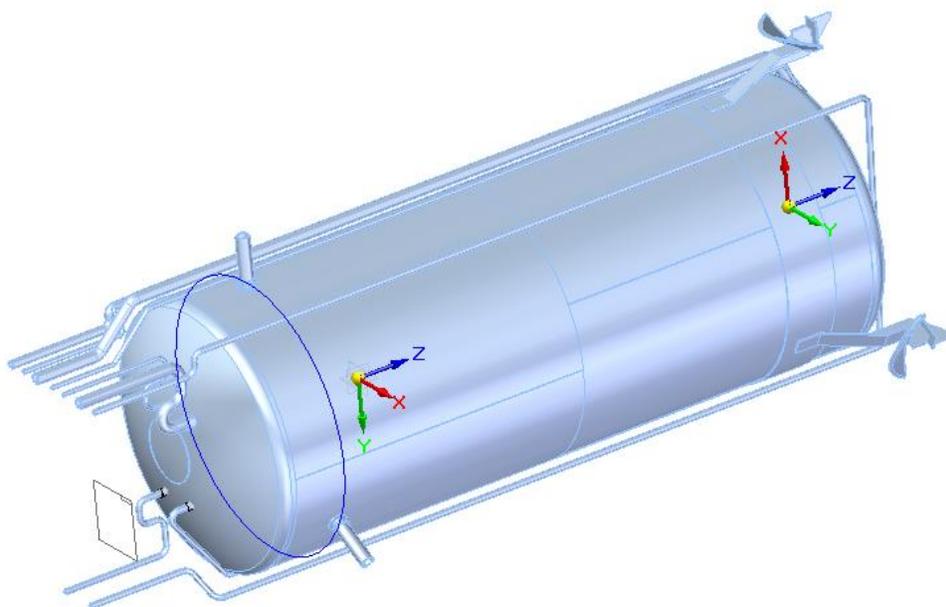


Figura 103. Total, tanque interno. Autoría propia.

Diagrama de proceso								
Área de trabajo:		Código de área:		Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:
Fabrica (maquina de trabajo)		00001 inoxidable		PAOLA DAZA		LAURA OSPINA		PAOLA DAZA
Nombre del procedimiento: DIAGRAMA DE PROCESO ENSAMBLE DE TANQUE EXTERNO								
Código del procedimiento: 028-2019				Fecha Aprobó: 29/03/2019		Páginas: 1 de 1		
Plano de Fabricación:								
Material:				Simbología				
No. Act.	Descripción de las actividades	CANTIDAD	TIEMPO (hh)	Operación	Transporte	Inspección	Espera	Almacenamiento
1	Recepcion de elementos	1	4					X
2	Telescopiado de tanque interno en tanque externo	1	48	X				
3	ensamble de tapas	10	48	X				
4	instalacion de soporte entre tanques	1	24	X				
5	prueba neumatica de espacio anular	1	24			X		
6	prueba de espectrometría general tanque externo	1	36			X		
7	instalacion de parches de refuerzo	1	25	X				
8	liberacion para secado	1	2			X		
TOTAL tiempo requerido en horas hombre			211					
No. Act.	Descripción de las actividades	HERRAMIENTA			OBSERVACIONES			
1	Recepcion de elementos							
2	Telescopiado de tanque interno en tanque externo	Equipo de soldadura Miller 300 A						
3	ensamble de tapas	Equipo de soldadura Miller tig 250						
4	instalacion de soporte entre tanques	Equipo de soldadura Miller 300 A						
5	prueba neumatica de espacio anular	Bomba de prueba neumatica						
6	prueba de espectrometría general tanque externo	Detector de helio UL 200						
7	instalacion de parches de refuerzo	Operación Manual			Operación realizada por Inspector de calidad			
8	liberacion para secado				Operación realizada por Inspector de calidad			

Figura 104. Diagrama de proceso telescopiado. Autoría propia.

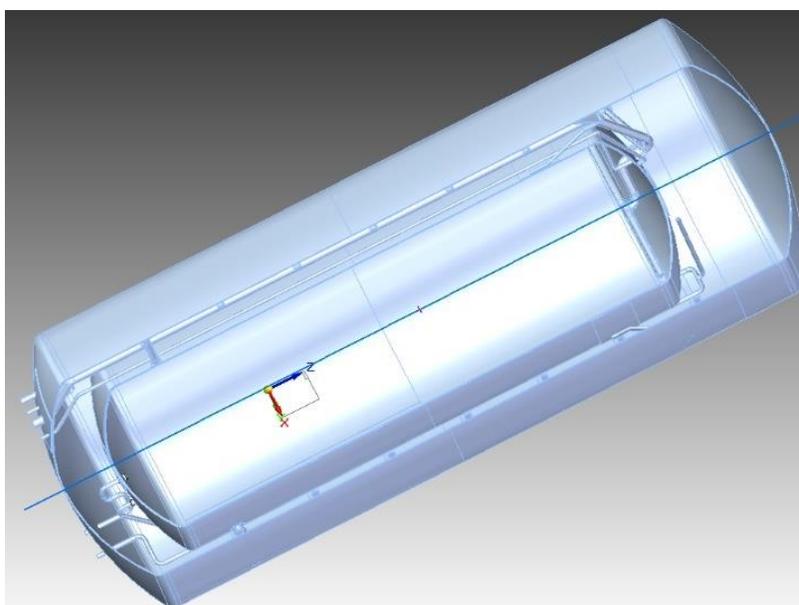


Figura 105. Grafica instalación tanque interno-externo. Autoría propia.

Diagrama de proceso								
Área de trabajo:		Código de área:		Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:
Fabrica (maquina de trabajo)		00001 inoxidable		PAOLA DAZA		LAURA OSPINA		PAOLA DAZA
Nombre del procedimiento:		DIAGRAMA DE PROCESO FABRICACIÓN DE PATAS DE APOYO Y PERIFÉRICOS						
Código del procedimiento:		007-2019		Fecha Aprobó:		29/03/2019		Páginas: 1 de 1
Plano de Fabricación:		PL-TV1000-0017						
Material:		ASTM A 36						
No. Act.	Descripción de las actividades	CANTIDAD	TIEMPO (hh)	Operación	Transporte	Inspección	Espera	Almacenamiento
1	Recepción de lamina	1	2					X
2	Medición de lamina	1	3			X		
3	Trazo y corte de laminas para patas, orejas y periféric	3	8	X				
4	Transporte a servicio de doblado	1			X			
5	proceso de doblado	3	24	X				
6	Proceso de plegado	3	16	X				
7	Transporte a planta desde servicio de plegado	1			X			
8	Verificación dimensional	3	2			X		
TOTAL tiempo requerido en horas hombre			55					
No. Act.	Descripción de las actividades	HERRAMIENTA			OBSERVACIONES			
1	Recepción de lamina	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad			
2	Medición de lamina	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad			
3	Trazo y corte de laminas para patas, orejas y periféric	Equipo de plasma, compas, pulidora						
4	Transporte a servicio de doblado	camioneta con capacidad para 1000 Kg						
5	proceso de doblado	dobladora de lamina			Servicio solicitado externamente a planta			
6	Proceso de plegado	Plegadora de Tapas			Servicio solicitado externamente a planta			
7	Transporte a planta desde servicio de plegado	camioneta con capacidad para 1000 Kg						
8	Verificación dimensional	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad			

Figura 106. Diagrama de proceso patas y periféricos. Autoría propia.

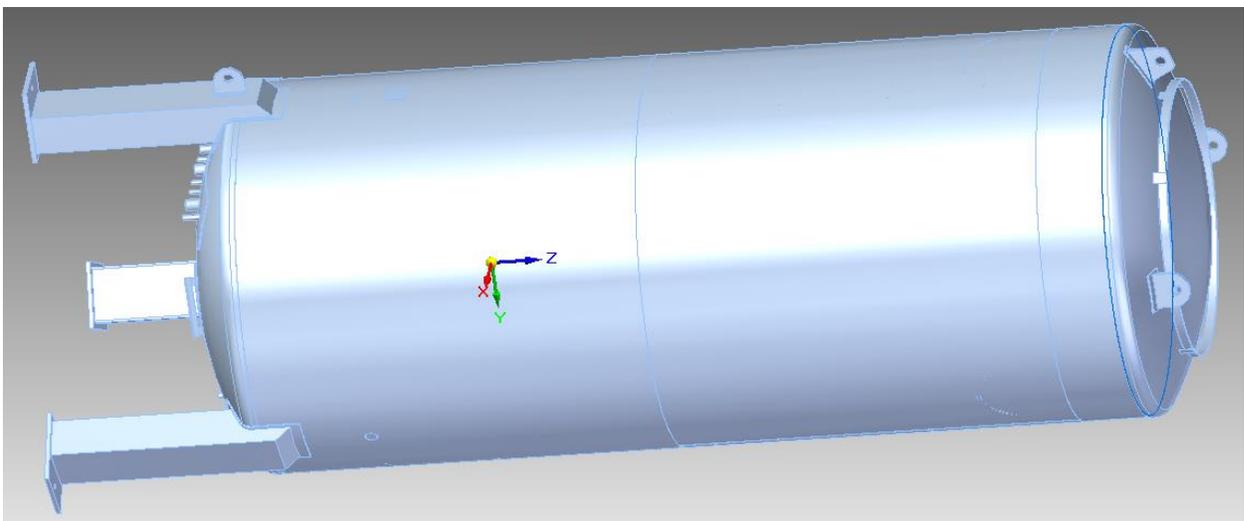


Figura 107. Ensamble periférico. Autoría propia.

Diagrama de proceso								
Área de trabajo:		Código de área:		Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:
Fabrica (maquina de trabajo)		00001 inoxidable		PAOLA DAZA		LAURA OSPINA		PAOLA DAZA
Nombre del procedimiento:		DIAGRAMA DE PROCESO FABRICACION LINEA DE CONSUMO						
Código del procedimiento:		030-2019		Fecha Aprobó:		29/03/2019		Páginas: 1 de 1
Plano de Fabricación:		PL-TV1000-0022						
Material:		Inoxidable / Bronce						
No. Act.	Descripción de las actividades	CANTIDAD	TIEMPO (hh)	Operación	Transporte	Inspección	Espera	Almacenamiento
1	Recepción de lamina para aislamiento	1	1					X
2	proceso de fabricacion de linea de llenado	1	12	X				
3	proceso de fabricacion de linea de venteo	1	12	X				
4	proceso de fabricacion de linea de economizacion	1	12	X				
5	proceso de fabricacion de linea de consumo	1	12	X				
TOTAL tiempo requerido en horas hombre			49					
No. Act.	Descripción de las actividades	HERRAMIENTA			OBSERVACIONES			
1	Recepción de lamina para aislamiento	Flexómetro, Calibrador, Decámetro			Operación realizada por Inspector de calidad			
2	proceso de fabricacion de linea de llenado	Equipo de soldadura miller tig 250						
3	proceso de fabricacion de linea de venteo	Equipo de soldadura miller tig 250						
4	proceso de fabricacion de linea de economizacion	Equipo de soldadura miller tig 250						
5	proceso de fabricacion de linea de consumo	Equipo de soldadura miller tig 250						

Figura 108. Ensamble de líneas. Autoría propia.

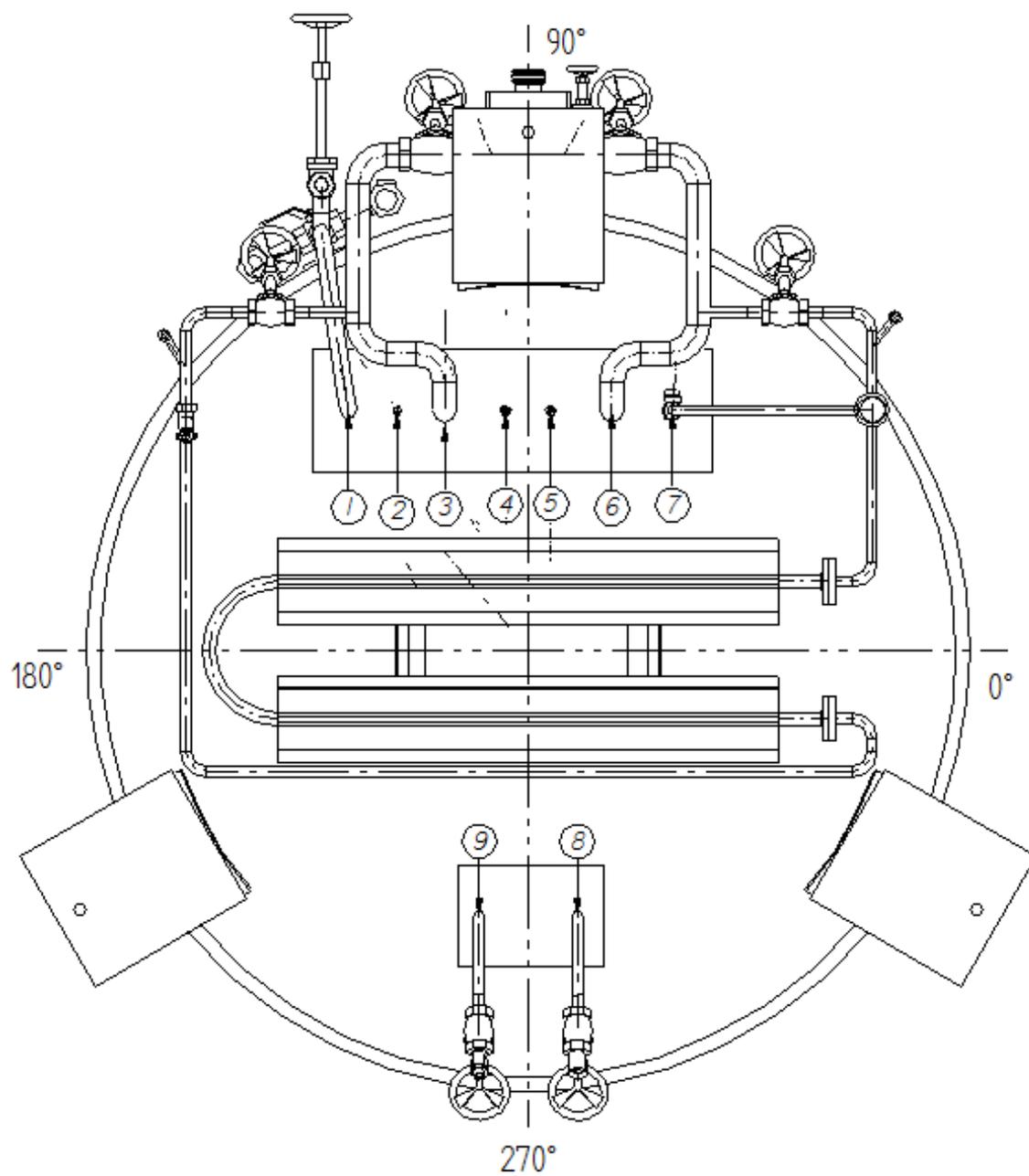


Figura 109. Vista inferior ensamble de líneas. Autoría propia.

### 7.5.3. Ensamble general.

Diagrama de proceso								
Área de trabajo:		Código de área:		Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:
Fabrica (maquina de trabajo)		00001 inoxidable		PAOLA DAZA		LAURA OSPINA		PAOLA DAZA
Nombre del procedimiento: DIAGRAMA DE PROCESO GENERAL FABRICACION TANQUE CRYOGENICO VERTICAL								
Código del procedimiento: 031-2019				Fecha Aprobó: 29/03/2019		Páginas: 1 de 1		
Plano de Fabricación:								
Material:				Simbología				
No. Act.	Descripción de las actividades	CANTIDAD	TIEMPO (hh)	Operación	Transporte	Inspección	Espera	Almacenamiento
1	ENSAMBLE TANQUE INTERNO	1	1					X
2	EENSAMBLE TANQUE EXTERNO	1	12	X				
3	TELESCOPIADO INTERNO-EXTERNO	1	12	X				
4	PRUEBAS DE HERMETICIDAD	1	12			X		
5	INSTALACION DE PERISFERICOS	1	12	X				
	PROCESO DE SECADO						X	
	PROCESO DE PINTURA Y ACABADO			X				
	PRUEBAS DE PRESION							
	ENTREGA A CLIENTE							X
TOTAL tiempo requerido en horas hombre			49					
No. Act.	Descripción de las actividades	HERRAMIENTA		OBSERVACIONES				
1	ENSAMBLE TANQUE INTERNO	Equipo de soldadura miller tig 250		Operación realizada por Inspector de calidad				
2	EENSAMBLE TANQUE EXTERNO	Equipo de soldadura miller tig 250						
3	TELESCOPIADO INTERNO-EXTERNO	Equipo de soldadura miller tig 250						
4	PRUEBAS DE HERMETICIDAD	Equipo de soldadura miller tig 250						
5	INSTALACION DE PERISFERICOS	Detector de helio UL 200						
	PROCESO DE SECADO	HORNO DE SECADO						
	PROCESO DE PINTURA Y ACABADO							
	PRUEBAS DE PRESION							
	ENTREGA A CLIENTE							

Figura 110. Diagrama de proceso general. Autoría propia.

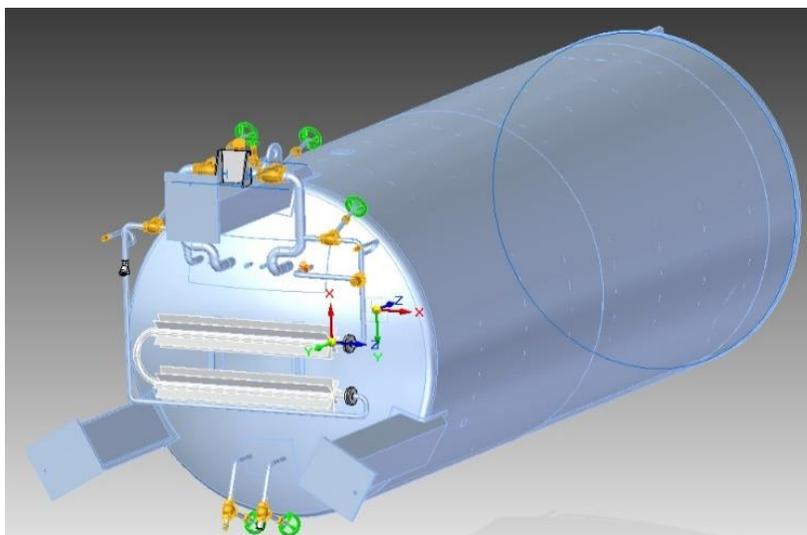


Figura 111. Esquema general. Autoría propia.

## 7.6. Ficha técnica del producto

### 7.6.1. Características físicas.

Tabla 64.

*Características ficha técnica tanque de almacenamiento vertical para oxígeno líquido 2500 GLS.*

Especificaciones	Característica
Volumen de agua @ 100%	2500 US GAL
Volumen nominal @ 95%	2375 US GAL (28848 KG DE CO <sub>2</sub> @315 PSI)
MAWP	250 PSIG @ -320°F
MDMT	-320 ° F @ 250 PSIG
Peso Vacío	5200 kg / 11464 Lbs
Diámetro	87" / 2.2 m
Alto	21' / 6.4 m
Largo	21' / 6.4 m
Tanque	MATERIAL: Acero Inoxidable SA-240 TP 304. Tapas Torisfericas. Radiografiado RT-1.
Pasa hombre	500 mm (aprox. 19 in)
Tuberías internas	Acero Inoxidable SA-312 TP 304
Manifold	Válvulas de corte: Válvula Bronce vástago extendido marca rego Sistema de seguridad: Válvula tres vías (1), válvula de seguridad (2), discos de ruptura (2). Conexiones: CGA 150.
Aislamiento	Multicapa foil de aluminio más fibra texa 80 vueltas de aislamiento.
Pruebas	Hidrostática-Neumática-Espectrometrías
Certificación	Estampe ASME SEC VIII DIV 1.

*Nota.* Autoría propia.

Tanque criogénico vertical con capacidad para 2500 GLS, fabricado en acero inoxidable SA 240 TP 304, con chaqueta externa en lámina de acero carbón.

En el siguiente esquema se muestra las características físicas del equipo mencionado

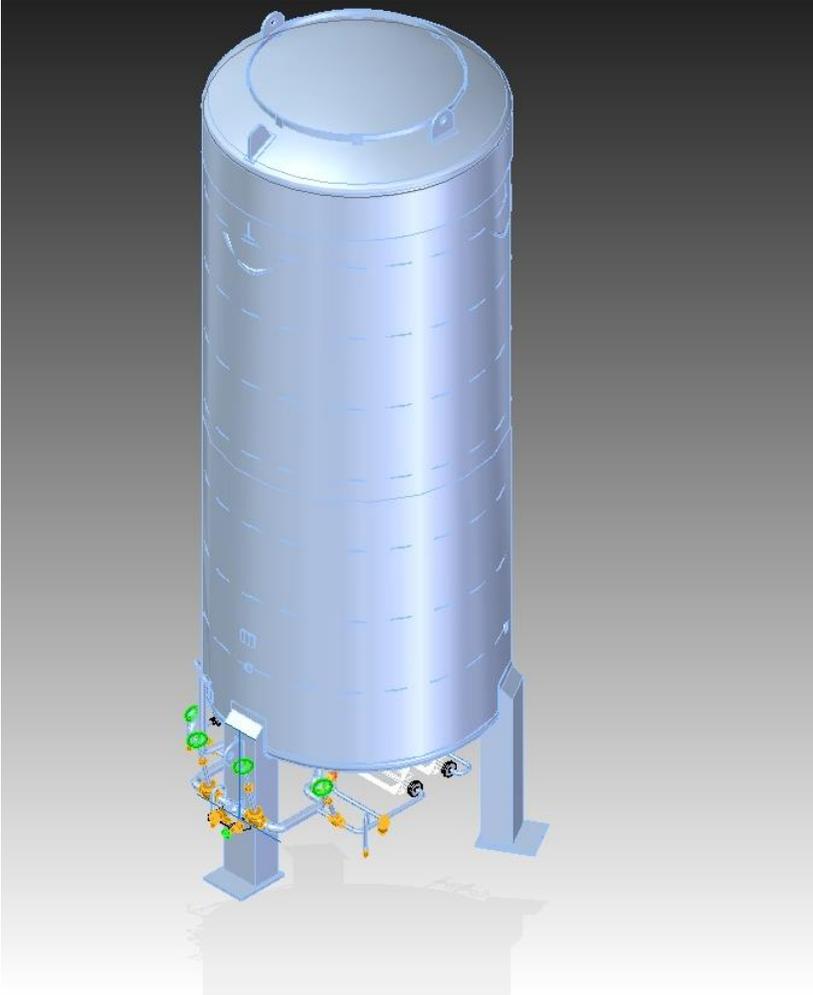


Figura 112. Características físicas tanque criogénico 2500 GLS. Autoría propia.

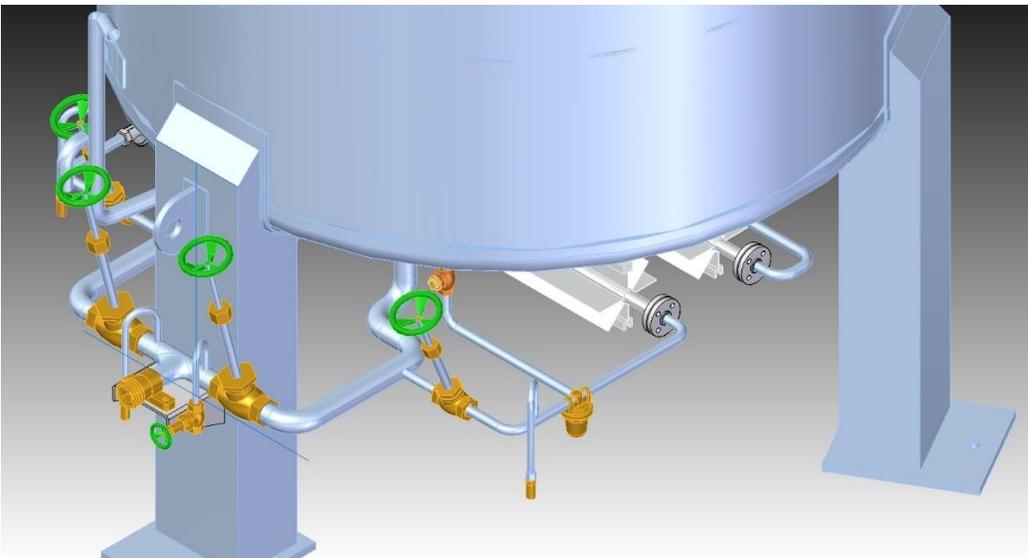


Figura 113. Características físicas tanque criogénico accesorios al detalle. Autoría Propia.

• **Manifold:**

- *Línea de Venteo y Seguridad:* Línea correspondiente al sistema de seguridad principal del Tanquero fabricada en tubería inoxidable SA 312 TP 304 de 1" SCH 40, con válvulas de seguridad en bronce 250 psig de 3/4" MNPT x 1" FPT, válvula tres vías, discos de ruptura, manómetro seco inox/bronce de 2-1/2" de 0-600 psig. Todos los accesorios en acero inoxidable.

**Application**  
The ASME approved 90° relief valves AR Series, provide precise relief set points which protect cryogenic vessels and piping systems for over-pressurization.

**Features**

- High flow rates are approved by rigorous testing to ASME B16.34 Code Section VIII.
- The ninety degree configuration provides relief of gases eliminating direct flow through the spring.
- The ninety degree configuration allows easy incorporation to plumbing for output containment.
- Bubble tight seal provides 100% shut off when reseating or static mode.
- A variety of inlets and pressure settings assure adherence to application requirements.
- Temperature Range: -320°F (-190°C) to +180°F (+74°C)
- Cleaned for Oxygen Service per CGA G-4.1
- 100% Factory Tested.
- PED, TPED & ASME Certified

**Materials**

Body	Brass ASTM B61
Upper Body	Stainless Steel ASTM A302
Seat & Stem	Brass ASTM B16
Poppet Guide	Brass ASTM B16
Spring Retainer	Brass ASTM B16
Adjusting Screw	Brass ASTM B16
Cap	Brass ASTM B16
Ball	Stainless Steel
Gasket	Copper ASTM B152-17
Spring	Stainless Steel ASTM A313
Seat	Modified PTFE

**Ordering Information**  
Fill in the blanks with options below.  
Example: AR106A306

AR	106	A	306		
Angle	Size	Set	Pressure	Requirements	Unit

**Flow Performance**  
AR106A set pressures 75 - 500 capacity is 1.4 SCFM of air per psi of flow pressure.  
AR106A set pressures 75 - 400 capacity is 1.56 SCFM of air per psi of flow pressure.  
AR106A set pressures 75 - 425 capacity is 3.463 SCFM of air per psi of flow pressure.  
AR112A set pressures 80 - 425 capacity is 7.86 SCFM of air per psi of flow pressure.

**REGIO 10 YEAR WARRANTY**

**AR1000 Series**

**Air Capacity= m x P**  
Where:  
m = Slope Value  
P = Pressure, Absolute @ 10% overpressure.  
Example: Pressure relief valve, 1/2" inlet x 1" outlet, set 80 psi. Part number AR106A306.  
m = 1.4  
P = 80 psi  
Air Capacity = 1.4 x (80psi x 1.10) = 14.7  
Air Capacity = 143.8 SCFM (air)

Figura 114. Características tubería y válvulas. Línea de venteo y seguridad. Autoría propia.

- *Línea de Líquido:* Línea de reaprovisionamiento de líquido, fabricada en tubería inoxidable SA 312 TP 304 de 1-1/2" SCH 40, Válvula Bronce vástago extendido marca rego, boca de llenado en bronce con el estándar CGA 150 para Oxígeno.



Figura 115. Línea de líquido. Autoría propia.

- *Línea de consumo:* Línea de suministro de líquido a hospital, fabricada en tubería inoxidable SA 312 TP 304 de 1" SCH 40, Válvula Bronce vástago extendido marca rego, boca de llenado en bronce con el estándar CGA 150 para Oxígeno.

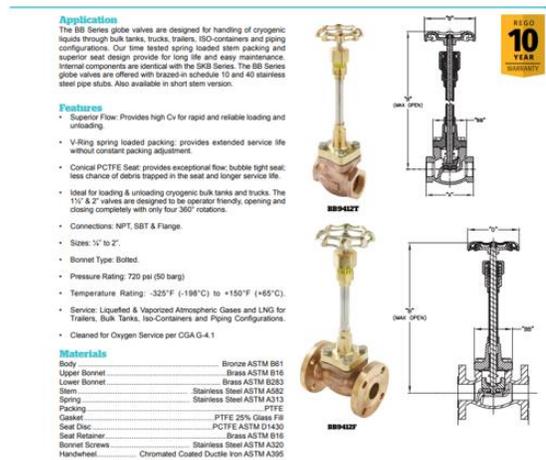
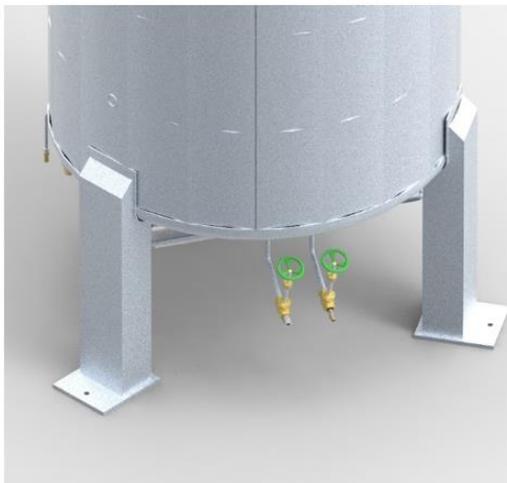


Figura 116. Línea de consumo. Autoría propia.

- *Línea de economización:* Línea de regulación de presión para entrega de producto, fabricada en tubería inoxidable SA 312 TP 304 de 1/2" SCH 40, Válvula Bronce vástago extendido marca rego, boca de llenado en bronce con el estándar CGA 150 para Oxígeno.

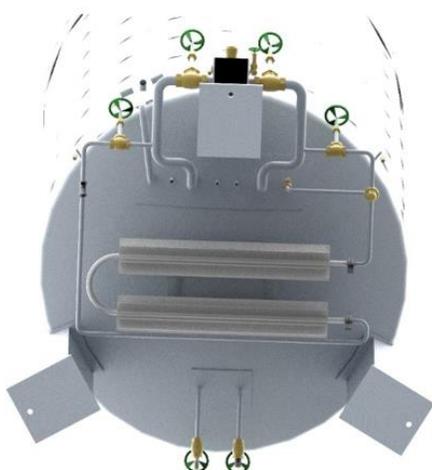


Figura 117. Línea de economización. Autoría propia.

## 7.7. Manual de operación y mantenimiento

Este manual de operación contiene las indicaciones suficientes para realizar la operación adecuada y segura del sistema y los diferentes pasos que son necesarios para la puesta a punto del montaje criogénico y su correcta ejecución.

Importante que se lea este manual detenidamente antes de proceder a realizar cualquier operación en el sistema, ya que se tiene un gas a una presión considerable y cualquier manipulación errónea podrá ocasionar accidentes o daños en el proceso:

1. Solicite a la persona responsable por la recepción del producto, la autorización para llenar el tanque estacionario
2. Una vez autorizado el llenado, registre en una nota de envío o remisión el nivel y presión del tanque estacionario antes de llenado
3. Asegúrese de que utiliza los implementos de seguridad para tal fin
4. Asegúrese de que el tanque está completamente vacío y se encuentre a temperatura baja
5. Verifique las conexiones eléctricas
6. Conecte el cable eléctrico de la bomba
7. Inicie el enfriamiento de la bomba criogénica
8. Recuerde observar el sentido de giro de la bomba
9. Interconecte la manguera
10. Inicie la purga de la misma
11. Ajuste las conexiones de la manguera

### Application

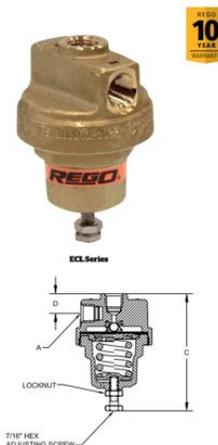
ECL502 series cryogenic economizers are designed to be used as pressure reducing valves to automatically maintain a constant inlet or back pressure, normally closed at pressures below its set point and open at pressures above its set point. The ECL502 is primarily designed to assist in maintaining a desired system pressure ideal for Nitrogen, Oxygen, Argon and other cryogenic cylinder applications with a 100% performance improvement over RegD's ECLXXX series. ECL502 series offers outstanding performance for maintaining LNG fuel line pressure.

### Features

- ECL502 series design provides premium flow characteristics allowing for fast pressure reduction while maintaining sensitive flow control at lower pressure settings.
- All materials of construction- copper alloy, PTFE and stainless steel were selected for compatibility with cryogenic service.
- 150 count mesh Monel screens installed into the inlet and outlet ports prevent debris from entering or damaging any downstream components.
- Interchangeable with existing cryogenic economizer units.
- Bi-directional flow for LNG fuel systems.
- Temperature range: -320°F to +165°F (-196°C to +74°C)
- Max inlet pressure:
- Low Pressure Models ≤175, 375 psig (5 12.1, 25.3 barg)
- High Pressure Models =175, 550 psig (12.1, 37.9 barg)
- Pressure setting range: 10-350 psig (0.7-24.1 barg)
- Clean for oxygen service per CGA-G-4.1
- Design in accordance with ECE R110

### Materials

Body	Brass
Diaphragm Liner	PTFE
Poppet Seat	Stainless Steel
Adjusting Screw	Stainless Steel
Bonnet	Brass
Screen	Monel
Diaphragm	Bronze
Springs	Stainless Steel



12. Abra las válvulas de llenado del tanque estacionario
13. Abra las válvulas de descarga del semi-trailer
14. Arranque la bomba e inicie el llenado
15. Incremente la presión de descarga
16. Abra la válvula del nivel máximo del tanque estacionario aproximadamente una vuelta
17. Verifique y mantenga la presión del tanque durante todo el llenado
18. Cuando el medidor del tanque estacionario indique aproximadamente 80% de su llenado máximo, abra totalmente la válvula de llenado máximo del tanque estacionario
19. Cierre la válvula de nivel de llenado máximo del tanque estacionario
20. Cierre la válvula de llenado del tanque estacionario
21. Cierre la válvula de descarga del semi-trailer
22. Purgue el líquido atrapado en la manguera
23. Desconecte el cable eléctrico
24. Desconecte la manguera
25. Registre en la nota de envío o remisión la presión y nivel del tanque después de llenado
26. Verifique que la persona responsable por la recepción del producto coloque su nombre y firma en la nota de envío o remisión
27. En los casos que aplique haga sellar este documento.

En el apartado de mantenimiento tiene como principal objetivo garantizar el funcionamiento correcto tanto del sistema como de cada uno de los componentes del montaje, está diseñado para el uso del personal que se encuentra vinculado a la instalación, operación y mantenimiento del sistema criogénico, con el propósito de que siguiendo estos lineamientos se garantice que el sistema sea eficiente, funcione correctamente y sea productivo.

Este manual contiene los pasos a considerar en cuanto a tres factores importantes como los son la inspección, ajuste y limpieza en diferentes actividades, componentes fabricados, la forma como se ensambla cada uno de ellos y la periodicidad con la que se deben inspeccionar. A pesar de que el sistema maneja un gas a una presión considerable, el mantenimiento que se debe hacer a los componentes del sistema es básico y debe ser ejecutado por el operario.

Con estas indicaciones no solo se inspecciona la situación en la que se encuentran los componentes, sino que también se previenen situaciones adversas en un futuro que causen mantenimientos correctivos y paradas en los tiempos de producción.

Las labores de inspección, ajustes y limpieza son muy importantes ya que garantizan la vida útil de los componentes del sistema, por eso se debe ser riguroso en cuanto a los períodos en los que se deben realizar estas labores.

En el siguiente programa de mantenimiento se determinan las labores teniendo en cuenta el sistema a ejecutar, la actividad, los elementos o equipos utilizados para la labor, el procedimiento y la frecuencia con la que se van a hacer las inspecciones y mantenimientos.

Tabla 65.

*Plan de mantenimiento cuadro I. Autoría propia.*

Plan de mantenimiento				
Sistema	Actividad	Implementos	Procedimiento	Frecuencia
Tanque interno	Inspeccion	Visual	Verificar la presion de trabajo en el manometro	Diaria
Espacio anular entre el tanque interno y externo	Inspeccion	Termocupla	Conectar la bomba por medio de la termocupla hacia la valcula de vacio, y verificar la hermeticidad y	Trimestral
		Medidor de vacio		
		Bomba de vacio		
capacidad de vacio	Inspeccion	Visual	verificar que la ubicación del disco sea la correcta y se encuentre en su posicion	Diaria
		Visual	Verificar que los sellos del disco esten en buen estado	Diaria
Disco de ruptura	Inspeccion	Visual	Verificar que este en buenas condiciones	Trimestral
		Visual	Verificar hermetecidad	Trimestral
Boca de llenado	Inspeccion	Visual	verificar la rosca que va conectada a la manguera este en óptimas condiciones	Trimestral
		Visual	verificar que los sellos esten en buen estado	Trimestral
	Limpieza	Cloruro de metileno	Limpiar la boca de llenado con cloruro de metileno o tricloroetileno por medio de una estopa o trapo	Trimestral
		Estopa o trapo		
Gasificador	Inspeccion	Visual	Verificar hermetecidad	Semestral
	Limpieza	Cloruro de metileno	Limpiar el gasificador con cloruro de metileno o tricloroetileno por medio de una estopa o trapo	Semestral
		Estopa o trapo		
Indicador de nivel	Ajustes	Equipo WALLACE	Calibrar el indicador de nivel a una presion de 30 PSI conectandolo por medio de mangueras al equipo WALLACE	Semestral
	Limpieza	Cilindro de nitrogeno gaseoso	Limpiar el indicador de nivel por medio de nitrogeno gaseoso o aire seco	Semestral
		Regulador		
Manometro	Ajustes	Equipo FLUKE	Calibrar el manometro a una presion de 15 PSI conectandolo por medio del equipo FLUKE	Semestral
		Banco de calibracion		
	Limpieza	Cilindro de nitrogeno gaseoso	Limpiar el manometro por medio de nitrogeno gaseoso o aire seco	Semestral
		Regulador		

*Nota.* Autoría propia.

Tabla 66.

*Plan de mantenimiento cuadro II.*

Plan de mantenimiento					
Sistema	Actividad	Implementos	Procedimiento	Frecuencia	
Valvulas de seguridad	Ajustes	Pulmon	Calibrar las valvulas a una presion de 250 PSI	Semestral	
		Balancin			
	Limpieza	Cilindro de nitrogeno gaseoso	Limpiar las valvulas por medio de nitrogeno gaseoso o aire seco	Semestral	
		Regulador			
Filtro	Inspeccion	Visual	Revisar la malla del filtro para evitar que el fluido circule de la mejor manera	Semestral	
		Limpieza	Cilindro de nitrogeno gaseoso	Limpiar las valvulas por medio de nitrogeno gaseoso o aire seco	Semestral
	Regulador				
	Economizador	Ajustes	Pulmon	Calibrar el economizador a una presion de 150 PSI	Semestral
Balancin					
Limpieza		Cilindro de nitrogeno gaseoso	Limpiar el economizador por medio de nitrogeno gaseoso o aire seco	Semestral	
		Regulador			
Tanque externo	Inspeccion	Visual	Verificar que el tanque no se encuentre congelado en alguna parte, si se encuentra congelado es por que el vacio esta mal, probablemente ocasionado por alguna fisura en el tanque	Bimestral	
		Visual	Verificar que la pintura del tanque externo este en buen estadi, que no hayan partes corroidad ni que tenga golpes severos con aboyaduras	Bimestral	
		Inspeccion	Visual	Verificar que las valvulas esten en buenas condiciones	Semestral
			Visual	Verificar hermeticidad	
Valvulas en general	Limpieza	Cilindro de nitrogeno gaseoso	Limpiar las valvulas por medio de nitrogeno gaseoso o aire seco	Semestral	
		Regulador			

Nota. Autoría propia.

## 7.8. Método SLP

Una vez evaluados los diagramas de proceso, se determinan las áreas de la planta; se procede a realizar el cálculo de áreas de máquinas por el método de Guerchet; se realiza la integración de las áreas de producción junto con las áreas administrativas para establecer el área total requerida con la que el proyecto deberá contar, dimensiones necesarias para implementar las áreas que a continuación se mencionaran.

Se emplea el método SPL, la relación de áreas y combinaciones de las mismas según (Stephens, 2006). Se realiza el diagrama de relación de actividades el cual contiene el tipo de prioridad entre las relaciones y los respectivos criterios, que han sido previamente definidos. De igual forma se detalla el conjunto de aspectos que conforma la escala y la identificación de los respectivos criterios según (Muther, 1981).

### 7.8.1. Área planta de producción.

A continuación, se determinan las superficies de los departamentos de la planta de producción:

- Superficie de trazo y corte inoxidable
- Superficie de trazo y corte acero carbón
- Superficie de armado cuerpo inoxidable
- Superficie de armado cuerpo acero carbón
- Superficie de secado
- Superficie de mecanizado
- Superficie de armado sub conjuntos
- Superficie de aplicación pintura
- Superficie de instalación de aislamiento
- Superficie de prueba hidrostática
- Superficie a de sand blasting
- Superficie de telescopio
- Superficie de prueba de vacío
- Superficie de prueba de vacío final
- Superficie de almacenamiento.

### **7.8.2. Área de administración.**

A continuación, se determinan las superficies de los departamentos del área de administración de la planta:

- Superficie de recursos humanos
- Superficie de coordinador de compras
- Superficie de coordinador de almacén
- Superficie de sala de juntas
- Superficie de dirección técnica
- Superficie de producción
- Superficie de gerencia general
- Superficie de ingeniería
- Superficie de calidad
- Superficie de dirección administrativa
- Superficie de contabilidad
- Superficie de recepción
- Superficie de comercial y ventas

### **7.8.3. Área de zonas comunes.**

A continuación, se determinan las superficies de los departamentos del área de zonas comunes de la planta:

- Superficie de vestier empleados
- Superficie de Baño 1 Operarios
- Superficie de Baño 2 Operarios
- Superficie cafetería y comedor
- Superficie de Baño 1 Administración
- Superficie de Baño 2 Administración
- Superficie de Sala de espera
- Superficie Puesto de vigilancia
- Superficie circulación vehicular.

#### 7.8.4. Cálculo de área de superficies planta de producción por método Guarchet.

Plan de distribución de planta, método de Guerchet, una vez determinada la cantidad de equipos productivos necesarios para cada puesto de trabajo se procede a calcular el área requerida por área siguiendo los siguientes parámetros.

- **Área estática (Ss).** Es el área ocupada por las máquinas, la cual es calculada mediante la siguiente fórmula:

$$Ss = Largo * Ancho \quad (122)$$

- **Área gravitatoria (Sg).** Área necesaria para que el trabajador puede movilizarse alrededor de su máquina:

$$Sg = Ss * N \quad (123)$$

Donde:

N = número de lados accesibles a la maquina

Ss= Área estática

- **Área de evolución (Se).** Área necesaria para el movimiento y acceso del personal al centro de producción.:

$$Se = k * (Ss + Sg) \quad (124)$$

Donde:

k: coeficiente para industria metalmecánica 3

- **Área total (St).** Área necesaria para instalar el proceso de producción:

$$St = Ss + Sg + Se \quad (125)$$

Tabla 67.

Cálculo de superficies área de producción. Cuadro I.

Calculo de superficies planta de producción												
Tipo de elemento	Descripción	Largo (metros)	Ancho (metros)	Altura (metros)	Lados de uso (N)	Superficie Estática (m2)	Superficie de gravitación (m2)	Superficie de evolución (m2)	K	Superficie total del equipo (m2)	Cantidad (n)	Superficie total (m2)
<b>Superficie de trazo y corte inoxidable</b>												
Estático	Dobladora	2,5	3	2,5	1	7,5	7,5	45	3	60	1	60
Estático	Sierra Caladora	1,2	0,6	1	1	0,72	0,72	4,32	3	5,76	1	5,76
Móvil	Máquina de corte portátil	1	1	1	1	1	1	6	3	8	1	8
Móvil	Cortadora	3	2	1,5	1	6	6	36	3	48	1	48
Estático	Estante de herramientas	2	0,8	2	2	1,6	3,2	14,4	3	19,2	1	19,2
Movil	Operarios										3	
<b>Área requerida</b>											<b>140,96</b>	
<b>Superficie de trazo y corte de acero carbón</b>												
Estático	Dobladora	2,5	3	2,5	1	7,5	7,5	45	3	60	1	60
Estático	Sierra Caladora	1,2	0,6	1	1	0,72	0,72	4,32	3	5,76	1	5,76
Móvil	Máquina de corte portátil	1	1	1	1	1	1	6	3	8	1	8
Móvil	Cortadora	3	2	1,5	1	6	6	36	3	48	1	48
Estático	Estante de herramientas	2	0,8	2	2	1,6	3,2	14,4	3	19,2	1	19,2
Movil	Operarios										3	
<b>Área requerida</b>											<b>140,96</b>	
<b>Superficie de armado cuerpo inoxidable</b>												
Estático	Mesa de corte en metal	2,5	2,5	1,2	4	6,25	25	93,75	3	125	1	125
Móvil	Equipo de soldadura MIG 300 AMP	1,2	0,6	1,5	1	0,72	0,72	4,32	3	5,76	2	11,52
Móvil	Equipo de soldadura TIG 250 AMP	0,6	0,6	0,5	1	0,36	0,36	2,16	3	2,88	2	5,76
Móvil	Equipos de soldadura de alta frecuencia	1,2	1,2	1,5	1	1,44	1,44	8,64	3	11,52	1	11,52
Móvil	Equipo de Corte por plasma	1,5	1,5	1,5	1	2,25	2,25	13,5	3	18	1	18
Móvil	Equipos de Oxiacetileno	0,6	0,3	1,2	1	0,18	0,18	1,08	3	1,44	2	2,88
Móvil	Polipastos eléctricos	2,5	1,8	6	2	4,5	9	40,5	3	54	1	54
Estático	Estante de herramientas	2	0,8	2	2	1,6	3,2	14,4	3	19,2	1	19,2
Movil	Operarios										4	
<b>Área requerida</b>											<b>247,88</b>	
<b>Superficie d armado cuerpo acero carbón</b>												
Estático	Mesa de corte en metal	2,5	2,5	1,2	4	6,25	25	93,75	3	125	1	125
Móvil	Equipo de soldadura MIG 300 AMP	1,2	0,6	1,5	1	0,72	0,72	4,32	3	5,76	2	11,52
Móvil	Equipo de soldadura TIG 250 AMP	0,6	0,6	0,5	1	0,36	0,36	2,16	3	2,88	2	5,76
Móvil	Equipos de soldadura de alta frecuencia	1,2	1,2	1,5	1	1,44	1,44	8,64	3	11,52	1	11,52
Móvil	Equipo de Corte por plasma	1,5	1,5	1,5	1	2,25	2,25	13,5	3	18	1	18
Móvil	Equipos de Oxiacetileno	0,6	0,3	1,2	1	0,18	0,18	1,08	3	1,44	2	2,88
Móvil	Polipastos eléctricos	2,5	1,8	6	2	4,5	9	40,5	3	54	1	54
Estático	Estante de herramientas	2	0,8	2	2	1,6	3,2	14,4	3	19,2	1	19,2
Movil	Operarios										4	
<b>Área requerida</b>											<b>247,88</b>	

Nota. Autoría propia.