

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la**

**Producción**

"Diseño de un vaporizador para GLP de una capacidad de 320 kg/h"

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentado por:

Juan Carlos Carpio Álvarez

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2016

## AGRADECIMIENTOS

Principalmente a Dios, por permitirme culminar mis estudios y tener a mis seres amados junto a mí, para ver este logro.

A mi coordinador del proyecto, Ing. Gonzalo Almeida Pazmiño MSc, y mi director del proyecto, Ing. Héctor Espinoza Román PhD, ambos por su dedicación y conocimientos compartidos, pilares fundamentales para la elaboración de este proyecto.

A mis amigos y compañeros a lo largo de toda mi carrera universitaria.

.

## DEDICATORIA

Para mi familia lo más importante que tengo.

Mis padres Juan Carlos y Darlene que sin su formación de valores, su apoyo y amor esto no me sería posible.

Mis hermanas Jamie y Melissa que estuvimos juntos apoyándonos mutuamente en el transcurso de esta etapa de nuestras vidas.

Para Gina que compartió y me apoyó en toda mi carrera universitaria.

***Juan Carlos Carpio Álvarez***

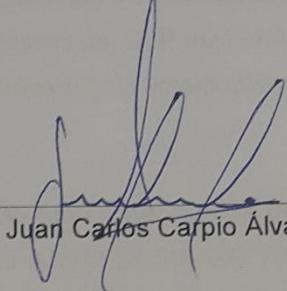
## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Juan Carlos Carpio Álvarez

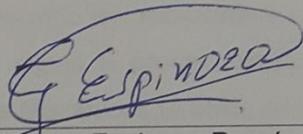
PhD. Héctor Espinoza Román

Y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



---

Juan Carlos Carpio Álvarez



---

Ph.D. Héctor Espinoza Román

## RESUMEN

El presente proyecto consiste en el diseño de un vaporizador para Gas Licuado de Petróleo (GLP), en el cual se plantea una solución al problema de la incapacidad de vaporización natural en los tanques de almacenamiento de GLP. Ahora bien, el diseño del vaporizador tiene una capacidad de 320 kg/h, y es construido con materiales existentes en el mercado ecuatoriano. Se desea encontrar el calor necesario para vaporizar el GLP a la tasa presentada, del mismo modo encontrar el área de transferencia de calor y elaborar un diseño óptimo del recipiente sometido a presión. De esta forma es comparado con un equipo de similares características que sea importado; ya que en la actualidad, el consumo del GLP está en aumento y todos los vaporizadores en funcionamiento son de procedencia internacional, generalmente de los Estados Unidos de América.

Para el desarrollo del proyecto fueron necesarios materiales comunes en el mercado ecuatoriano, tales como acero ASTM SA516 GR 70 utilizado para tanques a presión, tubería de alta presión sin costura ASTM A192 utilizada como medio de transporte del fluido de transferencia de calor. El diseño del recipiente fue analizado como un tanque sometido a presión, en donde se siguió el procedimiento en base a la norma de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME, por sus siglas en inglés) ASME VII, división 1. Mientras que para el análisis de la vaporización del GLP se tomó en cuenta una ebullición nucleada.

En lo que refiere a los resultados, el diseño final con respecto a un vaporizador importado fue de similares características, sin embargo el costo de diseño y fabricación frente a uno importado, fue de un 51.22% menor.

Finalmente se comprobó que el diseño y fabricación de un vaporizador en el Ecuador es factible, ya que se posee los materiales y mano de obra calificada para el proyecto.

**Palabras claves:** Gas Licuado de Petróleo, Vaporizadores, Transferencia de Calor.

## ABSTRACT

This project involved the design of a vaporizer for liquefied petroleum gas (LPG), in which a solution is posed to the problem of disability naturally vaporizing tanks LPG storage arising. The design of the vaporizer has a capacity of 320 kg / h, and constructed with available materials from the Ecuadorian market. The goal is to find the heat required to vaporize the LPG that will present the rate and area of heat transfer and optimal design of the container under pressure. The content is compared with imported equipment: indicating consumption of LPG increasing and using all operating vaporizers of international origin, generally from the United States of America.

The project required common materials from the Ecuadorian market, such as:

- Steel ASTM SA516 GR 70 used for pressure vessels
- High pressure seamless pipe ASTM A192 used for transportation of heat transfer fluid

The design of the vessel was analysed as a tank under pressure, following the “American Society of Mechanical Engineers (ASME) ASME VII, division 1” standards. The analysis the vaporization of LPG as nucleate boiling.

The final design had similar features whit respect to an imported vaporizer, however, the cost of design and manufacturing, compared to the imported one, resulted in a 51.22% decrease in value.

Overall analysis found that the design and manufacture of a vaporizer in Ecuador is feasible, as the materials and skilled labour for the project is available.

**Keywords:** Liquefied Petroleum Gas, vaporizers, heat transfer.

# ÍNDICE GENERAL

|  |      |
|--|------|
| RESUMEN.....                                       | I    |
| ÍNDICE GENERAL .....                               | III  |
| ABREVIATURAS.....                                  | V    |
| SIMBOLOGIA .....                                   | VI   |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                            | VII  |
| ÍNDICE DE TABLAS.....                              | VIII |
|  |      |
| CAPÍTULO 1   |      |
| 1. INTRODUCCIÓN.....                               | 1    |
| 1.1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA .....                | 1    |
| 1.2. Objetivos .....                               | 3    |
| 1.2.1. Objetivo general .....                      | 3    |
| 1.2.2. Objetivos específicos.....                  | 3    |
| 1.3. Marco teórico .....                           | 4    |
| 1.3.1. Gas licuado de petróleo (GLP) .....         | 4    |
| 1.3.1.1. Generalidades .....                       | 4    |
| 1.3.2. Ebullición de alberca.....                  | 9    |
| 1.3.3. Tanques sometidos a Presión .....           | 9    |
|  |      |
| CAPÍTULO 2   |      |
| 2. Metodología del Diseño .....                    | 11   |
| 2.1 Descripción de la Metodología del Diseño. .... | 11   |
| 2.2 Matriz de decisión .....                       | 11   |
| 2.3 Diseño de forma.....                           | 13   |
| 2.3. Diseño Térmico.....                           | 13   |
| 2.3.1. Calculo del flujo másico de agua .....      | 13   |

|  |    |
|--|----|
| 2.3.2. Cálculo del coeficiente convectivo del agua.....  | 14 |
| 2.3.3. Cálculo de flujo de calor para ebullición de alberca nucleada.....  | 17 |
| 2.4. Diseño Mecánico .....   | 23 |
| 2.4.1. Diseño de Cuerpo Cilíndrico.....  | 23 |
| 2.4.2. Velocidad de Corrosión.....   | 26 |
| 2.4.3. Diseño de domo .....  | 27 |
| 2.4.4. Diseño de junta empernada .....   | 27 |
| 2.4.4.1. Diseño por factores de seguridad .....  | 27 |
| 2.5. Proceso de soldadura .....  | 41 |
| 2.6. Preparación Superficial .....   | 44 |
| <br>   |    |
| CAPÍTULO 3   |    |
| 3.RESULTADOS DEL DISEÑO.....   | 47 |
| 3.1. Análisis de resultados .....  | 47 |
| 3.2. Análisis de Costos.....   | 49 |
| 3.2.1. Mano de obra.....   | 50 |
| <br>   |    |
| CAPÍTULO 4   |    |
| 4.1. Conclusiones.....   | 52 |
| 4.2. Recomendaciones .....   | 52 |
| <br>   |    |
| Bibliografía   |    |
| <br>   |    |
| Anexos   |    |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formato WPS – Especificación de procedimiento de soldadura</li> <li>• Formato PQR – Registro de calificación de procedimiento</li> <li>• Formato WPQ – Calificación de habilidad de soldadores</li> <li>• Planos de construcción</li> </ul> |    |

## ABREVIATURAS

|       |  |
|-------|--|
| ESPOL | Escuela Superior Politécnica del Litoral.            |
| GLP   | Gas Licuado de Petróleo.                             |
| ASME  | American Society of Mechanical Engineers             |
| AWS   | American Welding Society                             |
| SSPC  | Steel Structures Painting Council                    |
| MICSE | Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos      |
| FCC   | Fluid Catalytic Craking.                             |
| ASTM  | Association for Testing Materials                    |
| INEN  | Instituto Ecuatoriano de Normalización               |
| GEI   | Gases de Efecto Invernadero                          |
| DIN   | Deutsches Institut für Normung                       |
| IRAM  | Instituto Argentino de Normalización y Certificación |

## SIMBOLOGIA

|                    |                            |
|--------------------|----------------------------|
| ton                | Tonelada                   |
| kg                 | Kilogramo                  |
| mm                 | Milímetro                  |
| $\mu\text{m}$      | Micrómetro                 |
| $\text{mm}^2$      | Milímetro al cuadrado      |
| m                  | Metro                      |
| $\text{m}^2$       | Metro cuadrados            |
| $\text{m}^3$       | Metro cúbicos              |
| in                 | Pulgada                    |
| $\text{in}^2$      | Pulgada al cuadrado        |
| $\text{in}^3$      | Pulgada al cubo            |
| $^{\circ}\text{C}$ | Grado Celsius              |
| K                  | Kelvin                     |
| S                  | Segundo                    |
| J                  | Joule                      |
| W                  | Watt                       |
| Psi                | Libra por pulgada cuadrada |
| MPa                | Mega pascal                |
| J                  | Joule                      |
| Atm                | Atmosfera                  |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Figura 1.  | Vaporizador de fuego directo.....                                | 6  |
| Figura 2.  | Vaporizador eléctrico.....                                       | 7  |
| Figura 3.  | Vaporizador indirecto.....                                       | 8  |
| Figura 4.  | Vaporizador de inmersión.....                                    | 8  |
| Figura 5.  | Recipientes de almacenamiento para GLP .....                     | 9  |
| Figura 6.  | Diseño de forma .....  | 13 |
| Figura 7.  | Pérdidas menores en curvaturas.....                              | 22 |
| Figura 8.  | Radios de curvatura .....  | 23 |
| Figura 9.  | Medidas típicas de un sujetador .....                            | 32 |
| Figura 10. | Longitudes del perno a utilizar.....                             | 35 |
| Figura 11. | Ubicación y distancias de empaque en la brida.....               | 38 |
| Figura 12. | Indicaciones redondeadas máximas para espesor mayor a 1/8” ..... | 44 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Tabla 1.1  | Consumo de GLP de varios sectores económicos .....                    | 2  |
| Tabla 1.2. | Oferta y demanda del GLP (ton) .....                                  | 2  |
| Tabla 1.3. | Emisiones de GEI por fuente toneladas de CO2 .....                    | 3  |
| Tabla 1.4. | Propiedades del GLP .....   | 4  |
| Tabla 2.1. | Matriz de decisión.....   | 12 |
| Tabla 2.2. | Propiedades químicas ASTM A192.....                                   | 15 |
| Tabla 2.3. | Propiedades mecánicas ASTM 192 .....                                  | 15 |
| Tabla 2.4. | Propiedades de agua a Tm= 338 K.....                                  | 15 |
| Tabla 2.5. | Propiedades de saturación del GLP a 100 psi .....                     | 24 |
| Tabla 2.6  | Composición química SA 516 GR 70 .....                                | 24 |
| Tabla 2.7  | Propiedades mecánicas SA 516 GR 70 .....                              | 24 |
| Tabla 2.8  | Máxima eficiencias permitidas en juntas soldadas por arco o gas ..... | 25 |
| Tabla 2.9  | Propiedades mecánica de pernos de acero clase métrica .....           | 28 |
| Tabla 2.10 | Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino .....      | 30 |
| Tabla 2.11 | Dimensiones de arandelas métricas simples (dimensiones en mm) .....   | 33 |
| Tabla 2.12 | Dimensiones de tuercas hexagonales.....                               | 34 |
| Tabla 2.13 | Materiales de empaque y caras de contacto .....                       | 37 |
| Tabla 2.14 | Espesor efectivo de empaque .....                                     | 39 |
| Tabla 2.15 | Designación de grupos “P” según ASME .....                            | 41 |
| Tabla 2.16 | Materiales de aporte según los grupos “P” .....                       | 42 |
| Tabla 3.1. | Variación de parámetros al aumentar diámetro de tubería.....          | 47 |
| Tabla 3.2. | Valores de propiedades a diferentes diámetros de tubería .....        | 48 |
| Tabla 3.3. | Comparación de flujo de calor y calor máximo .....                    | 48 |
| Tabla 3.4  | Presupuesto de materiales y accesorios .....                          | 49 |
| Tabla 3.5. | Costos totales de diseño y construcción .....                         | 50 |
| Tabla 3.6. | Tabla comparativa de vaporizadores.....                               | 51 |

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Descripción del Problema

En la actualidad en el país el consumo del gas licuado de petróleo (GLP) está aumentando anualmente entre 1.8% y 2.9% con base al balance energético del 2014 del Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (MISCSE) presentado en la tabla 2, ya sea por incremento de consumo en las industrias donde se utilizan GLP, o por el cambio de combustible que diferentes grupos de industria están realizando. Este cambio se debe a que las industrias en el Ecuador apuntan a certificaciones internacionales de medio ambiente tal como ISO 14000, un estándar de gestión ambiental, por lo que buscan una menor emisión de dióxido de carbono que es generado al quemar combustibles como el diésel o fuel oíl. Estos últimos combustibles son los principales emisores de gases de efecto invernadero (GEI), en el Ecuador el diésel genera un promedio anual de 454.7% mayores emisiones de GIE en comparación con el GLP en base a datos del MISCSE desde el año 2003 al 2013. Mientras que el fuel oíl genera 241% más emisiones de GEI en comparación con el GLP. Estos valores mencionados son expresados con base en la tabla 1.3.

En el primer caso, el sector industrial y agro, pesca, minería los aumentos de consumo con base en la tabla 1.1 son de aproximadamente 21.8% y 36.9% anual respectivamente. En este caso de aumento de consumo, el diseño inicial del área de almacenamiento puede resultar incapaz de suplir la nueva demanda. Para rediseñar el área de almacenamiento existen factores que pueden delimitar la expansión del mismo, tales como: abertura de inmuebles, focos fijos de inflamación, motores de explosión, vías públicas férreas o fluviales, proyección de líneas de alta tensión, equipos eléctricos no protegidos, sótanos, alcantarillas y desagües.

Mientras que las industrias que están migrando al uso del GLP, también encuentran los mismos inconvenientes para la colocación de tanques sometidos a presión, debido a que el área de almacenamiento de combustible ya se encuentra delimitada. Dado que el GLP es consumido en estado gaseoso, cuando la vaporización natural de los tanques no es

capaz de suplir la demanda, se emplea una fuente externa de calor tal como un vaporizador.

En la actualidad todos los vaporizadores que se encuentran en funcionamiento en el país son de procedencia internacional, mayormente estadounidenses. Los principales inconvenientes al momento de adquirir un vaporizador son: costos de del equipo, pago de tasas arancelarias, tiempo de envío y desaduanización.

Con referencia a lo anterior, este proyecto se centra en la elaboración de un vaporizador en el mercado nacional. De esta forma los tiempos y costos de adquisición se reducen considerablemente, del mismo modo se aporta al cambio de la matriz productiva que está impulsando el gobierno nacional.

**Tabla 1.1 Consumo de GLP de varios sectores económicos**

| Consumo de GLP de diferentes sectores económicos | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Industrial (ton)</b>                          | 18836 | 23885 | 37939 | 46478 | 55638 | 62269 | 54009 | 68190 |
| <b>Var(%) año anterior</b>                       | 0     | 26,8  | 58,8  | 22,5  | 19,7  | 11,9  | -13,3 | 26,3  |
| <b>Agro, pesca, miner (ton)</b>                  | -     | -     | 4236  | 7636  | 10938 | 12704 | 16425 | 19015 |
| <b>Var(%) año anterior</b>                       | 0     | 0     | 0     | 80,3  | 43,2  | 16,1  | 29,3  | 15,8  |

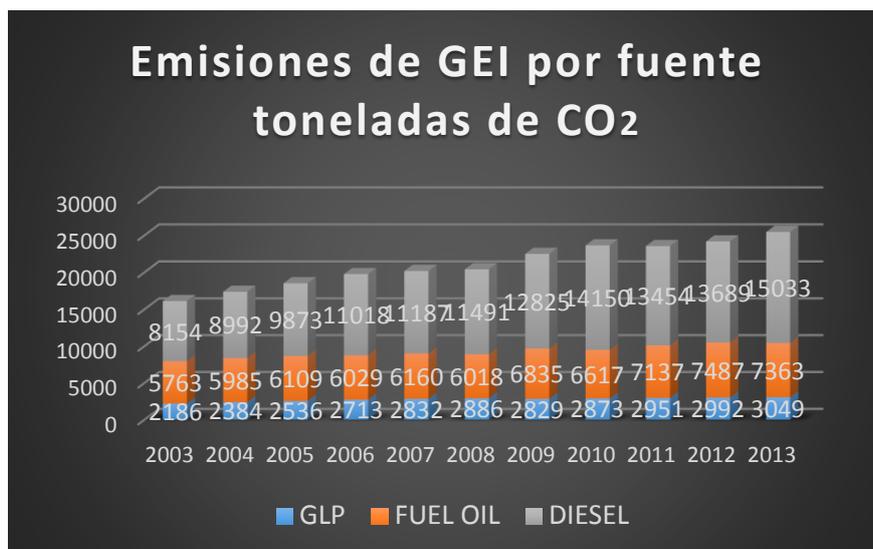
Fuente: (Ministerio coordinador de sectores estratégicos [MICSE], balance energético, 2014)

**Tabla 1.2. Oferta y demanda del GLP (ton)**

|  | 2003           | 2004           | 2005           | 2006           | 2007             | 2008             | 2009             | 2010             | 2011             | 2012             | 2013             | Var(%)<br>2013/2012 |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|
| Producción (1)<br><i>Production</i>                      | 222.910        | 229.248        | 200.011        | 219.845        | 159.076          | 210.118          | 215.527          | 205.248          | 255.170          | 266.381          | 250.633          | -5,9                |
| Importación<br><i>Imports</i>                            | 568.692        | 628.706        | 703.709        | 740.527        | 851.874          | 815.575          | 797.361          | 825.041          | 854.951          | 791.444          | 840.064          | 6,1                 |
| Variación de inventario<br><i>Stock variation</i>        | -11.440        | -6.927         | 1.707          | 8.098          | -103             | 4.483            | -3.130           | -4.714           | -57.025          | 10.093           | -2.535           | -125,1              |
| <b>Oferta total</b><br><i>Total supply</i>               | <b>780.162</b> | <b>851.028</b> | <b>905.428</b> | <b>968.470</b> | <b>1.010.848</b> | <b>1.030.176</b> | <b>1.009.759</b> | <b>1.025.576</b> | <b>1.053.096</b> | <b>1.067.918</b> | <b>1.088.162</b> | <b>1,9</b>          |
| Transformación Total<br><i>Total Transformation</i>      | -              | -              | -              | 15.866         | 17.304           | 17.950           | 15.860           | 16.215           | 14.782           | 13.165           | 12.262           | -6,9                |
| Consumo propio (2)<br><i>Own Consumption</i>             | 27.063         | 37.433         | 25.391         | 34.427         | 37.174           | 30.252           | 25.893           | 30.347           | 32.911           | 31.543           | 23.080           | -26,8               |
| Transporte<br><i>Transportation</i>                      | -              | -              | -              | -              | -                | 1.046            | 9.518            | 11.108           | 11.474           | 10.714           | 9.590            | -10,5               |
| Industrial<br><i>Industrial</i>                          | 19.126         | 28.236         | 20.936         | 18.836         | 23.885           | 37.939           | 46.478           | 55.638           | 62.269           | 54.009           | 68.190           | 26,3                |
| Residencial<br><i>Residential</i>                        | 733.973        | 785.359        | 859.101        | 899.341        | 932.485          | 938.754          | 904.374          | 901.329          | 918.955          | 942.062          | 956.024          | 1,5                 |
| Agro,pesca,miner.<br><i>Agriculture, fishing, mining</i> | -              | -              | -              | -              | -                | 4.236            | 7.636            | 10.938           | 12.704           | 16.425           | 19.015           | 15,8                |
| Consumo Energético<br><i>Energy Consumption</i>          | 753.099        | 813.595        | 880.037        | 918.177        | 956.370          | 981.974          | 968.006          | 979.013          | 1.005.403        | 1.023.210        | 1.052.820        | 2,9                 |
| <b>Demanda total</b><br><i>Total demand</i>              | <b>780.162</b> | <b>851.028</b> | <b>905.428</b> | <b>968.470</b> | <b>1.010.848</b> | <b>1.030.176</b> | <b>1.009.759</b> | <b>1.025.576</b> | <b>1.053.096</b> | <b>1.067.918</b> | <b>1.088.162</b> | <b>1,9</b>          |

Fuente: (Ministerio coordinador de sectores estratégicos [MICSE], balance energético, 2014)

Tabla 1.3. Emisiones de GEI por fuente toneladas de CO2



Fuente: (Ministerio coordinador de sectores estratégicos, balance energético, 2014)

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo General

Diseñar un vaporizador para GLP de una capacidad de 320 kg/h el cual pueda ser construido con materiales existentes en el mercado ecuatoriano.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Calcular el calor necesario a ser suministrado al GLP para lograr su vaporización.
- Diseñar el área de transferencia de calor mediante modelos matemáticos.
- Calcular el flujo de agua requerido para la vaporización del GLP.
- Realizar el diseño del recipiente a presión en base a normativas ecuatorianas e internacionales.
- Realizar un análisis de costo de diseño y fabricación del vaporizador diseñado.
- Comparar los costos del vaporizador diseñado frente a uno importado de similares características.

### 1.3. Marco Teórico

#### 1.3.1. Gas Licuado de Petróleo (GLP)

##### 1.3.1.1. Generalidades

El gas licuado de petróleo (GLP) es un subproducto que se obtiene por el proceso de destilación del crudo de petróleo mediante el proceso de destilación fraccionada catalítica (FCC, debido a sus siglas en inglés fluid catalytic craking). Los más comunes y de mayor uso son el propano (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) y butano (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), en el Ecuador se utiliza una mezcla con unas concentraciones de 70% propano y 30% butano, en donde le otorga al GLP las propiedades presentadas en la tabla 4.

**Tabla 1.4. Propiedades del GLP**

| Propiedades  | Propano                       | Butano                         | Mezcla (70/30) |
|--|-------------------------------|--------------------------------|----------------|
| <b>Formula Química</b>                               | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> |                |
| <b>Peso Molecular</b>                                | 44.10                         | 58.12                          | 43.302         |
| <b>Densidad (liquido) kg/m<sup>3</sup></b>           | 508                           | 584                            | 530.8          |
| <b>Densidad (gas) kg/m<sup>3</sup></b>               | 2.020                         | 2.704                          | 2.23           |
| <b>Punto de ebullición a 1 atm (°C)</b>              | -42                           | -0.5                           |                |
| <b>Límite inferior de inflamabilidad<sup>1</sup></b> | 2.37%                         | 1.86%                          | 2.21%          |
| <b>Límite superior de inflamabilidad<sup>1</sup></b> | 9.50%                         | 8.41%                          | 9.17%          |
| <b>Poder calorífico inferior (kcal/kg)</b>           | 11080                         | 10930                          | 11035          |

*Fuente: (LOS GLP, Lorenzo J, 1989)*

Cabe agregar que otras propiedades importantes son:

- **Odorización.**- En estado puro son inodoros e incoloros, por ello se les agregan sales de azufre llamados etilmercaptano, los cuales se agregan con una concentración de 12 gramos por cada m<sup>3</sup> de GLP líquido.
- **Corrosión.**- No produce corrosión en el acero, cobre o sus aleaciones.
- **Toxicidad.**- No son tóxicos. El GLP produce asfixia en los casos donde su concentración es elevada, ya que desplaza al oxígeno.

El almacenamiento del GLP se hace mediante cilindros móviles, tanques semiestacionarios y estacionarios. Los depósitos no deben llenarse hasta el 100% de su capacidad en líquido, estos son llenados hasta un 85% de su capacidad dejando siempre un espacio libre llamado cojín. Esto se debe a que por un posible aumento de

temperatura, la presión y el volumen también aumentan. Con este espacio libre el producto tendrá la libertad de expandirse sin producir una sobrepresión.

### **1.3.1.2. Vaporización**

El GLP es almacenado en tanques de acero en estado líquido, mientras que su uso es en estado gaseoso. Para poder vaporizar el GLP se necesita cierta cantidad de calor, la cual es suministrada desde el aire que se encuentra alrededor del tanque a través de las paredes del mismo, llamado a esto vaporización natural. Cuando es desde dispositivos de apoyo es llamado vaporización artificial, forzada o ambos.

#### **1.3.1.2.1. Vaporización Natural**

En el interior de los tanques, donde se almacena GLP, este se encuentra en equilibrio entre sus fases líquida y gaseosa. El equilibrio es alterado cuando la temperatura ambiente varía o cuando se realiza el uso del GLP, ya que para cada temperatura corresponde una presión en la cual se equilibra el sistema.

La vaporización natural se ve afectada en los siguientes casos:

- Superficie mojada por el GLP dentro del recipiente.
- Temperatura del ambiente
- Ubicación del tanque (aéreo o enterrado).

#### **1.3.1.2.2. Vaporización Forzada**

Para aportar calor al GLP se recurre a dispositivos llamados vaporizadores. Estos son los encargados de entregar la energía para la vaporización. Se utiliza este método por una o varias de las siguientes circunstancias:

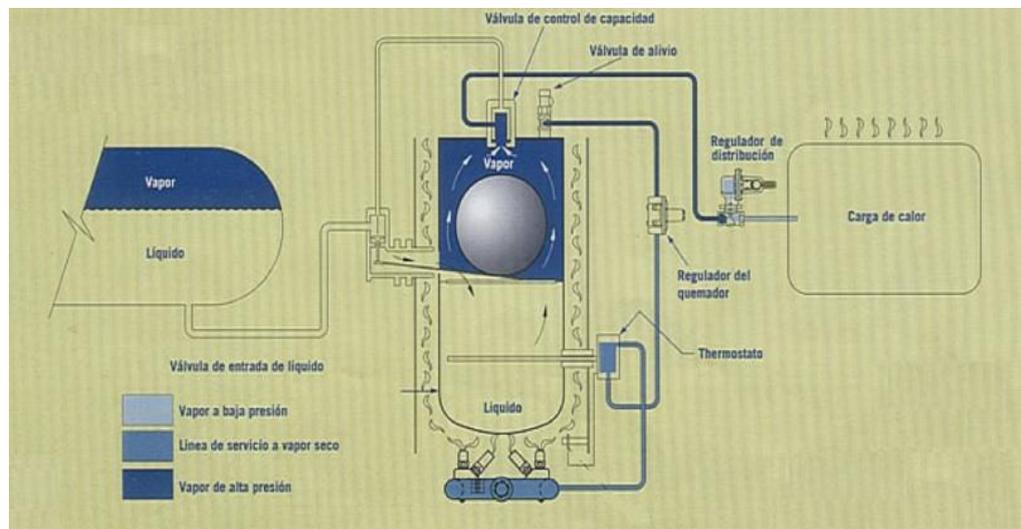
- Cuando la temperatura ambiente es baja.
- Cuando el caudal de consumo del GLP es mayor al aportado por la vaporización natural.
- Cuando se desea un valor fijo de las concentraciones de la mezcla en estado gaseoso. Dado que en la vaporización natural, al tener componentes de diferentes densidades y puntos de ebullición, suelen ser los más pesados los que se depositan en el fondo del recipiente conforme disminuye el nivel dentro del mismo.

### 1.3.1.3. Vaporizadores

Son equipos que reciben el GLP en estado líquido para luego transformarlo al estado gaseoso por medio del suministro de calor. Los principales tipos de vaporizadores son los vaporizadores de fuego directo, vaporizadores eléctricos, vaporizadores indirectos y vaporizadores de inmersión.

#### 1.3.1.3.1. Vaporizador de Fuego Directo

Son aquellos en los cuales la llama se aplica directamente sobre el exterior del recipiente en el que se encuentre almacenado el GLP líquido.

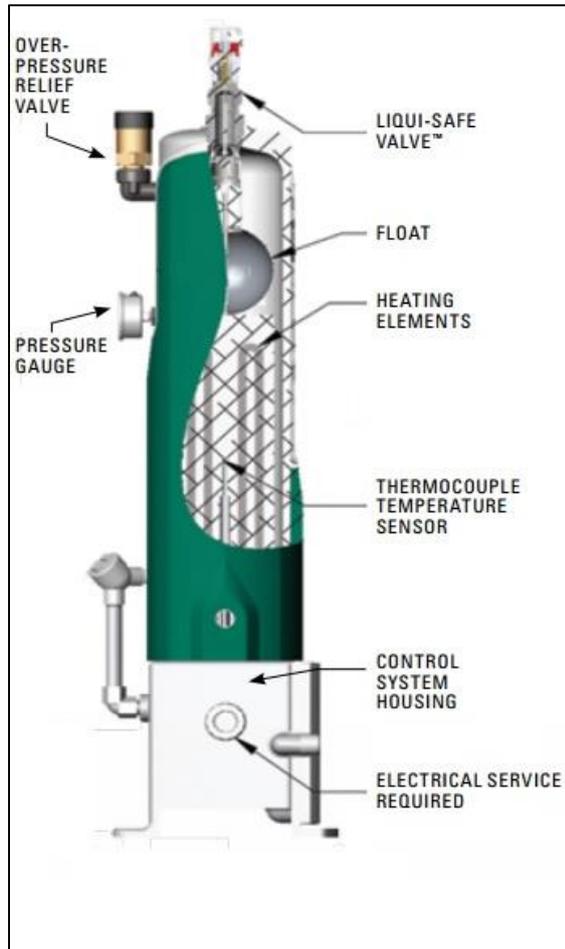


**Figura 1. Vaporizador de Fuego Directo**  
Fuente: (Product Brochure ALGAS-SDI, 2001)

#### 1.3.1.3.2. Vaporizador Eléctrico

Este tipo de vaporizador utiliza como fuente de calor a la electricidad. Se subdividen en 2 tipos:

- Inmersión Directa.- El componente eléctrico encargado de suministrar el calor se encuentra sumergido en el GLP líquido.
- Indirecto.- Existe una sustancia intermedia la cual es calentada con el componente eléctrico. Luego dicha sustancia es la encargada de intercambiar calor hacia el GLP líquido. Las principales sustancias utilizadas son vapor de agua o agua caliente.

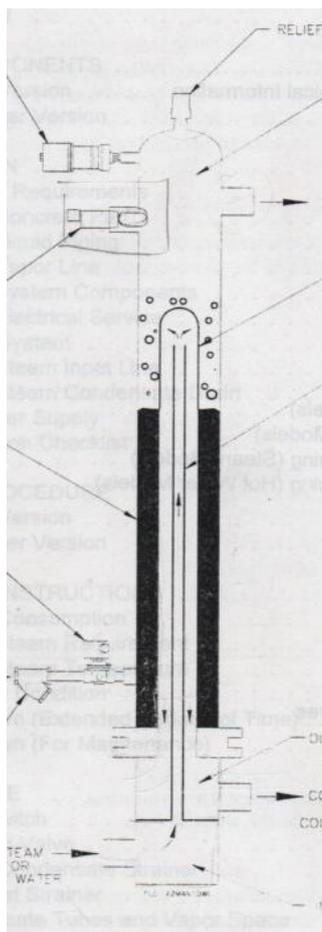


**Figura 2. Vaporizador Eléctrico**

Fuente: (Product Brochure ALGAS-SDI, 2001)

### 1.3.1.3.3. Vaporizador Indirecto

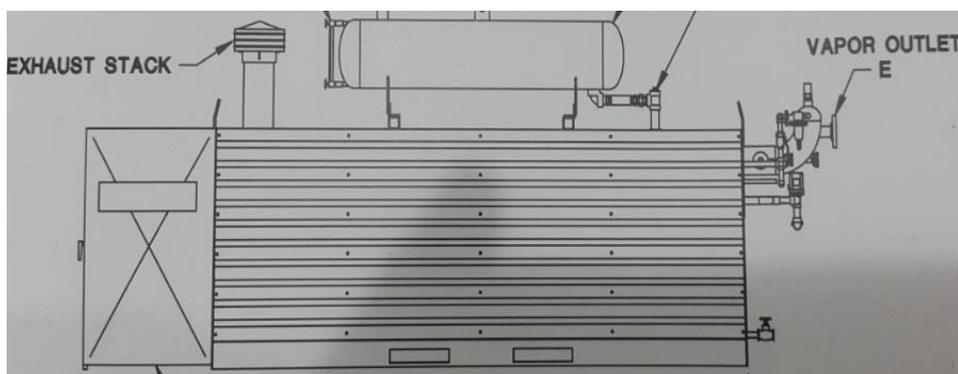
En estos equipos el calor suministrado será por agua caliente o vapor, que se producen en una instalación alejada. La sustancia de uso para suministrar calor es aplicada a un intercambiador el cual contenga el GLP líquido.



**Figura 3. Vaporizador Indirecto**  
 Fuente: (Product Brochure ALGAS-SDI, 2001)

#### 1.3.1.3.4. Vaporizador de Inmersión

Su característica principal es que la cámara de vaporización, donde está alojado el GLP líquido, se encuentra sumergida en su totalidad en agua caliente, la cual es la encargada de suministrar el calor necesario para transferirlo hacia el GLP.



**Figura 4. Vaporizador de Inmersión**  
 Fuente: (Product Brochure ALGAS-SDI, 2001)

### 1.3.2. Ebullición de Alberca

Se denomina ebullición cuando ocurre la evaporación en una interfaz solido-liquido. Este proceso ocurre cuando la temperatura de superficie excede la temperatura de saturación correspondiente a la presión que se encuentra el líquido. Se puede delinear diferentes tipos de ebullición dependiendo del valor de  $\Delta T_e$ , el cual se denomina exceso de temperatura y viene dado por la diferencia entre la temperatura de la superficie y la temperatura de saturación ( $T_s - T_{sat}$ ). Los principales son:

- Ebullición de convección libre.- Se da cuando  $\Delta T_e \leq 5^\circ\text{C}$
- Ebullición nucleada.- Se da cuando  $5^\circ\text{C} < \Delta T_e \leq 30^\circ\text{C}$
- Ebullición de transición.- Se da cuando  $30^\circ\text{C} < \Delta T_e \leq 120^\circ\text{C}$
- Ebullición de película.- Se da cuando  $\Delta T_e > 120^\circ\text{C}$

### 1.3.3. Tanques Sometidos a Presión

Se consideran tanques sometidos a presión, aquellos recipientes que contengan un fluido sometido a una presión interna mayor a la presión atmosférica. Debido a los altos riesgo y peligros que se presentan en fabricación y operación de estos equipos, existen normativas, las cuales ayudan a prever algún tipo de accidente en base a un diseño efectivo. La fabricación puede estar alineada a diferentes tipos de organismos tales como: Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME, por sus siglas en inglés), Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés), Instituto Alemán de Normalización (DIN, por sus siglas en alemán), Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM).



**Figura 5. Recipientes para Almacenamiento de GLP**  
Fuente: (Product Brochure ALGAS-SDI, 2001)

# CAPÍTULO 2

## 2. Metodología del Diseño

### 2.1. Descripción de la Metodología del Diseño.

El proyecto se desarrolla en base a dos principales tópicos, que son, el diseño térmico y diseño mecánico.

En el diseño térmico se calculan y analizan lo siguiente:

- Flujo de calor de vaporización.
- Flujo másico de agua.
- Coeficiente convectivo interno.
- Flujo de calor de ebullición.
- Área de transferencia de calor.
- Longitud de tubería.

Bajo las condiciones de flujo en estado estable y una temperatura superficial constante, se puede utilizar las correlaciones manifestadas a lo largo del presente capítulo.

El diseño mecánico se rige principalmente a la norma de construcción de recipientes a presión ASME VIII, división 1. Ya que este será tratado como tal. En esta sección es necesario el diseño de:

- Diseño de cuerpo.
- Diseño del domo.
- Diseño de junta empernada.
- Diseño de juntas soldadas
- Tratamiento superficial.

### 2.2 Matriz de decisión

En base a las observaciones y características presentadas de los diferentes tipos de vaporizadores en el capítulo anterior, se procedió a elaborar la matriz de decisión presentada en la tabla 2.1

Para seleccionar la mejor alternativa, los valores van a depender de la persona que realice el trabajo, ya que se presentaran consideraciones al momento de evaluar, tales como: manufactura local, espacio disponible, tiempo de fabricación, costo de materia prima.

Las variables analizadas fueron:

- Baja inversión.- Entre los vaporizadores a seleccionar suele ser de suma importancia el capital de inversión del solicitante.
- Acceso a componentes y repuestos.- En caso de un imperfecto, en el mercado local se debe lograr obtener todo tipo de elemento y de esta forma no realizar paras prolongadas del equipo.
- Adaptabilidad del área de almacenamiento.- Existen delimitación de distancias para la ubicación de los equipos vaporizadores, estas suelen ser determinantes en la selección del tipo de vaporizador a utilizar.
- Menor consumo de energía.- Al utilizar energía térmica para vaporizar el GLP, la procedencia y el valor monetario para obtenerlo, es un punto de consideración importante.

**Tabla 2.1. Matriz de decisión**  
**MATRIZ DE DECISION**

| Objetivos                       | 1°                    | 2°                                      | 3°  | 4°                              |                                  |                                |
|---------------------------------|-----------------------|---|---|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
|                                 | <i>Baja Inversión</i> | <i>Acceso a componentes y repuestos</i> | <i>Adaptabilidad al Área del almacenamiento</i> | <i>Menor consumo de energía</i> | <i>Satisfacción de objetivos</i> | <i>Decisión de alternativa</i> |
| Valores (x <sub>i</sub> )       | 0.4                   | 0.2                                     | 0.2   | 0.2                             | $\sum(x_i)*(y_i)$                |                                |
| Alternativas                    |                       |   |   |                                 |                                  |                                |
| Fuego directo (y <sub>i</sub> ) | 60%                   | 50%                                     | 40%   | 65%                             | <b>55%</b>                       |                                |
| Eléctrico (y <sub>i</sub> )     | 65%                   | 50%                                     | 50%   | 40%                             | <b>56%</b>                       |                                |
| Indirecto (y <sub>i</sub> )     | 80%                   | 60%                                     | 70%   | 80%                             | <b>74%</b>                       | <b>Optima</b>                  |
| Inmersión (y <sub>i</sub> )     | 70%                   | 60%                                     | 70%   | 80%                             | <b>70%</b>                       |                                |

### 2.3 Diseño de forma

Para el diseño del vaporizador, será de características similares a los que son importados. El diseño consta de dos partes fundamentales, la base y la carcasa. Ambas serán de un material resistente a la presión. Serán unidas por medio de una junta bridada. La figura 6 muestra el diseño de forma para el presente proyecto.



**Figura 6. Diseño de Forma**

Elaborado por el autor

### 2.4. Diseño Térmico

#### 2.4.1. Cálculo del flujo másico de agua

Para comenzar calculando el flujo másico es necesario conocer el calor latente de vaporización del GLP, para este valor los criterios varían dependiendo las concentraciones de la mezcla y la fuente de información. Para este proyecto se utilizará como válida una media de 92 kcal/kg [9].

Por las condiciones propuestas con anterioridad la tasa de vaporización es de 320 kg/h. Teniendo estos dos valores antes citados se procede a obtener el calor que debe ser entregado por el agua caliente al GLP, por lo que se tuvo:

$$q = \dot{m} h_{fg} \quad (\text{ec 2.1})$$

Reemplazando valores se obtuvo:

$$q = 29440 \text{ kcal/h (34215.82 J/s)}$$

Para que la tasa de vaporización propuesta sea constante y no decaiga a través del tiempo, la temperatura óptima del agua debe oscilar entre los 70°C y 60 °C. Por lo que el máximo  $\Delta T$  del agua será de 10°C. Realizando un balance de energía a lo largo de todo el tubo se obtuvo:

$$q = \dot{m} C_p (T_{m,i} - T_{m,o}) \quad (\text{ec 2.2})$$

Donde:

$\dot{m}$ : flujo másico [kg/s]

$c_p$ : calor específico [kJ/Kg K]

$T_{m,i}$ : temperatura de entrada del agua [°C o K]

$T_{m,o}$ : temperatura de salida del agua [°C o K]

Despejando el flujo másico y reemplazando valores en la ec 2.2 se obtuvo:

$$\dot{m} = \frac{q}{C_p \times (T_{m,o} - T_{m,i})}$$

$$\dot{m} = 0.8186 \text{ kg/s}$$

#### 2.4.2. Cálculo del coeficiente convectivo

Se selecciona una tubería comercial de 2" de diámetro y un espesor de 3.4mm. El material de la tubería es acero A192 y sus propiedades químicas y mecánicas están representadas en la tabla 2.2 y 2.3 respectivamente.

**Tabla 2.2 Propiedades químicas ASTM A192**

| Elemento  | Composición   |
|-----------|---------------|
| <b>C</b>  | 0.06 – 0.18 % |
| <b>Mn</b> | 0.27 – 0.63 % |
| <b>P</b>  | 0.035 %       |
| <b>S</b>  | 0.035 %       |
| <b>Si</b> | 0.25 %        |

Fuente: (ASME VIII, Rules for construction of pressure vessels, 2002)

**Tabla 2.3 Propiedades Mecánicas ASTM 192**

|  |          |
|--|----------|
| <b>Esfuerzo ultimo de tensión [ksi- MPa]</b> | 47 – 325 |
| <b>Esfuerzo de fluencia [ksi- MPa]</b>       | 26 – 180 |
| <b>Dureza Brinell</b>                        | 137 HRB  |
| <b>Dureza Rockwell</b>                       | 77 HRB   |
| <b>Min % Elongación, 2 in</b>                | 35       |

Fuente: (ASME VIII, Rules for construction of pressure vessels, 2002)

El coeficiente convectivo interno va a depender de las condiciones de flujo y de las propiedades del agua, según en la ecuación 2.3.

$$h = Nu \frac{k}{\phi} \quad (\text{ec 2.3})$$

Donde:

Nu: número de Nusselt

$k$ : conductividad térmica [W/m K]

$\phi$ : diámetro interno [mm]

Asumiendo un flujo completamente desarrollado y una temperatura de película promedio, entre la entrada y la salida de agua utilizada para la vaporización, la temperatura de película será de  $65^{\circ}\text{C} = 338 \text{ K}$ , donde las propiedades están expresadas en la tabla 2.4.

**Tabla 2.4 Propiedades térmicas de agua a  $T_m = 338 \text{ K}$** 

|                                   |                         |
|-----------------------------------|-------------------------|
| <b>K [W/m * K]</b>                | $658.4 \times 10^{-3}$  |
| <b><math>C_p</math> [kJ/kg*k]</b> | $4.1872 \times 10^{-6}$ |
| <b><math>\mu</math> [Pa*s]</b>    | $433.2 \times 10^{-6}$  |
| <b>Pr</b>                         | 2.75                    |

Fuente: Incropera, F., & Dewitt, D. (1999) "Fundamentos de transferencia de calor"

Para obtener la mejor correlación del número de Nusselt, es necesario conocer las condiciones del flujo interno. Por este motivo se procede a calcular el número de Reynolds, el cual está expresado por:

$$Re = \frac{4\dot{m}}{\pi \times \varnothing \times \mu} \quad (\text{ec 2.4})$$

Donde:

$\dot{m}$ : flujo másico [kg/s]

$\mu$ : viscosidad dinámica [Pa\*s]

Reemplazando valores en la ecuación 2.4, se obtuvo:

$$Re = 47361.96$$

Dado que el número de Reynolds obtenido es  $4.7 \times 10^4$ , se dice que el flujo es turbulento. Además asumiendo el flujo completamente desarrollado, se procede a calcular el número de Nusselt mediante la correlación expuesta por Petukhov [2], que es de la forma:

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) * Re * Pr}{1.07 + 12.7 \left(\frac{f}{8}\right)^{\frac{1}{2}} \left(Pr^{\frac{2}{3}} - 1\right)} \quad (\text{ec 2.5})$$

Donde:

$f$ : factor de fricción interno

Pr: número de Prandtl

Para calcular el factor de fricción interno de la tubería, se utilizó la correlación para superficies suaves [3], la cual viene expresada por:

$$f = 0.184Re^{-1/5} \quad Re \geq 2 \times 10^4 \quad (\text{ec 2.6})$$

Reemplazando valores en la ecuación 2.6 se obtuvo:

$$f = 0.0214$$

Una vez calculados los valores necesarios para encontrar el número de Nusselt, estos son reemplazados en la ecuación 2.5 y se obtuvo:

$$Nu = 204.39$$

Sustituyendo dentro de la ecuación 2.3 los valores conseguidos y datos de la tabla 2.4, el valor del coeficiente convectivo interno del agua es:

$$h = 2649 \frac{W}{m^2 * K}$$

### 2.3.3. Cálculo de flujo de calor para ebullición de alberca nucleada

Para encontrar la transferencia de calor por unidad de área se sigue la correlación de Rohsenow [2]:

$$q_s'' = \mu_l * h_{fg} \left[ \frac{g(\rho_l - \rho_v)}{\sigma_l} \right]^{\frac{1}{2}} * \left[ \frac{C_{p,l} * \Delta T_e}{C_{s,f} * h_{fg} * Pr_l^n} \right]^3 \quad (\text{ec 2.7})$$

Donde:

$\mu$ : viscosidad dinámica [Pa \*s]

$h_{fg}$ : calor latente de vaporización [J/kg]

$g$ : aceleración de la gravedad [m/s<sup>2</sup>]

$\rho$ : densidad [kg/m<sup>3</sup>]

$\sigma$ : tensión superficial [N/m]

$c_p$ : calor específico [J/ kg K]

$\Delta T_e$ : exceso de temperatura [K]

$Pr$ : número de Prandtl [adimensional]

Donde los subíndices  $l$  y  $v$ , denotan los estados de líquido saturado y vapor, respectivamente, para el GLP.

Los coeficientes  $C_{s,f}$  y  $n$  dependen de la combinación superficie-líquido, dichos valores son obtenidos de la referencia [4], y su valor numérico es 0.013 y 1.7 respectivamente.

El término  $\Delta T_e$  se denomina exceso de temperatura, y viene dado por:

$$\Delta T_e = T_s - T_{sat} \quad (\text{ec 2.8})$$

Donde:

$T_s$ : temperatura de superficie [ $^{\circ}\text{C}$  o  $^{\circ}\text{K}$ ]

$T_{sat}$ : temperatura de saturación [ $^{\circ}\text{C}$  o  $^{\circ}\text{K}$ ]

La temperatura de superficie  $T_s$ , para iniciar, se asume un promedio entre la temperatura de película del agua y la temperatura del GLP, la cual es de  $42.5^{\circ}\text{C}$  o  $315.5^{\circ}\text{K}$ .

Para las propiedades termofísicas del GLP se sigue las referencias [4] y [5], asumiendo una temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  y una presión de trabajo de 100 psi, obtenemos los siguientes valores:

**Tabla 2.5 Propiedades de saturación del GLP a 100 psi**

|  |                          |
|--|--------------------------|
| $\mu$ [ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ]             | $111.023 \times 10^{-6}$ |
| $c_{pl}$ [ $\text{J}/\text{kg}\cdot\text{k}$ ] | 2622.66                  |
| $K$ [ $\text{W}/\text{m}^3 \cdot \text{K}$ ]   | $97.08 \times 10^{-3}$   |
| $\sigma$ [ $\text{N}\cdot\text{m}$ ]           | $7.65 \times 10^{-3}$    |
| $Pr$   | 3.032                    |
| $\rho_l$ [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]            | 530.8                    |
| $\rho_v$ [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]            | 2.23                     |
| $h_{fg}$ [ $\text{J}/\text{kg}$ ]              | 384928                   |
| $T_{sat}$ [ $\text{K}$ ]                       | 300.89                   |

Fuente: (LOS GLP, Lorenzo J, 1989)

Reemplazando datos de la tabla 2.5 en la ecuación 2.7, se obtuvo:

$$q_s'' = 56545.59 \text{ W}/\text{m}^2$$

Posteriormente se procede a calcular el valor del flujo crítico para la ebullición de alberca nucleada, el cual debe ser mayor al flujo de calor calculado con anterioridad. El flujo de calor máximo viene dado por:

$$q_{\max}'' = C * h_{fg} * \rho_v \left[ \frac{\sigma * g(\rho_l - \rho_v)}{\rho_v^2} \right]^{1/4} \quad (\text{ec 2.9})$$

Donde:

C: constante de Zuber [C=0.131]

Reemplazando los datos de la tabla 2.5 en la ecuación 2.9, se obtiene:

$$q_{\max}'' = 188929.918 \text{ W/m}^2$$

Ahora, para calcular el área de transferencia de calor se utiliza la relación entre el calor entregado por el agua y el flujo de calor por unidad de superficie.

$$q_s'' = \frac{q}{A} \quad (\text{ec 2.10})$$

Despejando el área de la ecuación 2.10, y reemplazando valores, se obtiene:

$$A = 0.605 \text{ m}^2$$

Siendo:

$$A = \pi \varnothing L \quad (\text{ec 2.11})$$

Despejando la longitud y reemplazando en la ecuación 2.11:

$$L = 3.79 \text{ m}$$

Una vez obtenida la longitud total de la tubería que conducirá el agua caliente, se vuelve a recalcular la temperatura de superficie, asumida inicialmente, mediante el balance de energía a lo largo del tubo. La condición térmica de la superficie en nuestro caso fue asumir la temperatura de superficie constante, debido al cambio de fase del GLP. Por lo cual, la variación de temperatura viene expresada por:

$$\frac{\Delta T_o}{\Delta T_i} = \frac{T_s - T_{m,o}}{T_s - T_{m,i}} = \exp\left(-\frac{P * L * h}{\dot{m} * C_p}\right) \quad (\text{ec 2.12})$$

Donde:

$T_s$ : Temperatura superficial [K]

$T_{m,o}$ : temperatura de salida del agua [K]

$T_{m,i}$ : temperatura de entrada del agua [K]

$P$ : perímetro de la tubería [m]

$L$ : longitud de la tubería [m]

$H$ : coeficiente de transferencia de calor por convección. [W/m<sup>2</sup> K]

$\dot{m}$ : flujo másico [kg/s]

$c_p$ : calor específico a presión constante. [J/Kg K]

Reemplazando valores en la ecuación 2.12, y despejando  $T_s$ , se obtiene:

$$T_s = 316.228 \text{ K}$$

Con el nuevo valor de  $T_s$  obtenido; se recalcula  $\Delta T_e$ , con el cual se obtuvo un nuevo valor para la transferencia de calor por unidad de área. Se encontró una nueva área de transferencia de calor; por consiguiente, se obtuvo una nueva longitud, con la nueva longitud se consiguió una nueva temperatura de superficie. En este punto se realizó iteraciones hasta que los valores de la temperatura superficial converjan, y este sería el valor de temperatura superficial.

Luego de realizar las iteraciones necesarias para la convergencia, los valores de la temperatura superficial y longitud fueron:

$$L = 3.69 \text{ m}$$

$$T_s = 315.636$$

#### 2.3.4. Caída de presión del sistema

En el análisis de flujo interno en tuberías, un parámetro importante a calcular es la caída de presión ( $\Delta P$ ), ya que este valor está relacionado con los requerimientos de potencia para mantener el flujo. Se comienza calculando la velocidad promedio del fluido dentro de la tubería a ser analizada.

$$Q = A V \quad (\text{ec 2.13})$$

Donde:

A: área transversal de tubería [m<sup>2</sup>]

V: velocidad promedio interna en la tubería [m/s]

Además se sabe que:

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (\text{ec 2.14})$$

Donde:

$\dot{m}$ : flujo masico [kg/s]

$\rho$ : densidad del agua [1000 kg/m<sup>3</sup>]

Reemplazando la ecuación 2.14 dentro de la 2.13 y despejando la velocidad, se obtiene:

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho \left( \frac{\pi \phi^2}{4} \right)} \quad (\text{ec 2.15})$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.15 se obtiene:

$$V = 0.4 \text{ m/s}$$

Con el valor de la velocidad calculado, la caída de presión puede ser calculada por medio de:

$$\Delta P = \frac{\rho V^2}{2} \left( \frac{fL}{\phi} + \Sigma K \right) \quad (\text{ec 2.16})$$

Donde:

P: densidad [Kg/m<sup>3</sup>]

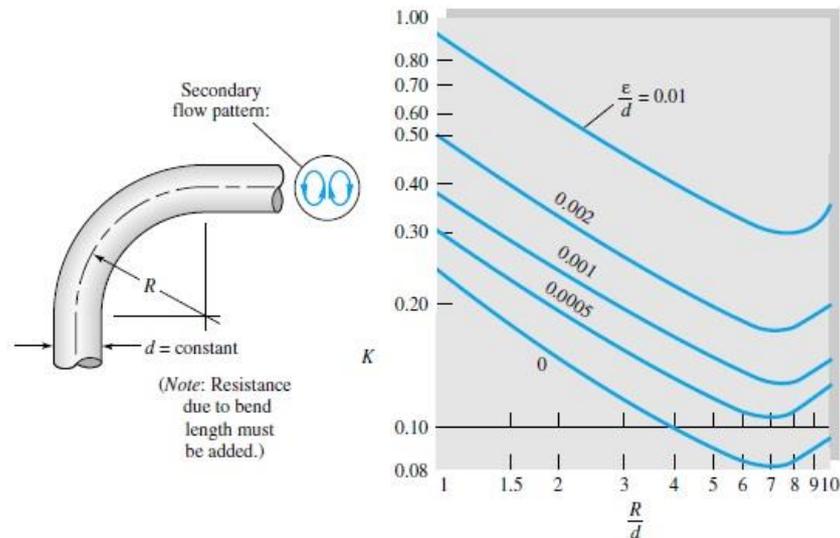
f: factor de fricción

L: longitud total de la tubería [m]

K: coeficiente de perdidas menores

El coeficiente K va a depender de las pérdidas menores que se encuentren a lo largo de toda la tubería que es analizada. Entiéndase como pérdidas menores a expansiones, contracciones, codos, tees, válvulas o curvaturas.

En nuestro caso particular la tubería será doblada 4 veces en un ángulo de 90° para poder obtener la geometría requerida, por lo que el coeficiente K se lo obtendrá basado en la figura 7.



**Figura 7. Pérdidas menores en curvaturas**

Fuente: White, F (1999) "Fluid Mechanics"

La rugosidad de una tubería sin costura es de 1.5  $\mu\text{m}$ , mientras que el diámetro externo de 2" será de 57.6 mm; por lo tanto la relación entre la rugosidad ( $\epsilon$ ) y el diámetro (D) tiene un valor numérico de  $0.00003 = \epsilon/D$

La relación sugerida entre el radio de curvatura y el diámetro externo es de 2.5 [3], por lo que se obtuvo la gráfica 3 para la tubería seleccionada



**Figura 8. Radios de Curvatura**  
Elaborado por autor

De figura 8 se obtuvo que el valor de R es de 115.2; por lo que, la relación entre R y d fue de 2.

Por lo tanto  $K=0.18$  aproximadamente y reemplazando los valores en la ecuación 2.18, se obtuvo:

$$\Delta P = 162.78 \text{ Pa}$$

## 2.4. Diseño Mecánico

### 2.4.1. Diseño de Cuerpo Cilíndrico

El diseño será sometido a una presión de trabajo de 100 psi, por lo que, para el diseño se utilizará una presión de 250 psi. Como limitaciones para el diseño tenemos las dimensiones, estas serán aproximadas a la de los vaporizadores importados y de esta manera se podrá tener una mejor comparación entre ambos. Por lo tanto se inició asumiendo una altura de 2 metros, la cual podrá ser modificada más adelante según se requiera. El diámetro interno será de 0.6 metros. En base a la norma ASME VII división 1, el material a utilizar para el diseño del cuerpo será el acero SA 516 gr 70, este posee

las siguientes propiedades químicas y mercancías presentadas en la tabla 2.6 y 2.7 respectivamente:

**Tabla 2.6. Composición química SA 516 GR 70**

| Elemento  | Composición   |
|-----------|---------------|
| <b>C</b>  | 0.10 – 0.22 % |
| <b>Mn</b> | 1 – 1.7 %     |
| <b>P</b>  | 0.035 %       |
| <b>S</b>  | 0.035 %       |
| <b>Si</b> | 0.6 %         |

Fuente: Budynas, R & Nisbett, J, (2008) Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 2008

**Tabla 2.7. Propiedades mecánicas SA 516 GR 70**

|  |                 |
|--|-----------------|
| <b>Esfuerzo ultimo de tensión [ksi- MPa]</b> | <b>70 – 482</b> |
| <b>Esfuerzo de fluencia [ksi- MPa]</b>       | <b>38 – 262</b> |
| <b>Min % Elongación, 8 in</b>                | <b>17</b>       |
| <b>Min % Elongación, 2 in</b>                | <b>21</b>       |

Fuente: Budynas, R & Nisbett, J, (2008) Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 2008

Para el cálculo del espesor de la pared del cuerpo se siguió la norma citada, donde indica:

$$t = \frac{P * R}{S * E - 0.6P} \quad (\text{ec 2.17})$$

Donde:

T: espesor mínimo requerido en el cuerpo [in]

P: presión interna de diseño [psi]

R: radio interno del cuerpo [in]

S: máximo esfuerzo permisible [psi]

E: eficiencia de la junta.

Para el análisis del máximo esfuerzo permisible la norma indica que dicho valor será:

$$S = \frac{S_{ut}}{3.5} \quad (\text{ec 2.18})$$

Donde:

S<sub>ut</sub>: esfuerzo ultimo de tensión [psi]

El valor de E depende del tipo de junta y el nivel de radiografiada a efectuar, para el presente proyecto todas las juntas soldadas será radiografiadas al 100% y sus valores están expresados en la tabla 2.8.

**Tabla 2.8 Máxima eficiencias permitidas en juntas soldadas por arco o gas**

| Type No. | Joint Description  | Limitations   | Joint Category            | Degree of Radiographic Examination |                       |              |
|----------|--|---|---------------------------|------------------------------------|-----------------------|--------------|
|          |  |   |                           | (a) Full <sup>2</sup>              | (b) Spot <sup>3</sup> | (c) None     |
| (1)      | Butt joints as attained by double-welding or by other means which will obtain the same quality of deposited weld metal on the inside and outside weld surfaces to agree with the requirements of UW-35. Welds using metal backing strips which remain in place are excluded. | None  | A, B, C, & D              | 1.00                               | 0.85                  | 0.70         |
| (2)      | Single-welded butt joint with backing strip other than those included under (1)  | (a) None except as in (b) below<br>(b) Circumferential butt joints with one plate offset; see UW-13(b)(4) and Fig. UW-13.1, sketch (k)  | A, B, C, & D<br>A, B, & C | 0.90<br>0.90                       | 0.80<br>0.80          | 0.65<br>0.65 |
| (3)      | Single-welded butt joint without use of backing strip  | Circumferential butt joints only, not over 3/8 in. (16 mm) thick and not over 24 in. (610 mm) outside diameter  | A, B, & C                 | NA                                 | NA                    | 0.60         |
| (4)      | Double full fillet lap joint   | (a) Longitudinal joints not over 3/8 in. (10 mm) thick<br>(b) Circumferential joints not over 3/8 in. (16 mm) thick   | A<br>B & C <sup>6</sup>   | NA<br>NA                           | NA<br>NA              | 0.55<br>0.55 |
| (5)      | Single full fillet lap joints with plug welds conforming to UW-17  | (a) Circumferential joints <sup>4</sup> for attachment of heads not over 24 in. (610 mm) outside diameter to shells not over 1/2 in. (13 mm) thick<br>(b) Circumferential joints for the attachment to shells of jackets not over 3/8 in. (16 mm) in nominal thickness where the distance from the center of the plug weld to the edge of the plate is not less than 1 1/2 times the diameter of the hole for the plug. | B<br>C                    | NA<br>NA                           | NA<br>NA              | 0.50<br>0.50 |

Fuente: ASME VIII (2002), Rules for construction of pressure vessels

La junta en el cuerpo es de forma longitudinal por lo que es de del tipo 1, mientras que la junta 2 se realiza en juntas circunferenciales, la fue utilizada en la unión entre el cuerpo y el domo.

Para el diseño del cuerpo se aumentó la presión hidrostática, donde la parte más baja será la mayormente afectada por este valor. Viene expresada por:

$$P_{\text{hidrostatica}} = \rho * g * h \quad (\text{ec 2.19})$$

Donde:

$\rho$ : densidad del GLP liquido [Kg/m<sup>3</sup>]

g: gravedad [m/s<sup>2</sup>]

h: altura de la columna del fluido [m]

Reemplazando valores en la ecuación 2.19, se obtiene:

$$P_{\text{hidrostatica}} = 1.51 \text{ psi}$$

Al aumentar el valor obtenido de presión hidrostática, a la presión de diseño. Se obtiene:

$$P_{\text{total}} = P_{\text{diseño}} + P_{\text{hidrostatica}} \quad (\text{ec 2.20})$$

$$P_{\text{total}} = 251.1 \text{ psi}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.17, se obtiene:

$$t = 0.149 \text{ in (3.78 mm)}$$

A este valor de espesor se le debe aumentar el valor de espesor que será perdido por la corrosión a lo largo de su vida útil.

#### 2.4.2. Velocidad de Corrosión

Asumiendo una vida útil de 30 años, se calculó la velocidad de corrosión del acero teniendo en cuenta que el diseño va a estar expuesto a condiciones ambientales normales de presión y temperatura.

$$t_{\text{corrosión}} = (13\sim 19) \mu\text{m/año} \quad (\text{ec 2.21})$$

Asumiendo el valor más crítico de 19  $\mu\text{m}$ , y al reemplazar en la ecuación 2.21 se obtuvo:

$$t_{\text{corrosión}} = 570 \mu\text{m (0.022 in)}$$

Como se mencionó, este valor debe ser agregado al espesor de cuerpo calculado con la ecuación 2.17 y así obtener el espesor final para el diseño.

$$t_{\text{final}} = t + t_{\text{corrosión}} \quad (\text{ec 2.22})$$

Reemplazando valores dentro de la ecuación 2.22, se obtiene:

$$t_{\text{final}} = 0.171 \text{ in (4.34 mm)}$$

El espesor de las planchas de acero que se logró obtener en el mercado local, fue de 6.35 mm. Debido a esto, este será el espesor de ahora en adelante para el diseño.

### **2.4.3. Diseño de domo**

Para el diseño se seleccionó un domo elipsoidal y se utilizó el mismo espesor con el que se va a diseñar el cuerpo. Por lo tanto, la presión que puede soportar la junta circunferencial será:

$$P = \frac{2 * S * E * t}{D + 0.2 * t} \quad (\text{ec 2.23})$$

Reemplazando los valores dentro de la ecuación 2.23, la presión admisible para el domo fue de:

$$P = 380.23 \text{ psi}$$

Como la presión de diseño es de 250 psi, el espesor de 6.35 mm es satisfactorio para utilizarlo en el domo elipsoidal.

### **2.4.4. Diseño de junta empernada**

Para el diseño de la junta, se siguió dos diferentes tipos de procedimientos, diseño utilizando factores de seguridad y el procedimiento planteado por ASME.

#### **2.4.4.1. Diseño por factores de seguridad**

Para la unión entre la base y la carcasa del vaporizador se utilizaron bridas de 25mm de espesor las cuales son unidas entre sí por medio de pernos y tuercas.

Se comenzo con las asunciones de que se utilizara 10 pernos de grado 9.8; el cual tiene las propiedades especificadas en la tabla 2.9:

**Tabla 2.9. Propiedades mecánicas de pernos de acero clase métrica**

| Clase de propiedad | Intervalo de tamaños, inclusive | Resistencia de prueba mínima,† MPa | Resistencia mínima a la tensión,† MPa | Resistencia mínima a la fluencia,† MPa | Material                                  | Marca en la cabeza  |
|--------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--|---|---|
| 4.6                | M5-M36                          | 225                                | 400                                   | 240                                    | Acero de bajo o medio carbono             |  |
| 4.8                | M1.6-M16                        | 310                                | 420                                   | 340                                    | Acero de bajo o medio carbono             |  |
| 5.8                | M5-M24                          | 380                                | 520                                   | 420                                    | Acero de bajo o medio carbono             |  |
| 8.8                | M16-M36                         | 600                                | 830                                   | 660                                    | Acero de medio carbono, T y R             |  |
| 9.8                | M1.6-M16                        | 650                                | 900                                   | 720                                    | Acero de medio carbono, T y R             |  |
| 10.9               | M5-M36                          | 830                                | 1 040                                 | 940                                    | Acero martensítico de bajo carbono, T y R |  |
| 12.9               | M1.6-M36                        | 970                                | 1 220                                 | 1 100                                  | Acero aleado, T y R                       |  |

Fuente: Budynas, R & Nisbett, J, (2008) Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 2008

Conociendo la presión y las dimensiones de la carcasa fue posible determinar la fuerza ejercida en los pernos, asumiendo que cada uno soporta cargas iguales y que la parte inferior se la supo modelar como una tapa, tenemos:

$$F_{\text{total}} = P A \quad (\text{ec 2.24})$$

Donde:

$F_{\text{total}}$ : fuerza total en la tapa [N]

P: presión de la carcasa [Mpa]

A: área interna [m<sup>2</sup>]

Se conoce que el área de un cilindro es de  $\pi * (\phi^2)/4$ , sustituyendo valores en la ecuación 2.24, la fuerza ejercida sobre el conjunto de pernos fue de:

$$F_{\text{total}} = 487.45 \text{ kN}$$

Inicialmente se asumió un valor de 10 pernos para la junta, la fuerza ejercida sobre cada perno queda de la forma:

$$F_{\text{perno}} = \frac{F_{\text{total}}}{10} \quad (\text{ec 2.25})$$

$$F_{\text{perno}} = 48.745 \text{ kN}$$

### Factor de Carga

El factor de seguridad de carga, es aquel que nos asegura que los esfuerzos a los que está sometido el perno, sean menores a la resistencia de prueba. Esto se cumple siempre y cuando el valor sea mayor a 1.

$$\eta_c = \frac{S_p * A_t - F_i}{C * P_{\text{perno}}} \quad (\text{ec 2.26})$$

Donde:

$S_p$ : resistencia de prueba mínima [psi]

$A_t$ : área de esfuerzo por tensión [ $\text{mm}^2$ ]

$F_i$ : fuerza de precarga [lb]

$C$ : constante de rigidez de la junta

$A_t$  y  $S_p$  se encuentra tabulado para los diferentes tornillos métricos, y vienen dados por las tablas 2.10 y 2.11 respectivamente:

**Tabla 2.10 Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino**

| Diámetro mayor nominal $d$ , mm | Serie de paso grueso |   |   | Serie de paso fino |   |   |
|---------------------------------|----------------------|---|---|--------------------|---|---|
|                                 | Paso $p$ , mm        | Área de esfuerzo de tensión $A_t$ , mm <sup>2</sup> | Área del diámetro menor $A_r$ , mm <sup>2</sup> | Paso $p$ , mm      | Área de esfuerzo de tensión $A_t$ , mm <sup>2</sup> | Área del diámetro menor $A_r$ , mm <sup>2</sup> |
| 1.6                             | 0.35                 | 1.27  | 1.07  |                    |   |   |
| 2                               | 0.40                 | 2.07  | 1.79  |                    |   |   |
| 2.5                             | 0.45                 | 3.39  | 2.98  |                    |   |   |
| 3                               | 0.5                  | 5.03  | 4.47  |                    |   |   |
| 3.5                             | 0.6                  | 6.78  | 6.00  |                    |   |   |
| 4                               | 0.7                  | 8.78  | 7.75  |                    |   |   |
| 5                               | 0.8                  | 14.2  | 12.7  |                    |   |   |
| 6                               | 1                    | 20.1  | 17.9  |                    |   |   |
| 8                               | 1.25                 | 36.6  | 32.8  | 1                  | 39.2  | 36.0  |
| 10                              | 1.5                  | 58.0  | 52.3  | 1.25               | 61.2  | 56.3  |
| 12                              | 1.75                 | 84.3  | 76.3  | 1.25               | 92.1  | 86.0  |
| 14                              | 2                    | 115   | 104   | 1.5                | 125   | 116   |
| 16                              | 2                    | 157   | 144   | 1.5                | 167   | 157   |
| 20                              | 2.5                  | 245   | 225   | 1.5                | 272   | 259   |
| 24                              | 3                    | 353   | 324   | 2                  | 384   | 365   |
| 30                              | 3.5                  | 561   | 519   | 2                  | 621   | 596   |
| 36                              | 4                    | 817   | 759   | 2                  | 915   | 884   |
| 42                              | 4.5                  | 1 120   | 1 050   | 2                  | 1 260   | 1 230   |
| 48                              | 5                    | 1 470   | 1 380   | 2                  | 1 670   | 1 630   |
| 56                              | 5.5                  | 2 030   | 1 910   | 2                  | 2 300   | 2 250   |
| 64                              | 6                    | 2 680   | 2 520   | 2                  | 3 030   | 2 980   |
| 72                              | 6                    | 3 460   | 3 280   | 2                  | 3 860   | 3 800   |
| 80                              | 6                    | 4 340   | 4 140   | 1.5                | 4 850   | 4 800   |
| 90                              | 6                    | 5 590   | 5 360   | 2                  | 6 100   | 6 020   |
| 100                             | 6                    | 6 990   | 6 740   | 2                  | 7 560   | 7 470   |
| 110                             |                      |   |   | 2                  | 9 180   | 9 080   |

Fuente: Budynas, R & Nisbett, J, (2008) Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 2008

Mientras que el valor de la precarga,  $F_i$ , bajo la referencia [1] es:

$$\begin{aligned}
 F_i &= 0.75 * F_p && \text{para conexiones no permanentes} \\
 F_i &= 0.90 * F_p && \text{para conexiones permanentes}
 \end{aligned}
 \tag{ec 2.27}$$

Donde  $F_p$  es la carga de prueba, y se calcula mediante:

$$F_p = S_p * A_t \tag{ec 2.28}$$

Para comenzar los cálculos, se asumió un factor de seguridad inicial de  $\eta_c=3$

La constante de rigidez de la junta viene dada por

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} \quad (\text{ec 2.29})$$

Donde:

$k_b$ : rigidez del sujetador [N/m]

$k_m$ : rigidez del elemento [N/m]

Para fines de cálculos se suele aproximar que  $k_m = 6 \sim 8 k_b$ , por lo cual se comenzó asumiendo un valor de  $k_m = 6 k_b$ . Además se utilizó un empaque confinado metálico, pero para los cálculos, en la referencia [12] indica lo siguiente:

*“Todos los empaques confinados permiten que las superficies duras de las partes emparejadas entren en contacto, lo cual hace que la junta se comporte como si no tuviera empaque”*

Debido a este enunciado, fue posible despreñar el análisis del empaque en la junta. Por lo que al substituir los valores dentro de la ecuación 2.29, se obtuvo:

$$C = 0.14$$

Además reemplazando las ecuaciones 2.27 y 2.28 dentro de la ecuación 2.26 y despejando la carga de prueba, se obtiene:

$$F_p = 81891.6 \text{ N}$$

Por lo que, el área de esfuerzo necesaria en los pernos será de:

$$A_t = \frac{F_p}{S_p} \quad (\text{ec 2.30})$$

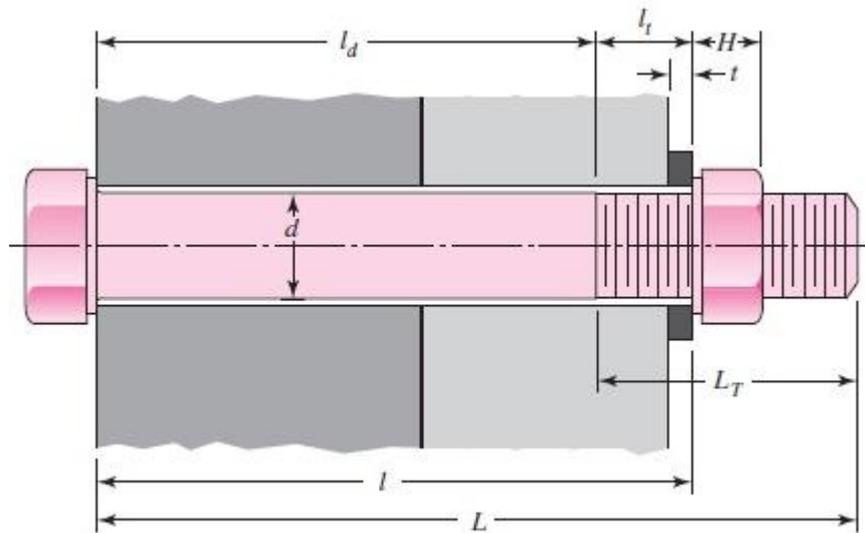
Reemplazando dentro de la ecuación 2.30

$$A_t = 1.26 \times 10^{-4} \text{ m}^2 (125.99 \text{ mm}^2)$$

Por consiguiente, los tornillos a utilizar en la junta fueron M16, estos poseen una  $A_t=156.67 \text{ mm}^2$ . Con este valor se procedió a recalcular el valor de la constante de rigidez de la junta y el factor de seguridad.

Para el cálculo de la rigidez del sujetador se siguió las medidas ilustradas en la figura 9 y viene expresada por:

$$k_b = \frac{A_t * A_d}{A_d l_t + A_t l_d} * E_d \quad (\text{ec 2.31})$$



**Figura 9. Medidas típicas de un sujetador**

Fuente: Budynas, R & Nisbett, J, (2008) Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 2008

Donde:

$A_t$ : área de la parte rosca [mm<sup>2</sup>]

$A_d$ : área de la parte sin rosca [mm<sup>2</sup>]

$l_t$ : longitud de la parte rosca en el agarre [mm]

$l_d$ : longitud de la parte sin rosca en el agarre [mm]

$E_d$ : módulo de elasticidad del perno [Gpa] ( $207 \times 10^9$ )

El área de la parte sin rosa se lo calcula mediante:

$$A_d = \frac{\pi * \phi^2}{4} \quad (\text{ec 2.32})$$

Reemplazando valores dentro de la ecuación 2.32:

$$A_d = 201.06 \text{ mm}^2$$

Mientras que la longitud roscada bajo la referencia [1], se puede aproximar a:

$$L_{\text{roscada}} = 2\phi + 6\text{mm} \quad (\text{ec 2.33})$$

Siguiendo la referencia [1] los valores para el espesor de la arandela, y tuerca vienen dados por las siguientes tablas 2.11 y 2.12.

**Tabla 2.11 Dimensiones de arandelas métricas simples (dimensiones en mm)**

| Tamaño de la arandela* | DI mínimo | DE máximo | Espesor máximo | Tamaño de la arandela* | DI mínimo | DE máximo | Espesor máximo |
|------------------------|-----------|-----------|----------------|------------------------|-----------|-----------|----------------|
| 1.6 N                  | 1.95      | 4.00      | 0.70           | 10 N                   | 10.85     | 20.00     | 2.30           |
| 1.6 R                  | 1.95      | 5.00      | 0.70           | 10 R                   | 10.85     | 28.00     | 2.80           |
| 1.6 W                  | 1.95      | 6.00      | 0.90           | 10 W                   | 10.85     | 39.00     | 3.50           |
| 2 N                    | 2.50      | 5.00      | 0.90           | 12 N                   | 13.30     | 25.40     | 2.80           |
| 2 R                    | 2.50      | 6.00      | 0.90           | 12 R                   | 13.30     | 34.00     | 3.50           |
| 2 W                    | 2.50      | 8.00      | 0.90           | 12 W                   | 13.30     | 44.00     | 3.50           |
| 2.5 N                  | 3.00      | 6.00      | 0.90           | 14 N                   | 15.25     | 28.00     | 2.80           |
| 2.5 R                  | 3.00      | 8.00      | 0.90           | 14 R                   | 15.25     | 39.00     | 3.50           |
| 2.5 W                  | 3.00      | 10.00     | 1.20           | 14 W                   | 15.25     | 50.00     | 4.00           |
| 3 N                    | 3.50      | 7.00      | 0.90           | 16 N                   | 17.25     | 32.00     | 3.50           |
| 3 R                    | 3.50      | 10.00     | 1.20           | 16 R                   | 17.25     | 44.00     | 4.00           |
| 3 W                    | 3.50      | 12.00     | 1.40           | 16 W                   | 17.25     | 56.00     | 4.60           |
| 3.5 N                  | 4.00      | 9.00      | 1.20           | 20 N                   | 21.80     | 39.00     | 4.00           |
| 3.5 R                  | 4.00      | 10.00     | 1.40           | 20 R                   | 21.80     | 50.00     | 4.60           |
| 3.5 W                  | 4.00      | 15.00     | 1.75           | 20 W                   | 21.80     | 66.00     | 5.10           |
| 4 N                    | 4.70      | 10.00     | 1.20           | 24 N                   | 25.60     | 44.00     | 4.60           |
| 4 R                    | 4.70      | 12.00     | 1.40           | 24 R                   | 25.60     | 56.00     | 5.10           |
| 4 W                    | 4.70      | 16.00     | 2.30           | 24 W                   | 25.60     | 72.00     | 5.60           |
| 5 N                    | 5.50      | 11.00     | 1.40           | 30 N                   | 32.40     | 56.00     | 5.10           |
| 5 R                    | 5.50      | 15.00     | 1.75           | 30 R                   | 32.40     | 72.00     | 5.60           |
| 5 W                    | 5.50      | 20.00     | 2.30           | 30 W                   | 32.40     | 90.00     | 6.40           |
| 6 N                    | 6.65      | 13.00     | 1.75           | 36 N                   | 38.30     | 66.00     | 5.60           |
| 6 R                    | 6.65      | 18.80     | 1.75           | 36 R                   | 38.30     | 90.00     | 6.40           |
| 6 W                    | 6.65      | 25.40     | 2.30           | 36 W                   | 38.30     | 110.00    | 8.50           |
| 8 N                    | 8.90      | 18.80     | 2.30           |                        |           |           |                |
| 8 R                    | 8.90      | 25.40     | 2.30           |                        |           |           |                |
| 8 W                    | 8.90      | 32.00     | 2.80           |                        |           |           |                |

N = angosta; R = regular; W = ancha.  
\*Igual que el tamaño del tornillo o perno.

Fuente: Budynas, R & Nisbett, J, (2008) Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 2008

**Tabla 2.12. Dimensiones de tuercas hexagonales**

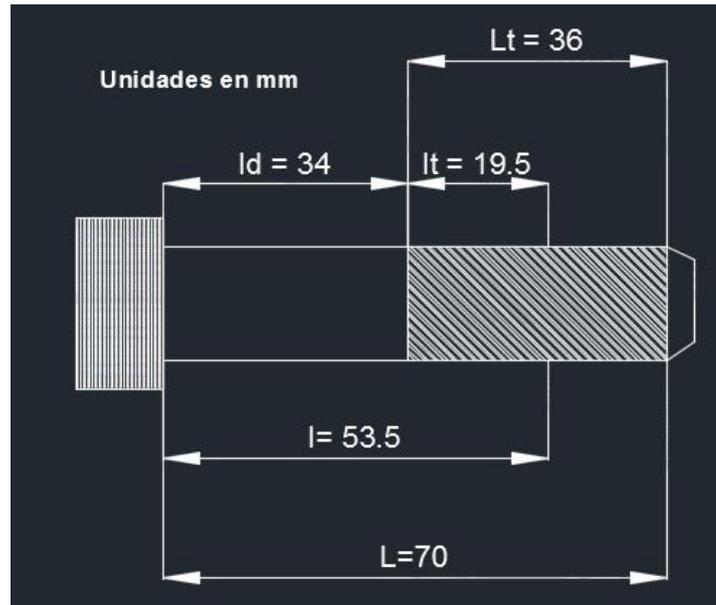
| Tamaño nominal, pulg | Ancho W          | Altura H          |                   |                 |
|----------------------|------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
|                      |                  | Hexagonal regular | Gruesa o ranurada | Contra-tuerca   |
| $\frac{1}{4}$        | $\frac{7}{16}$   | $\frac{7}{32}$    | $\frac{9}{32}$    | $\frac{5}{32}$  |
| $\frac{5}{16}$       | $\frac{1}{2}$    | $\frac{17}{64}$   | $\frac{21}{64}$   | $\frac{3}{16}$  |
| $\frac{3}{8}$        | $\frac{9}{16}$   | $\frac{21}{64}$   | $\frac{13}{32}$   | $\frac{7}{32}$  |
| $\frac{7}{16}$       | $\frac{11}{16}$  | $\frac{3}{8}$     | $\frac{29}{64}$   | $\frac{1}{4}$   |
| $\frac{1}{2}$        | $\frac{3}{4}$    | $\frac{7}{16}$    | $\frac{9}{16}$    | $\frac{5}{16}$  |
| $\frac{9}{16}$       | $\frac{7}{8}$    | $\frac{31}{64}$   | $\frac{39}{64}$   | $\frac{5}{16}$  |
| $\frac{5}{8}$        | $\frac{15}{16}$  | $\frac{35}{64}$   | $\frac{23}{32}$   | $\frac{3}{8}$   |
| $\frac{3}{4}$        | $1\frac{1}{8}$   | $\frac{41}{64}$   | $\frac{13}{16}$   | $\frac{27}{64}$ |
| $\frac{7}{8}$        | $1\frac{5}{16}$  | $\frac{3}{4}$     | $\frac{29}{32}$   | $\frac{31}{64}$ |
| 1                    | $1\frac{1}{2}$   | $\frac{55}{64}$   | 1                 | $\frac{35}{64}$ |
| $1\frac{1}{8}$       | $1\frac{11}{16}$ | $\frac{31}{32}$   | $1\frac{5}{32}$   | $\frac{39}{64}$ |
| $1\frac{1}{4}$       | $1\frac{7}{8}$   | $1\frac{1}{16}$   | $1\frac{1}{4}$    | $\frac{23}{32}$ |
| $1\frac{3}{8}$       | $2\frac{1}{16}$  | $1\frac{11}{64}$  | $1\frac{3}{8}$    | $\frac{25}{32}$ |
| $1\frac{1}{2}$       | $2\frac{1}{4}$   | $1\frac{9}{32}$   | $1\frac{1}{2}$    | $\frac{27}{32}$ |

| Tamaño nominal, mm |    |      |      |      |
|--------------------|----|------|------|------|
| M5                 | 8  | 4.7  | 5.1  | 2.7  |
| M6                 | 10 | 5.2  | 5.7  | 3.2  |
| M8                 | 13 | 6.8  | 7.5  | 4.0  |
| M10                | 16 | 8.4  | 9.3  | 5.0  |
| M12                | 18 | 10.8 | 12.0 | 6.0  |
| M14                | 21 | 12.8 | 14.1 | 7.0  |
| M16                | 24 | 14.8 | 16.4 | 8.0  |
| M20                | 30 | 18.0 | 20.3 | 10.0 |
| M24                | 36 | 21.5 | 23.9 | 12.0 |
| M30                | 46 | 25.6 | 28.6 | 15.0 |
| M36                | 55 | 31.0 | 34.7 | 18.0 |

Fuente: Budynas, R & Nisbett, J, (2008) Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 2008

Para el presente proyecto caso el diagrama del sujetador es mostrado en la figura 10:



**Figura 10. Longitudes del perno a utilizar**  
Elaborado por el autor

Reemplazando los valores dentro de la ecuación 2.31, se obtuvo la rigidez del sujetador:

$$k_b = 7.04 \times 10^8 \text{ N/m}$$

Para el cálculo de la rigidez del elemento se siguió:

$$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \dots + \frac{1}{k_i} \quad (\text{ec 2.34})$$

Como pueden existir más de dos elementos comprendidos en el agarre del sujetador, para el resultado final se tuvo en cuenta la constante de cada elemento. Como son 2 elementos de igual material y espesor ( $k_1=k_2$ ) bastó con calcular una sola constante, expresada por:

$$k_1 = \frac{0.577 * \pi * E * d}{\ln \left[ \frac{(1.155t + D - d) * (D + d)}{(1.155t + D + d) * (D - d)} \right]} \quad (\text{ec 2.35})$$

Donde:

D: diámetro mayor de presión [m]

d: diámetro del perno [m]

t: espesor del elemento [m]

E: módulo de elasticidad del elemento [Gpa]

Reemplazando dentro de la ecuación 2.35, se obtiene:

$$k_1 = 2.25 \times 10^9 \text{ N/m}$$

Teniendo en cuenta que son 2 elementos de igual material y espesor, la ecuación 2.34 se la puede plantear como:

$$k_m = k_1/2$$

Reemplazando valores, la rigidez del elemento:

$$k_m = 1.125 \times 10^9 \text{ N/m}$$

Una vez obtenidos los valores de la rigidez del sujetador y de los elementos, se recalculo la rigidez de la junta de la ecuación 2.29, por lo que reemplazando valores:

$$C = 0.40$$

Reemplazando los nuevos valores que se obtuvieron, el nuevo factor de seguridad de carga fue:

$$\eta_c = 1.3$$

### Factor de Separación

El factor de seguridad de separación, al ser un valor mayor a 1, nos otorga la certeza que la junta empernada se encontrara unida. Viene expresada por:

$$\eta_s = \frac{F_i}{P_{\text{perno}} * (1 - C)} \quad (\text{ec 2.36})$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.36, el factor de seguridad fue de:

$$\eta_s = 2.6$$

### 2.4.2. Diseño Bajo Normas

En esta sección se encontraron las necesidades de la junta rigiéndose bajo normativas, se utilizaron las mismas condiciones que en la sección anterior. En esta sección el empaque es tomado en cuenta, se seleccionó uno metálico de un diámetro externo de 660 mm (25.98 in) y diámetro interno de 600mm (23.62 in), las características del empaque en mención es dado por ASME y esta expresado en la tabla 2.13.

**Tabla 2.13. Materiales de empaque y caras de contacto**

| Gasket Material   | Gasket Factor <i>m</i> | Min. Design Seating Stress <i>y<sub>s</sub></i> , psi (MPa) | Sketches | Facing Sketch and Column in Table 2-5.2  |
|---|------------------------|---|----------|--|
| Corrugated metal:                                       |                        |   |          | (1a),(1b),(1c),(1d);<br>Column II  |
| Soft aluminum   | 2.75                   | 3,700 (26)  |          |  |
| Soft copper or brass                                    | 3.00                   | 4,500 (31)  |          |  |
| Iron or soft steel                                      | 3.25                   | 5,500 (38)  |          |  |
| Monel or 4%–6% chrome                                   | 3.50                   | 6,500 (45)  |          |  |
| Stainless steels and nickel-base alloys                 | 3.75                   | 7,600 (52)  |          |  |
| Flat metal, jacketed asbestos filled:                   |                        |   |          | (1a),(1b),(1c), <sup>2</sup><br>(1d) <sup>2</sup> ;(2) <sup>2</sup> ;<br>Column II |
| Soft aluminum   | 3.25                   | 5,500 (38)  |          |  |
| Soft copper or brass                                    | 3.50                   | 6,500 (45)  |          |  |
| Iron or soft steel                                      | 3.75                   | 7,600 (52)  |          |  |
| Monel   | 3.50                   | 8,000 (55)  |          |  |
| 4%–6% chrome<br>Stainless steels and nickel-base alloys | 3.75<br>3.75           | 9,000 (62)<br>9,000 (62)                                    |          |  |
| Grooved metal:  |                        |   |          | (1a),(1b),(1c),(1d),<br>(2),(3); Column II   |
| Soft aluminum   | 3.25                   | 5,500 (38)  |          |  |
| Soft copper or brass                                    | 3.50                   | 6,500 (45)  |          |  |
| Iron or soft metal                                      | 3.75                   | 7,600 (52)  |          |  |
| Monel or 4%–6% chrome                                   | 3.75                   | 9,000 (62)  |          |  |
| Stainless steels and nickel-base alloys                 | 4.25                   | 10,100 (70)   |          |  |
| Solid flat metal:                                       |                        |   |          | (1a),(1b),(1c),(1d),<br>(2),(3),(4),(5);<br>Column I                               |
| Soft aluminum   | 4.00                   | 8,800 (61)  |          |  |
| Soft copper or brass                                    | 4.75                   | 13,000 (90)   |          |  |
| Iron or soft steel                                      | 5.50                   | 18,000 (124)  |          |  |
| Monel or 4%–6% chrome                                   | 6.00                   | 21,800 (150)  |          |  |
| Stainless steels and nickel-base alloys                 | 6.50                   | 26,000 (179)  |          |  |
| Ring joint:   |                        |   |          | (6); Column I  |
| Iron or soft steel                                      | 5.50                   | 18,000 (124)  |          |  |
| Monel or 4%–6% chrome                                   | 6.00                   | 21,800 (150)  |          |  |
| Stainless steels and nickel-base alloys                 | 6.50                   | 26,000 (179)  |          |  |

Fuente: ASME VIII (2002), Rules for construction of pressure vessels

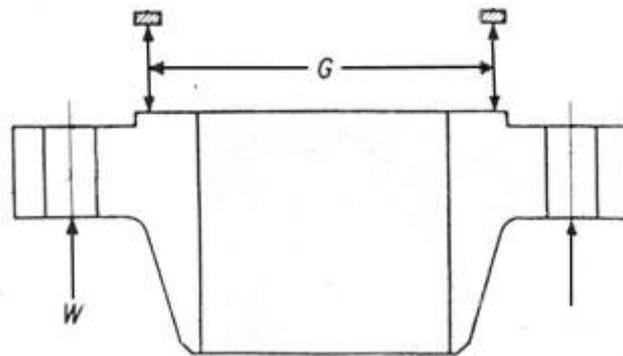
Se comenzó calculando la carga a la que estarían sometidos el conjunto de pernos, esta es expresada por:

$$W_m = H + H_p \quad (\text{ec 2.37})$$

Donde:

H: fuerza sobre el perno [lb]

H<sub>p</sub>: fuerza sobre el empaque [lb]



**Figura 11. Ubicación y distancias de empaque en la brida**

Fuente: ASME VIII (2002), Rules for construction of pressure vessels

$$H = \frac{\pi}{4} * G^2 * P \quad (\text{ec 2.38})$$

Donde:

G: distancia entre centros de empaque [in]

Reemplazando en la ecuación 2.38 la fuerza sobre el perno fue:

$$H = 120762.82 \text{ lb}$$

La fuerza sobre el empaque esta expresada por:

$$H_p = 2\pi * b * G * m * P \quad (\text{ec 2.39})$$

Donde:

m: factor de empaque [in]

b: asentamiento efectivo [in]

El factor de empaque se encuentra tabulado en la tabla 2.13.

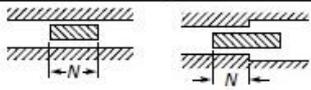
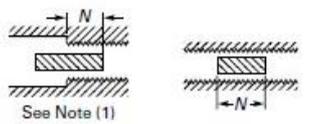
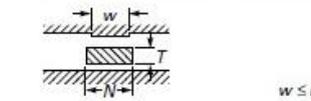
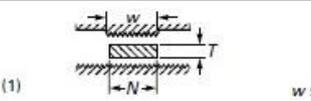
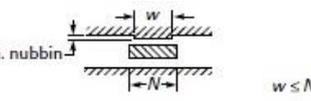
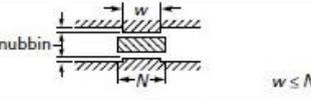
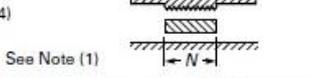
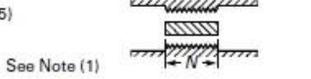
El valor del asentamiento efectivo depende de las condiciones de asentamiento y la cara de la brida donde;

$$\text{Si } b_0 < 1/4", \text{ entonces: } \quad b = b_0 \quad (\text{ec 2.40})$$

$$\text{Si } b_0 > 1/4", \text{ entonces: } \quad b = \frac{\sqrt{b_0}}{2} \quad (\text{ec 2.41})$$

$B_0$  se halla por la tabla 2.14, donde N es el ancho medible del empaque. Para este caso el diagrama de asentamiento del empaque se lo asumió como la ilustración (1a) de la tabla en mención.

**Tabla 2.14. Espesor efectivo de empaque**

| Facing Sketch (Exaggerated)   | Basic Gasket Seating Width $b_g$                       |  |
|---|--|--|
|   | Column I   | Column II  |
| (1a)                             |  |  |
| (1b) <br>See Note (1)            | $\frac{N}{2}$  | $\frac{N}{2}$  |
| (1c) <br>$w \leq N$              | $\frac{w + T}{2}; \left(\frac{w + N}{4}\right)_{\max}$ | $\frac{w + T}{2}; \left(\frac{w + N}{4}\right)_{\max}$ |
| (1d) <br>See Note (1) $w \leq N$ |  |  |
| (2) <br>$w \leq N/2$             | $\frac{w + N}{4}$                                      | $\frac{w + 3N}{8}$                                     |
| (3) <br>$w \leq N/2$             | $\frac{N}{4}$  | $\frac{3N}{8}$   |
| (4) <br>See Note (1)             | $\frac{3N}{8}$   | $\frac{7N}{16}$  |
| (5) <br>See Note (1)             | $\frac{N}{4}$  | $\frac{3N}{8}$   |

Fuente: ASME VIII (2002), Rules for construction of pressure vessels

Reemplazando los valores para la ecuación 2.41, se obtuvo:

$$b = 0.38$$

De la ecuación 2.39, la fuerza sobre el empaque fue de:

$$H_p = 81417.52 \text{ lb}$$

Reemplazando los valores dentro de la ecuación 2.37, la carga sometida al conjunto de pernos fue de:

$$W_m = 202180.34 \text{ lb}$$

Dado que se asumirá el uso de los mismos pernos M16 de grado 9.8, el área total apernada y el número de pernos a utilizar será:

$$A_b = \frac{W_m}{S_p} \quad (\text{ec 2.42})$$

$$A_b = 2.15 \text{ in}^2$$

Por lo que, el número de pernos necesarios para suplir el área total apernada esta expresada por:

$$N_{pernos} = \frac{A_b}{A_i} \quad (\text{ec 2.43})$$

Donde:

$A_i$ : área de raíz del perno [ $\text{in}^2$ ]

Reemplazando la ecuación 2.43:

$$N_{pernos} = 8.8 = 9 \text{ pernos}$$

## 2.5. Proceso de soldadura

Por su parte a lo que concierne al proceso de soldadura, se siguió la Norma ASME IX, la cual es la encargada de la calificación de la soldadura y soldador. En conjunto con las normas de American Welding Society (AWS) se establecen los parámetros para calificar que el proceso de soldadura fuese aceptable.

ASME IX agrupa los diferentes materiales base dependiendo de sus propiedades físico-químicas, mediante los “Grupos-P”. Estos son conjuntos de diferentes materiales base que presentan propiedades muy similares, las cuales son las que condicionan la soldabilidad. Al tener agrupado estos materiales es mucho más cómodo elegir los materiales de aportación.

**Tabla 2.15 Designación de Grupos “P” según ASME**

| ASME                   |                       |         | DIN              |
|------------------------|-----------------------|---------|------------------|
| Designación            | Composición química   | Grupo P | Designación      |
| Aceros al C-Mn-Si      |                       |         |                  |
| SA-105                 | C-Si                  | 1       | St-34            |
| SA-106 Gr. A/B/C       | C-Si                  |         | St-35            |
| SA-179                 | C                     |         | St-37            |
| SA-181 Cl. 60/70       | C-Si                  |         | St-45            |
| SA-266 Cl. 1/2/3       | C-Si                  |         | St-46            |
| SA-283 Gr. A/B/C/D     | C                     |         | St-52            |
| SA-285 Gr. A/B/C       | C                     |         | St-35.8          |
| SA-333 Gr. 1/6         | C-Mn/C-Mn-Si          |         | St-45.8          |
| SA-334 Gr. 1/6         | C-Mn/C-Mn-Si          |         | H-I/ H-II/ H-III |
| SA-350 Gr. LF1/LF2     | C-Mn-Si               |         | 17 Mn 4          |
| SA-515 Gr. 55/60/65/70 | C-Si                  |         | 19 Mn 5          |
| SA-516 Gr. 55/60/65/70 | C-Si/C-Mn-Si          |         |                  |
| Aceros al C-Mo         |                       |         |                  |
| SA-182 Gr. F1/F2       | C- 1/2 Mo             | 3       | 15-Mo 3          |
| SA-204 Gr. A/B/C       | C- 1/2 Mo             |         | 16-Mo 5          |
| SA-209 Gr. T1/T1a/T1b  | C- 1/2 Mo             |         | 22-Mo 4          |
| SA-213 Gr. T2          | C- 1/2 Mo             |         |                  |
| SA-250 Gr. T1/T1a/T1b  | C- 1/2 Mo             |         |                  |
| SA-302 Gr. A/B/C/D     | C- 1/2 Mo             |         |                  |
| SA-335 Gr. P1/P2/P15   | C- 1/2 Mo             |         |                  |
| SA-387 Gr. 2           | C- 1/2 Mo             |         |                  |
| SA-533 Gr. A/B/C/D     | C- 1/2 Mo             |         |                  |
| Aceros al C-Cr-Mo      |                       |         |                  |
| SA-182 Gr. F11/F12     | C-1 1/2 Cr- 1/2 Mo-Si | 4       | 25 Cr Mo 4       |
| SA-199 Gr. T3b/T11     | C-1 1/4 Cr- 1/2 Mo-Si |         | 24 Cr Mo 5       |
| SA-202 Gr. A/B         | C- 1/2 Cr-1 1/4 Mn-Si |         | 13 Cr Mo 44      |
| SA-213 Gr. T3b/T11/T12 | C-1 1/4 Cr- 1/2 Mo-Si |         |                  |
| SA-335 Gr. P11/P12     | C-1 1/4 Cr- 1/2 Mo-Si |         |                  |
| SA-387 Gr. 11/12       | C-1 1/4 Cr- 1/2 Mo-Si |         |                  |

Fuente: ASME VIII (2002), Rules for construction of pressure vessels

Por su parte, la AWS presenta los diferentes materiales de aportación necesarios para soldar los distintos tipos de materiales base. Para la soldadura de electrodo recubierto, el material de aportación se clasifica mediante:

**Tabla 2.16 Materiales de aporte según los grupos "P"**

| Proceso                                       | Material de base (Grupo) | MATERIALES DE APORTACION  |  |
|---|--------------------------|---|--|
|   |                          | A. W. S.  | Nombre comercial   |
| SOLDADURA MANUAL CON ELECTRODO RECUBIERTO (E) | P-1                      | E-6013<br>E-7016<br>E-7018<br><br>E-7024<br>E-80XX-C1/C3                        | OK-46.00/Primafixe / CM-3134<br>Superano 2/Ductilend 55E / PH-36<br>OK-48.00/Cometa Jaune 50/Amsa Básico 52<br>Phoenix 120 K<br><br>OK-33.80<br>Amsa Básico Ni/CM-424K/UZ-57/OK-73.68/<br>SH-Schwarz 3 K Ni  |
|   | P-3                      | E-7015-A1<br>E-7018-A1  | CM-4134K/CM-374K / KV-2 / OK-74.78 /<br>SH-Schwarz 3 MK  |
|   | P-4                      | E-8015/18-B2  | KV-5/UZ-41 / OK-76.18 / SH-kupfer 1K   |
|   | P-5                      | E-9015/18-B3<br>E-502-15  | KV-3/UZ-42 / OK-76.28<br>KV-4/UZ-43 / OK-83.50   |
|   | P-7                      | 13 Cr / 4 Ni  | Citrocrom 13/4   |
|   | P-9 B                    | E 8018-C2   | Fortrex N/UZ-59  |
|   | P-11 A                   | —   | Grinox Skola 41 / Grinox Skola 61  |
|   |                          | Tipo Inconel  | UTP-068 HH/Monel 190 / Incoweld A /<br>UTP-80 Ni/Inconel 182 / UTP-7015  |
|   | T 1 A                    | E-9015/18-G   | Elastano 70/ CM-4144K / PH-95 / PH-118   |
|   | P-8                      | E-308<br>E-308 L<br>E-309<br><br>E-309 Mo<br>E-316<br>E-316 L<br>E-318<br>E-347 | Avesta 832 MV/Soudocrom 308/Safinox 18/8<br>Avesta 832 MVR /UZ-18-8-0<br>Soudocrom 309/Arosta 309 S/UTP-6824<br><br>Avesta P 5/Avesta P4/OK-67.75<br>Avesta 832 SK/OK-63.25/OK-63.35/PH-RS<br>Avesta 832 SKR/UZ-18/8/3<br>Avesta 832 SKNb/PH-RSM<br>Avesta 832 MVNb/PH-RSS |

Fuente: ASME VIII (2002), Rules for construction of pressure vessels

Para la aprobación del proceso de soldadura se someterá a radiografía total, la cual será juzgada como inaceptable cuando en la radiografía presente cualquiera imperfección fuera de los límites presentados a continuación:

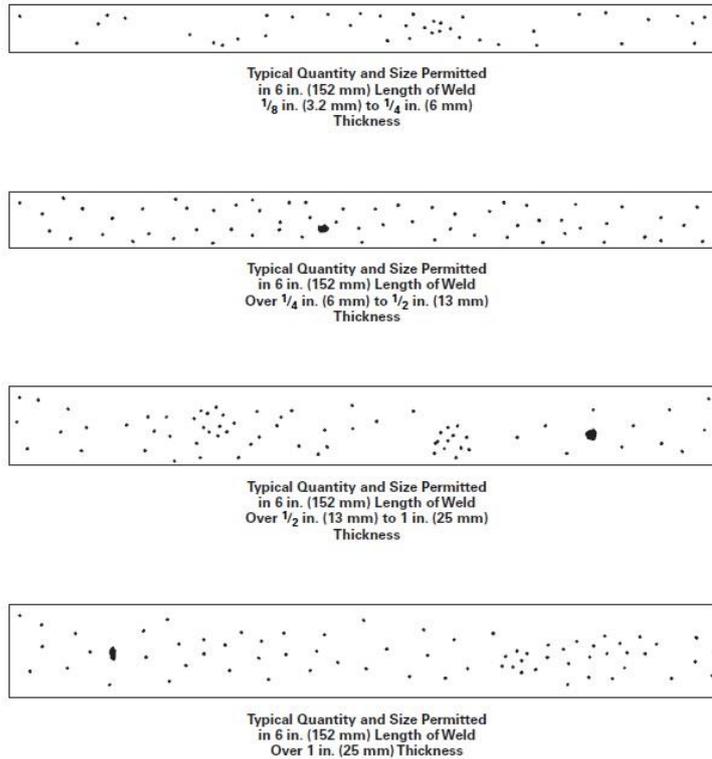
a) Indicaciones lineales

1. Cualquier tipo de grieta o zona incompleta de fusión o penetración.
2. Cualquier inclusión de escoria alargada, la cual su longitud sea mayor a:
  - (a) 1/8 in (3.2 mm), para un "t" máximo de 3/8 in (10 mm)
  - (b) 1/3 t, para un "t" entre 3/8 in (10 mm) y 2.25 in (57 mm)
  - (c) 3/4 in (19 mm), para un "t" mayor a 2.25 in (57 mm)
3. Cualquier grupo de inclusión de escoria en línea, en la cual su suma sea mayor que "t" en una longitud de 12t, excepto cuando la distancia entre dos imperfecciones sucesivas sea mayor a 6L, donde L es la longitud mayor imperfección en el grupo.

b) Indicaciones redondeadas

1. La dimensión máxima permisible será la que sea menor entre el 20% de "t" o 1/8 in (3.2 mm).
2. Para soldaduras donde el espesor del material sea menor a 1/8 in (3.2 mm), el número máximo aceptable de indicaciones redondeadas no será mayor a 12, dentro de una longitud de 6 in (152 mm) de soldadura. Un número proporcional menor de indicaciones redondeadas será permitido en una soldadura con longitud menor a 6 in (152mm)
3. Para soldaduras en materiales donde el espesor es de 1/8 in (3.2 mm) o más, las gráficas presentadas a continuación representan los máximos tipos de indicaciones redondeadas, estas son ilustradas en formas típicas ya sean agrupadas, variadas y configuraciones dispersas al azar. Indicaciones redondeadas con un diámetro menor a 1/32 in (0.8 mm), no serán consideradas en las pruebas radiográficas de aceptación para soldadura y soldadores, siempre que y cuando los materiales se encuentren en este rango de espesores. Estos patrones son presentados en la figura 7.

Los formatos para las calificaciones de soldadura, procedimiento y soldador pueden ser observados en la sección de anexos.



**Figura 12. Indicaciones redondeadas máximas para espesor mayor a 1/8”**

Fuente: ASME IX (2003), qualification standar for welding and brazing

## 2.6. Preparación Superficial

Se siguió el proceso de los manuales de pintura Steel Structures Painting Council (SSPC), volúmenes I y II. Los documentos en mención indican que todas las superficies a ser revestidas deberán ser limpiadas con abrasivo de granalla, de acuerdo al sistema de revenido y a las especificaciones que se utilizaría para la preparación de la superficie.

### 2.6.1. Preparación antes del limpiado.

Todas las protuberancias de soldadura, escorias, salpicado de soldadura, rebabas y proyecciones con superficies puntiagudas se deben remover antes del limpiado. Cualquier superficie esmerilado después de la limpieza debe ser limpiada nuevamente con abrasivo con granalla para obtener un patrón de anclaje adecuado.

Toda la fabricación y perforación de agujeros para los pernos debe hacerse antes del limpiado con abrasivo con granalla.

Los elementos que puedan dañarse con la limpieza con abrasivo con granalla, deben desmontarse o sacarse de acuerdo con la recomendación del fabricante.

Tanto la preparación de la superficie como la aplicación de la pintura se deben hacer de acuerdo con las recomendaciones e instrucciones del fabricante de los productos utilizados.

### **2.6.2. Limpieza con Granalla**

Las superficies no deben limpiarse cuando está lloviendo o cuando haya viento, neblina, o cuando las superficies estén húmedas o puedan humedecerse antes de la aplicación de lo imprimación.

Todo el aceite, grasa, polvo o materia extraña depositada sobre la superficie, después de la preparación de la misma, debe removerse antes de aplicar la pintura. En caso de que haya herrumbre después de terminar de preparar la superficie, ésta debe limpiarse nuevamente de acuerdo con el método especificado.

### **2.6.3. Pintura**

El sistema a utilizar para el exterior será: Zinc Silicato Inorgánico – Epoxi Mastic – Poliuretano.

En la primera mano; donde se realiza la preparación de la superficie, el chorro de abrasivo al grado mínimo SA. 2 – ½ (SSPC-SP-10) con un anclaje de 1 a 2 mils. Rápidamente después de la limpieza superficial, aplicar una mano de pintura del tipo Zinc silicato inorgánico, de color gris, con pistola “airless” proporcionando un tiempo, de acuerdo al fabricante, para el secado. Al término, la película deber tener un espesor de 3 mils.

Para la segunda mano se me emplea la pintura de tipo Epoxica Mastic, de color blanco, y aplicada con el mismo sistema de pistola tipo “airless”. El espesor de película seca debe ser de 5 mils.

Para concluir este proceso; se aplica la pintura tipo Poliuretano, de color blanco brillante, aplicada con pistola “airless”. Obteniendo un espesor de película seca de 2 mils.

Estos procesos deben realizarse únicamente cuando las condiciones ambientales de humedad relativa y temperatura, llenen los requisitos de aplicación estipulados por el fabricante.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS DEL DISEÑO

### 3.1. Análisis de resultados

Como se lo plantea inicialmente, el objetivo es diseñar un vaporizador para GLP con una capacidad de 320 kg/h, basado en modelos matemáticos y físicos conocidos además de cumplir las normas ecuatorianas e internacionales que rigen este tipo de diseños. Además que los elementos constituyentes sean adquiridos en el mercado ecuatoriano.

Expuesto lo anterior, en el presente capítulo se presentan los resultados y los modelos utilizados para realizar los cálculos del capítulo 2.

Como parte del diseño térmico, se utilizó un modelo en la cual el GLP es tratado como ebullición de alberca nucleada. Considerando que se diseñó con un rango de temperatura del agua; entre 70°C y 60°C, eficiente para la vaporización total del GLP. El flujo másico de 0.8186 kg/s calculado será suficiente para lograr aportar los 34215.82 J/s necesarios para la tasa de vaporización planteada.

Para lograr la mejor selección del diámetro de tubería en la que circulara el agua, se analizó distintos tamaños hasta encontrar el más indicado para el diseño. La selección de una tubería de 2" se dio en base a un equilibrio entre parámetros de disponibilidad en el mercado y longitud final de la tubería. En la tabla 3.1 se muestra la variación de parámetros al aumentar el diámetro de tubería.

**Tabla 3.1 Variación de parámetros al aumentar diámetro de tubería**

| Re | Nu | h | q'' | q <sub>max</sub> | Longitud | T <sub>sup</sub> | ΔT <sub>e</sub> |
|----|----|---|-----|------------------|----------|------------------|-----------------|
| ↓  | ↓  | ↓ | ↓   | const            | ↑        | ↓                | ↓               |

Para el caso de una disminución de diámetro, para todos los parámetros presentados en la tabla 21 ocurre lo contrario, en excepción del q<sub>max</sub> que se mantiene constante.

En la tabla 3.2 se presentan los valores de la longitud necesaria para cada diámetro de tubería analizada. Estos datos son una vez que efectuó la convergencia de la temperatura de superficie, esta también es presentada en la tabla en mención.

**Tabla 3.2 Valores de Propiedades a diferentes diámetros de tubería**

| $\emptyset$ | Re       | Nu     | h<br>[W/m <sup>2</sup> K] | q'' [W/m <sup>2</sup> ] | q <sub>max</sub><br>[W/m <sup>2</sup> ] | Long<br>[m] | T <sub>sup</sub><br>[K] | $\Delta T_e$<br>[K] |
|-------------|----------|--------|---------------------------|-------------------------|---|-------------|-------------------------|---------------------|
| 2"          | 47361,96 | 204,39 | 2649                      | 58139,43                | 188929,9                                | 3,69        | 315,63                  | 14,74               |
| 3"          | 33049,28 | 151,21 | 1367,52                   | 31129,05                | 188929,9                                | 4,81        | 312,86                  | 11,97               |
| 4"          | 23680,98 | 114,34 | 740,98                    | 19623,60                | 188929,9                                | 5,46        | 311,15                  | 10,26               |

Para considerar un régimen turbulento debe cumplirse que  $Re > 10000$  [2], por lo que los datos presentados en la tabla 3.2, indica que el flujo es turbulento. Esto es lo más recomendado al momento de tener transferencia de calor, ya que la transferencia de calor se favorece mediante el incremento del coeficiente convectivo.

El modelo de ebullición para el presente proyecto se asemeja al de la ebullición por alberca nucleada, donde el flujo de calor crítico para el GLP será de 188929.91 W/m<sup>2</sup>, este valor se encuentra por encima del valor de flujo de calor suministrado que es de 58139,43 W/m<sup>2</sup>. Si sobrepasamos los 22.26 K que es el exceso de temperatura para el flujo de calor crítico mínimo; el flujo de calor comienza a disminuir, ya que en la superficie del material comienza a formarse una película solo de vapor lo cual disminuye el flujo de calor debido a que el coeficiente convectivo del vapor es menor que el del GLP. Lo más recomendable para la transferencia de calor es que se mantenga en este régimen de ebullición nucleada.

**Tabla 3.3. Comparación de flujo de calor y calor máximo**

|                                      | T <sub>sat</sub> (°K) | T <sub>sup</sub> (°K) | $\Delta T_e$ (°K) |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| q <sub>max</sub> [W/m <sup>2</sup> ] | 300.89                | 323.158               | 22.268            |
| q'' [W/m <sup>2</sup> ]              | 300.89                | 315.636               | 14.746            |

En la tabla 3.3 se muestra la comparación entre las temperaturas del flujo de calor que se obtuvo en el diseño, frente al máximo flujo de calor posible. El flujo de calor máximo

se efectuará cuando la temperatura de exceso obtenga un valor de 22.268 K, unos 7 K por encima del diseño planteado. Por lo que se busca siempre operar una superficie de transferencia de calor cerca de este punto, pero no sobrepasarlo.

Bajo la norma ASME VII división 1, se logró calcular un espesor mínimo requerido de 4.34 mm para el diseño del cuerpo. Dado que en el mercado ecuatoriano se encuentran espesores mínimos de 6.35 mm (1/4 in) el diseño fue teniendo en cuenta este espesor comercial. Lo cual nos otorga un factor de seguridad de 1.5 en la selección del espesor.

Diseñando bajo las indicaciones de las normas, el número de pernos requerido para el conjunto de bridas es de 9. Al utilizar este valor de pernos en la sección de diseño por factores de seguridad, los nuevos valores serían de 1.2 y 2.4 para los factores de carga y separación respectivamente. Lo cual nos indica que siguen cumpliendo los requerimientos de la junta bridada.

### 3.2. Análisis de Costos

El análisis de costo de diseño y fabricación del vaporizador se hace mediante cotizaciones de precios en el mercado ecuatoriano y se presentan en la tabla 3.4.

**Tabla 3.4. Presupuesto de materiales y accesorios**

| Ítem | Descripción   | Cantidad (uni) | Precio unitario (\$) | Precio total (\$) |
|------|---|----------------|----------------------|-------------------|
| 2    | Tub. Sin cost Ø 2"x5800 e=3.4 mm ASTM A192                      | 1              | 24,55                | 24,55             |
| 3    | Pernos M16x70mm Clase 9.8                                       | 10             | 1,45                 | 14,50             |
| 4    | Arandela plana 16N (ISO 7089)                                   | 20             | 0,25                 | 5,00              |
| 5    | Anillo de presión 16N (DIN 128)                                 | 10             | 0,25                 | 2,50              |
| 6    | Tuerca cabeza hex 16N (ISO 8673)                                | 10             | 0,40                 | 4,00              |
| 7    | Brida Forjada con asiento para soldar SW Serie 300, Ø 24"       | 1              | 518,36               | 518,36            |
| 8    | Brida ciega Forjada con asiento para soldar SW Serie 300, Ø 24" | 1              | 744,69               | 744,69            |
| 9    | Empaque metálico Ø 24"  | 1              | 47,84                | 47,84             |
| 10   | Válvula de servicio 2"  | 1              | 35,12                | 35,12             |

|    |                                      |   |       |         |
|----|--------------------------------------|---|-------|---------|
| 11 | Válvula de alivio de presión REGO 1" | 1 | 45,12 | 45,12   |
| 12 | Válvula liquid-safe REGO 1"          | 1 | 80,00 | 80,00   |
| 13 | Perfiles para bases A36              | 3 | 30,00 | 90,00   |
|    | TOTAL                                |   |       | 4567,22 |

### 3.2.1. Mano de obra

En base a la elaboración del diseño, todos los materiales serán llevados hacia el taller, en el cual, se efectuará los trabajos listados a continuación:

- Cortado de planchas
- Rolado de planchas
- Fabricación del domo
- Ensamble general

En base a que el proceso de soldadura deberá ser elaborado por un soldador calificado, este costo será independiente del taller. Teniendo en cuenta el rendimiento del soldador y los 13.43 metros lineales de soldadura a efectuarse, el tiempo estimado; es de 1 día laboral.

El análisis radiográfico tiene un costo de \$40 por cada metro lineal radiografiado al 100%. El tratamiento superficial y proceso de pintado tienen un costo de \$25 y \$4 respectivamente por cada metro cuadrado. El área total a tratar es de 14.55 m<sup>2</sup>. Por lo que los valores de diseño y construcción son presentados en la tabla 3.5.

**Tabla 3.5. Costos totales de diseño y construcción**

| Ítem | Categoría               | Precio  |
|------|-------------------------|---------|
| 1    | Materiales y elementos  | 4567,22 |
| 2    | Ensamble                | 3500,00 |
| 3    | Soldadura               | 120,00  |
| 4    | Análisis de soldadura   | 560,00  |
| 5    | Tratamiento Superficial | 435,00  |
| 6    | Transporte              | 400,00  |
|      | Subtotal(1)             | 9582,22 |

|   |                     |          |
|---|---------------------|----------|
| 7 | Diseño e Ingeniería | 3353,78  |
| 8 | Imprevisto varios   | 479,11   |
|   | Subtotal(2)         | 13415,11 |
|   | IVA 12%             | 1609,81  |
|   | Total               | 15024,92 |

Se presenta la tabla 3.6, en donde se efectúa una comparación entre el vaporizador diseñado frente a uno importado de similares características.

**Tabla 3.6 Tabla comparativa de vaporizadores**

|                                | Vaporizador Nacional | Vaporizador Importado |
|--------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Capacidad de vaporización      | 320 kg/h             | 320 kg/h              |
| Área de Transferencia de calor | 0.59 m <sup>2</sup>  | 0.75 m <sup>2</sup>   |
| Peso                           | 410 kg               | 375 kg                |
| Altura (aprox)                 | 2500 mm              | 2300 mm               |
| Diámetro (aprox)               | 775mm                | 800 mm                |
| Precio                         | \$ 15024,92          | \$ 30800              |

Una de las principales diferencias que se puede observar es el peso del diseño nacional, se utilizó planchas de 6.35 mm aunque el requerimiento era de 4.34 mm, esto fue debido a que en el mercado ecuatoriano este es el espesor que se encuentra comercialmente.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

Se demostró que la alternativa del diseño y fabricación de este equipo es viable, ya que en el país se logra adquirir los materiales y elementos para conformarlo en base este diseño planteado.

Bajo los parámetros de diseño, el material para el cuerpo y el domo soportan la presión de diseño ejercida sobre sus paredes.

El costo estimado para el diseño y fabricación del vaporizador en el Ecuador es de \$15024,92 dólares americanos, 51.22% más económico que adquirir uno importado. Debido a esto, su fabricación en el país es aceptable ya que reduce en gran cantidad los gastos por importación.

Al realizar el diseño y construcción en el país, se generan nuevas fuentes de trabajo lo cual aporta al cambio de la matriz productiva impulsado por el gobierno ecuatoriano.

### 4.2. Recomendaciones

Aunque el diseño presentado posee dos sistemas de seguridad; uno para la sobre presión y otro para el paso del líquido a la línea de fase gaseosa, existen nuevos sistemas de seguridad que se recomienda emplear, basados en circuitos y sensores eléctricos.

Para el tratamiento superficial, la granalla mineral expuesta en los manuales de SSPC se la debería cambiar por una granalla de acero. Ya que por experiencia de la persona que se consultó sobre el tema, la granalla mineral no cumple lo solicitado al momento de realizar el trabajo.

Se recomienda no utilizar otro tipo de tratamiento superficial, puesto que el análisis presentado es para que el equipo tenga un tiempo de vida útil de aproximadamente 30 años. Alterar lo especificado puede acortar este tiempo.

## BIBLIORAFÍA

1. Budynas, R. & Nisbett, J. (2008). "Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley" 8va ed. Mexico: McGraw-Hill.
2. Incropera, F., & Dewitt, D. (1999). "Fundamentos de Transferencia de Calor", 4ta ed. Mexico: Prentice Hall.
3. White, F. (1999). "Fluid Mechanics". USA: McGraw-Hill.
4. Roshenow, W., Hartnett, J., & Cho, Y. (1998). "Handbook of heat Transfer" 3th ed. USA: McGraw-Hill.
5. Younglove, B., & Ely, J. (1986). "Thermophysical Properties of Fluids. II. Methane, Ethane, Propane, Isobutane and Normal Butane"
6. Vogel, E., Kuchenmeister, C., & Bich, E. (1998). "Reference Correlation of the Viscosity of Propane"
7. Lide, D.. (2005). "CRC Handbook of Chemistry and Physics, Internet Version". New York
8. McAllister, S., Yuan, J., & Fernandez, A. (2011). "Fundamentals Of Combustion Processes". New York: Springer.
9. Lorenzo, J. (1989). "Los G.L.P.". Madrid: Edición de Marketing.
10. Asme section VIII, división 1. (2002). "Rules for Construction of Pressure Vessels". New York
11. Asme section IX. (2003). "Qualification standar for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators". New York
12. Norton, R. (2011). "Diseño de Maquinas, 4ta ed". Mexico: Prentice Hall.



**QW-482 (Back)**

WPS No. \_\_\_\_\_ Rev. \_\_\_\_\_

|   |   |           |                     |  |  |  |         |           |           |           |       |       |       |          |       |       |       |         |       |       |       |
|---|---|-----------|---------------------|--|--|--|---------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|
| <b>POSITIONS (QW-405)</b><br>Position(s) of Groove _____<br>Welding Progression: Up _____ Down _____<br>Position(s) of Fillet _____   | <b>POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)</b><br>Temperature Range _____<br>Time Range _____  |           |                     |  |  |  |         |           |           |           |       |       |       |          |       |       |       |         |       |       |       |
| <b>PREHEAT (QW-406)</b><br>Preheat Temp. Min. _____<br>Interpass Temp. Max. _____<br>Preheat Maintenance _____<br>(Continuous or special heating where applicable should be recorded) | <b>GAS (QW-408)</b> <table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td></td> <td align="center" colspan="2">Percent Composition</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td align="center">Gas(es)</td> <td align="center">(Mixture)</td> <td align="center">Flow Rate</td> </tr> <tr> <td>Shielding</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Troiling</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Backing</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> </table> |           | Percent Composition |  |  |  | Gas(es) | (Mixture) | Flow Rate | Shielding | _____ | _____ | _____ | Troiling | _____ | _____ | _____ | Backing | _____ | _____ | _____ |
|   | Percent Composition   |           |                     |  |  |  |         |           |           |           |       |       |       |          |       |       |       |         |       |       |       |
|   | Gas(es)   | (Mixture) | Flow Rate           |  |  |  |         |           |           |           |       |       |       |          |       |       |       |         |       |       |       |
| Shielding   | _____   | _____     | _____               |  |  |  |         |           |           |           |       |       |       |          |       |       |       |         |       |       |       |
| Troiling  | _____   | _____     | _____               |  |  |  |         |           |           |           |       |       |       |          |       |       |       |         |       |       |       |
| Backing   | _____   | _____     | _____               |  |  |  |         |           |           |           |       |       |       |          |       |       |       |         |       |       |       |

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)**  
 Current AC or DC \_\_\_\_\_ Polarity \_\_\_\_\_  
 Amps (Range) \_\_\_\_\_ Volts (Range) \_\_\_\_\_  
 (Amps and volts range should be recorded for each electrode size, position, and thickness, etc. This information may be listed in a tabular form similar to that shown below.)

Tungsten Electrode Size and Type \_\_\_\_\_  
 (Pure Tungsten, 2% Thoriated, etc.)

Mode of Metal Transfer for GMAW \_\_\_\_\_  
 (Spray arc, short circuiting arc, etc.)

Electrode Wire feed speed range \_\_\_\_\_

**TECHNIQUE (QW-410)**  
 String or Weave Bead \_\_\_\_\_  
 Orifice or Gas Cup Size \_\_\_\_\_  
 Initial and Interpass Cleaning (Brushing, Grinding, etc.) \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 Method of Back Gouging \_\_\_\_\_  
 Oscillation \_\_\_\_\_  
 Contact Tube to Work Distance \_\_\_\_\_  
 Multiple or Single Pass (per side) \_\_\_\_\_  
 Multiple or Single Electrodes \_\_\_\_\_  
 Travel Speed (Range) \_\_\_\_\_  
 Peening \_\_\_\_\_  
 Other \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

| Weld Layer(s) | Process | Filler Metal |      | Current     |            | Volt Range | Travel Speed Range | Other (e.g., Remarks, Comments, Hot Wire Addition, Technique, Torch Angle, Etc.) |
|---------------|---------|--------------|------|-------------|------------|------------|--------------------|--|
|               |         | Class        | Dia. | Type Polar. | Amp. Range |            |                    |  |
|               |         |              |      |             |            |            |                    |  |

- Formato PQR – Registro de calificación de procedimiento

**QW-483 SUGGESTED FORMAT FOR PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS (PQR)**  
**(See QW-200.2, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)**  
**Record Actual Conditions Used to Weld Test Coupon.**

---

Company Name \_\_\_\_\_  
 Procedure Qualification Record No. \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_  
 WPS No. \_\_\_\_\_  
 Welding Process(es) \_\_\_\_\_  
 Types (Manual, Automatic, Semi-Auto.) \_\_\_\_\_

**JOINTS (QW-402)**

Groove Design of Test Coupon  
 (For combination qualifications, the deposited weld metal thickness shall be recorded for each filler metal or process used.)

| <p><b>BASE METALS (QW-403)</b></p> Material Spec. _____<br>Type or Grade _____<br>P-No. _____ to P-No. _____<br>Thickness of Test Coupon _____<br>Diameter of Test Coupon _____<br>Other _____<br>_____<br>_____                            | <p><b>POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)</b></p> Temperature _____<br>Time _____<br>Other _____<br>_____<br>_____   |           |                     |  |           |         |           |           |       |       |       |          |       |       |       |         |       |       |       |
|---|---|-----------|---------------------|--|-----------|---------|-----------|-----------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|
| <p><b>FILLER METALS (QW-404)</b></p> SFA Specification _____<br>AWS Classification _____<br>Filler Metal F-No. _____<br>Weld Metal Analysis A-No. _____<br>Size of Filler Metal _____<br>Other _____<br>_____<br>Weld Metal Thickness _____ | <p><b>GAS (QW-408)</b></p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">Percent Composition</th> <th rowspan="2">Flow Rate</th> </tr> <tr> <th>Gas(es)</th> <th>(Mixture)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Shielding</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Trailing</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Backing</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> </tbody> </table> |           | Percent Composition |  | Flow Rate | Gas(es) | (Mixture) | Shielding | _____ | _____ | _____ | Trailing | _____ | _____ | _____ | Backing | _____ | _____ | _____ |
|   | Percent Composition   |           | Flow Rate           |  |           |         |           |           |       |       |       |          |       |       |       |         |       |       |       |
|   | Gas(es)   | (Mixture) |                     |  |           |         |           |           |       |       |       |          |       |       |       |         |       |       |       |
| Shielding   | _____   | _____     | _____               |  |           |         |           |           |       |       |       |          |       |       |       |         |       |       |       |
| Trailing  | _____   | _____     | _____               |  |           |         |           |           |       |       |       |          |       |       |       |         |       |       |       |
| Backing   | _____   | _____     | _____               |  |           |         |           |           |       |       |       |          |       |       |       |         |       |       |       |
| <p><b>POSITION (QW-405)</b></p> Position of Groove _____<br>Weld Progression (Uphill, Downhill) _____<br>Other _____<br>_____   | <p><b>ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)</b></p> Current _____<br>Polarity _____<br>Amps _____ Volts _____<br>Tungsten Electrode Size _____<br>Other _____<br>_____  |           |                     |  |           |         |           |           |       |       |       |          |       |       |       |         |       |       |       |
| <p><b>PREHEAT (QW-406)</b></p> Preheat Temp. _____<br>Interpass Temp. _____<br>Other _____<br>_____   | <p><b>TECHNIQUE (QW-410)</b></p> Travel Speed _____<br>String or Weave Bead _____<br>Oscillation _____<br>Multipass or Single Pass (per side) _____<br>Single or Multiple Electrodes _____<br>Other _____<br>_____  |           |                     |  |           |         |           |           |       |       |       |          |       |       |       |         |       |       |       |

This form (E00007) may be obtained from the Order Dept., ASME, 22 Law Drive, Box 2300, Fairfield, NJ 07007-2300

**QW-483 (Back)**

PQR No. \_\_\_\_\_

**Tensile Test (QW-150)**

| Specimen No. | Width | Thickness | Area | Ultimate Total Load lb | Ultimate Unit Stress psi | Type of Failure & Location |
|--------------|-------|-----------|------|------------------------|--------------------------|----------------------------|
|              |       |           |      |                        |                          |                            |
|              |       |           |      |                        |                          |                            |
|              |       |           |      |                        |                          |                            |

**Guided-Bend Tests (QW-180)**

| Type and Figure No. | Result |
|---------------------|--------|
|                     |        |
|                     |        |
|                     |        |

**Toughness Tests (QW-170)**

| Specimen No. | Notch Location | Specimen Size | Test Temp. | Impact Values |         |     | Drop Weight Break (Y/N) |
|--------------|----------------|---------------|------------|---------------|---------|-----|-------------------------|
|              |                |               |            | ft. lbs.      | % Shear | MTs |                         |
|              |                |               |            |               |         |     |                         |
|              |                |               |            |               |         |     |                         |
|              |                |               |            |               |         |     |                         |
|              |                |               |            |               |         |     |                         |
|              |                |               |            |               |         |     |                         |
|              |                |               |            |               |         |     |                         |
|              |                |               |            |               |         |     |                         |

Comments: \_\_\_\_\_

**Fillet-Weld Test (QW-180)**

Result — Satisfactory: Yes \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_ Penetration into Parent Metal: Yes \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

Macro — Results \_\_\_\_\_

**Other Tests**

Type of Test \_\_\_\_\_

Deposit Analysis \_\_\_\_\_

Other \_\_\_\_\_

Welder's Name \_\_\_\_\_ Clock No. \_\_\_\_\_ Stamp No. \_\_\_\_\_

Tests conducted by \_\_\_\_\_ Laboratory Test No. \_\_\_\_\_

We certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in accordance with the requirements of Section IX of the ASME Code.

Manufacturer \_\_\_\_\_

Date \_\_\_\_\_ By \_\_\_\_\_

(Detail of record of tests are illustrative only and may be modified to conform to the type and number of tests required by the Code.)

- Formato WPQ – Calificación de habilidad de soldadores

**QW-484A SUGGESTED FORMAT A FOR WELDER PERFORMANCE QUALIFICATIONS (WPO)**  
(See QW-301, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)

---

Welder's name \_\_\_\_\_ Identification No. \_\_\_\_\_

**Test Description**

Identification of WPS followed \_\_\_\_\_  Test coupon  Production weld  
 Specification of base metal(s) \_\_\_\_\_ Thickness \_\_\_\_\_

**Testing Conditions and Qualification Limits**

| Welding Variables (QW-350)  | Actual Values | Range Qualified |
|---|---------------|-----------------|
| Welding process(es)   | _____         | _____           |
| Type (ie: manual, semi-auto) used   | _____         | _____           |
| Backing (metal, weld metal, double-welded, etc.)  | _____         | _____           |
| <input type="checkbox"/> Plate <input type="checkbox"/> Pipe (enter diameter if pipe or tube) | _____         | _____           |
| Base metal P- or S-Number to P- or S-Number   | _____         | _____           |
| Filler metal or electrode specification(s) (SFA) (info. only)                                 | _____         | _____           |
| Filler metal or electrode classification(s) (info. only)                                      | _____         | _____           |
| Filler metal F-Number(s)  | _____         | _____           |
| Consumable insert (GTAW or PAW)   | _____         | _____           |
| Filler type (solid/metal or flux cored/powder) (GTAW or PAW)                                  | _____         | _____           |
| Deposit thickness for each process  | _____         | _____           |
| Process 1: _____ 3 layers minimum <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No    | _____         | _____           |
| Process 2: _____ 3 layers minimum <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No    | _____         | _____           |
| Position qualified (2G, 6G, 3F, etc.)   | _____         | _____           |
| Vertical progression (uphill or downhill)   | _____         | _____           |
| Type of fuel gas (OPW)  | _____         | _____           |
| Inert gas backing (GTAW, PAW, GMAW)   | _____         | _____           |
| Transfer mode (spray/globular or pulse to short circuit-GMAW)                                 | _____         | _____           |
| GTAW current type/polarity (AC, DCEP, DCEN)   | _____         | _____           |

**RESULTS**

Visual Examination of Completed Weld (QW-302.4) \_\_\_\_\_

Bend test;  Transverse root and face [QW-462.3(a)];  Longitudinal root and face [QW-462.3(b)];  Side [QW-462.2];  
 Pipe bend specimen, corrosion-resistant overlay [QW-462.4(c)];  Plate bend specimen, corrosion-resistant overlay [QW-462.5(d)];  
 Macro test for fusion [QW-462.5(b)];  Macro test for fusion [QW-462.5(e)]

| Type | Result | Type | Result | Type | Result |
|------|--------|------|--------|------|--------|
|      |        |      |        |      |        |
|      |        |      |        |      |        |

Alternative radiographic examination results (QW-181) \_\_\_\_\_

Fillet weld — fracture test (QW-180) \_\_\_\_\_ Length and percent of defects \_\_\_\_\_

Macro examination (QW-184) \_\_\_\_\_ Fillet size [in.] \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ Concavity/convexity [in.] \_\_\_\_\_

Other tests \_\_\_\_\_

Film or specimens evaluated by \_\_\_\_\_ Company \_\_\_\_\_

Mechanical tests conducted by \_\_\_\_\_ Laboratory test no. \_\_\_\_\_

Welding supervised by \_\_\_\_\_

We certify that the statements in this record are correct and that the test coupons were prepared, welded, and tested in accordance with the requirements of Section IX of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code.

Organization \_\_\_\_\_

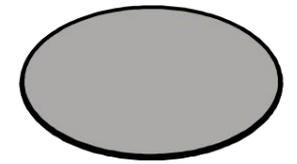
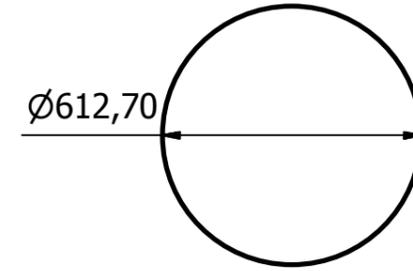
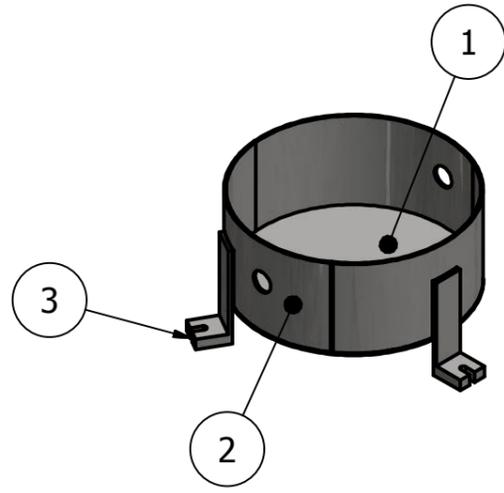
Date \_\_\_\_\_ By \_\_\_\_\_

This form (E0008A) may be obtained from the Order Dept., ASME, 22 Law Drive, Box 2300, Fairfield, NJ 07007-2300.

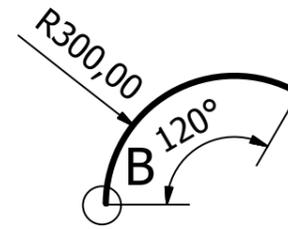
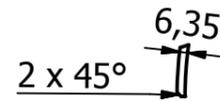
# Anexo B

- Planos esquemáticos

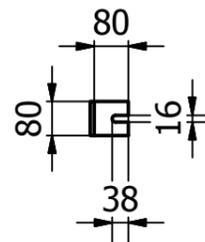
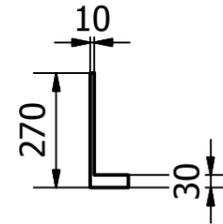
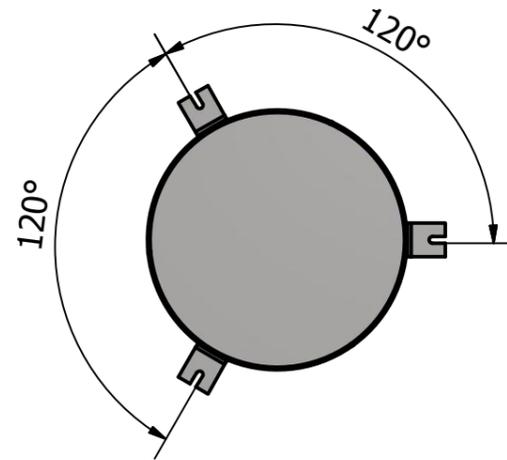
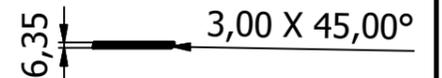
| LISTA DE PIEZAS |       |                |                       |
|-----------------|-------|----------------|-----------------------|
| ELEMENTO        | CTDAD | Nº DE PIEZA    | DESCRIPCIÓN           |
| 1               | 1     | PLACA DE BASE  | Acero Sa 516 Grado 70 |
| 2               | 3     | PLANCHA ROLADA | Acero Sa 516 Grado 70 |
| 3               | 3     | SOPORTE        | Acero A36             |



B ( 0,18 : 1 )

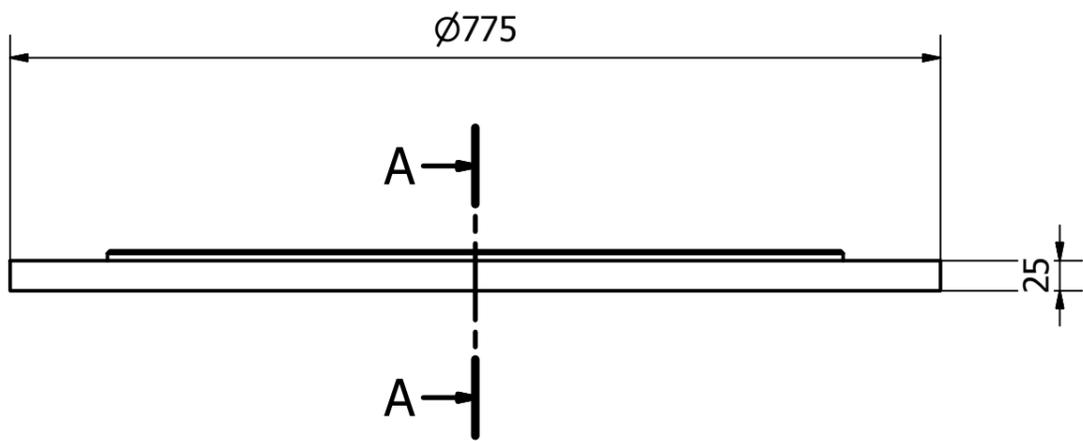


C ( 0,12 : 1 )

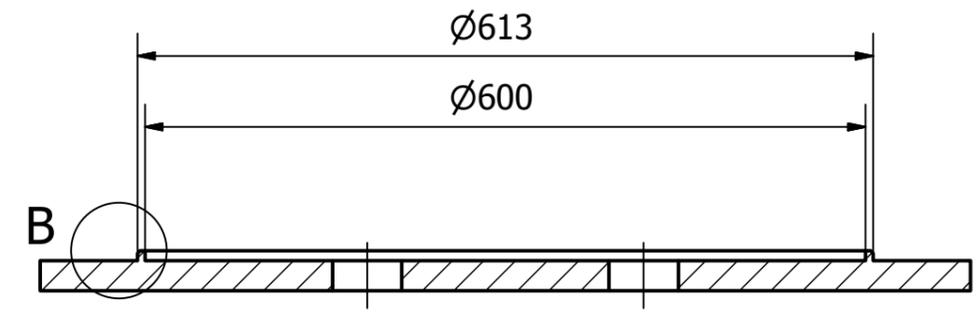


|                          |                                      |                                      |                     |               |
|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|---------------|
| Diseño de<br>JUAN CARPIO | Revisado por<br>PhD. Héctor Espinoza | Aprobado por<br>MSc. Gonzalo Almeida | Fecha<br>03/02/2016 | Firma         |
| MATERIA INTEGRADORA      |                                      | VAPORIZADOR                          |                     |               |
|                          |                                      | BASE                                 | Edición<br>1        | Hoja<br>1 / 1 |

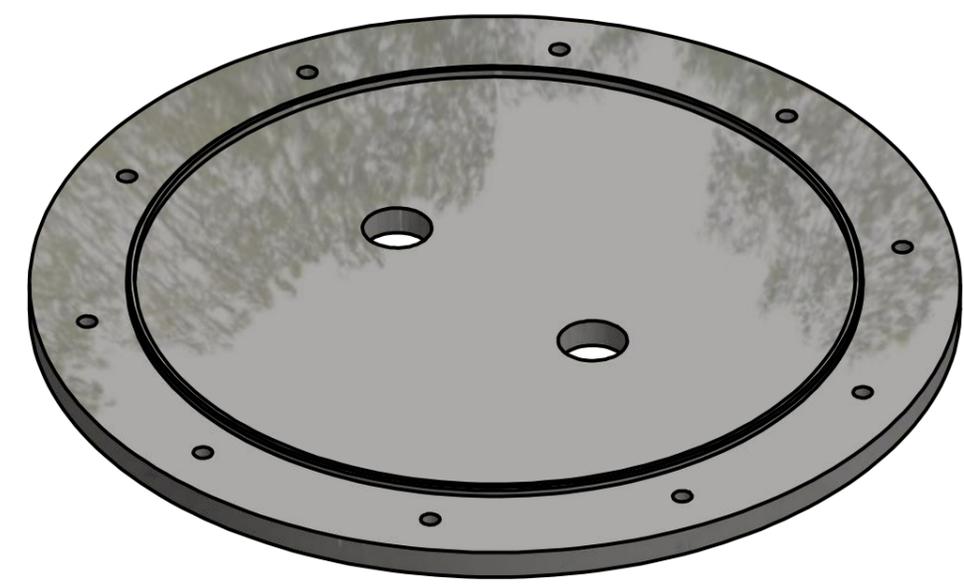
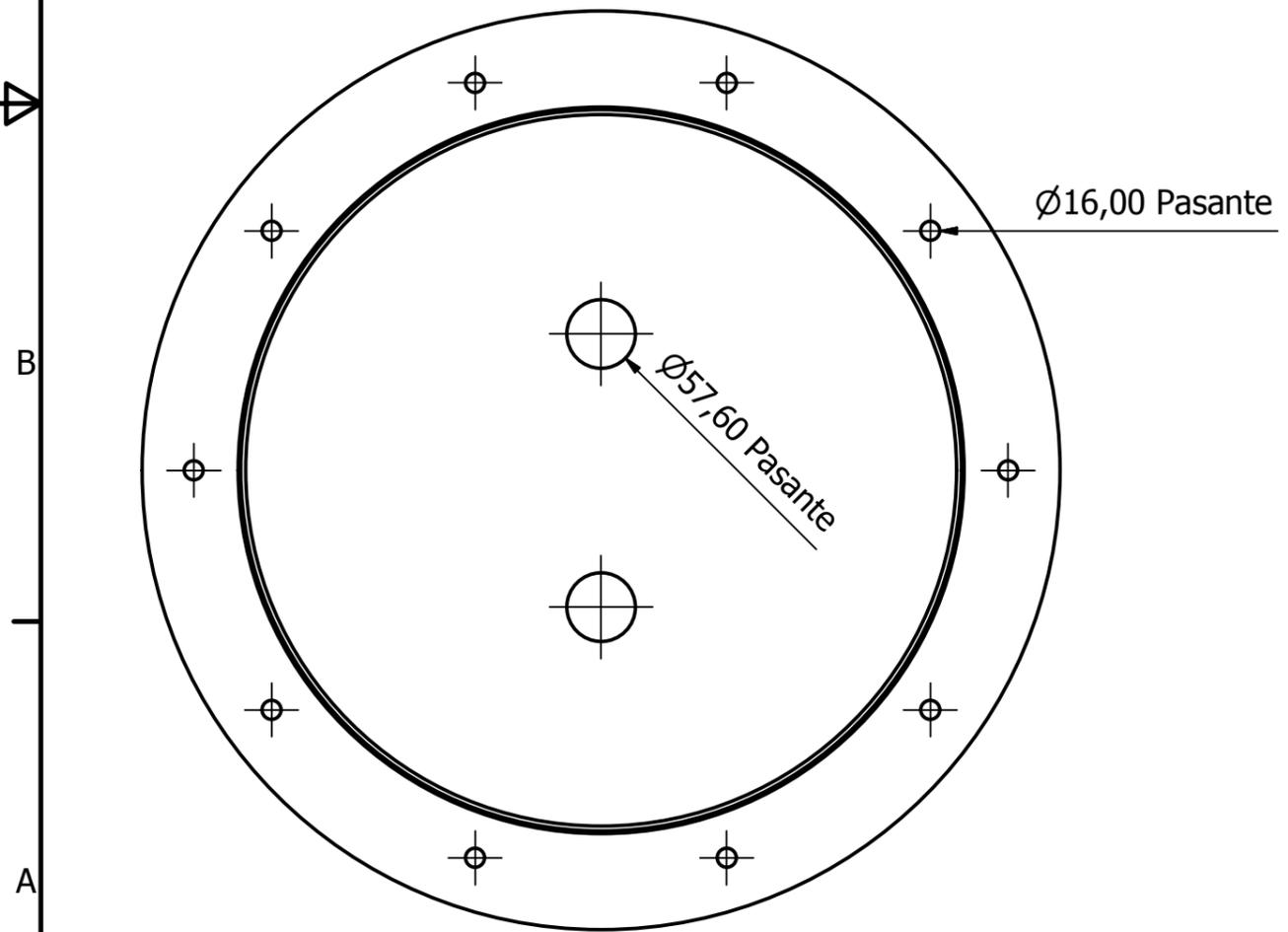
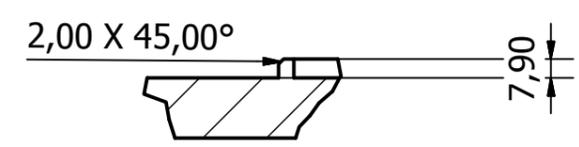
6 1 5 1 4 3 1 2 1



A-A ( 0,17 : 1 )

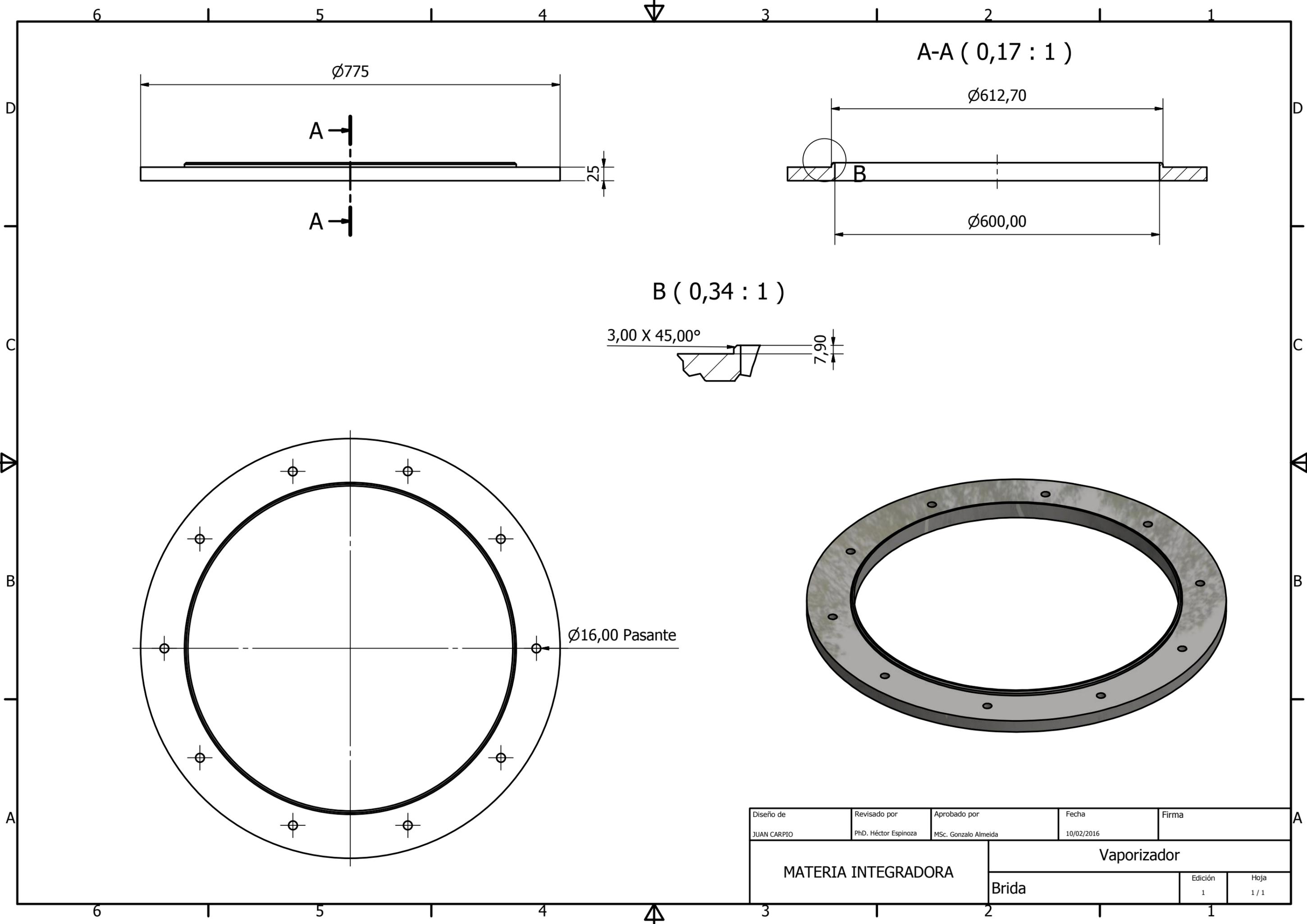


B ( 0,34 : 1 )



|                          |                                      |                                      |                     |               |
|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|---------------|
| Diseño de<br>Juan Carpio | Revisado por<br>PhD. Héctor Espinoza | Aprobado por<br>MSc. Gonzalo Almeida | Fecha<br>10/02/2016 | Firma         |
| Materia Integradora      |                                      | Vaporizador                          |                     |               |
|                          |                                      | Brida Ciega Perforada                | Edición<br>1        | Hoja<br>1 / 1 |

6 1 5 1 4 3 1 2 1



6 1 5 1 4 3 1 2 1 1

A-A ( 0,17 : 1 )

$\varnothing 775$

$\varnothing 612,70$

25

$\varnothing 600,00$

B ( 0,34 : 1 )

3,00 X 45,00°

7,90

$\varnothing 16,00$  Pasante

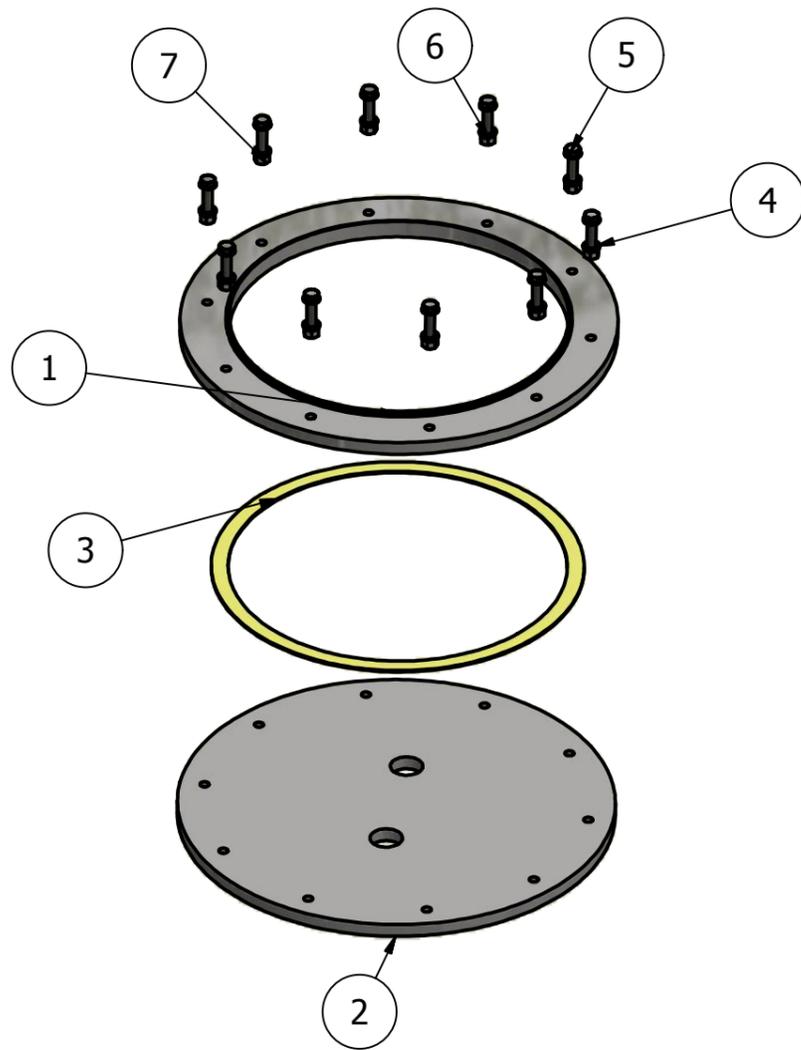
|                          |                                      |                                      |                     |               |
|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|---------------|
| Diseño de<br>JUAN CARPIO | Revisado por<br>PhD. Héctor Espinoza | Aprobado por<br>MSc. Gonzalo Almeida | Fecha<br>10/02/2016 | Firma         |
| MATERIA INTEGRADORA      |                                      | Vaporizador                          |                     |               |
|                          |                                      | Brida                                | Edición<br>1        | Hoja<br>1 / 1 |

6 1 5 1 4 3 1 2 1 1

6 1 5 1 4 3 1 2 1 1

D

D



| LISTA DE PIEZAS |       |                               |  |
|-----------------|-------|-------------------------------|--|
| ELEMENTO        | CTDAD | Nº DE PIEZA                   | DESCRIPCIÓN  |
| 1               | 1     | BRIDA                         | Asme B 16.47   |
| 2               | 1     | BRIDA CIEGA                   | Asme B 16.47   |
| 3               | 1     | EMPAQUE                       | Tipo confinado   |
| 4               | 20    | ISO 7089 - 16 - 140 HV        | Arandelas planas - Serie normal - Productos de clase A           |
| 5               | 10    | ISO 8676 - M16 x 1,5 x 80 - A | Tornillos de cabeza hexagonal con rosca métrica ISO de paso fino |
| 6               | 10    | UNI 8839 - A 16               | Arandela de presión  |
| 7               | 10    | UNI 5587 - M16 x 1,5          | Tuerca hexagonal   |

C

C

B

B

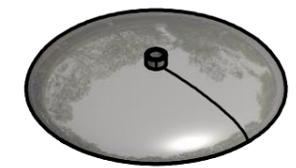
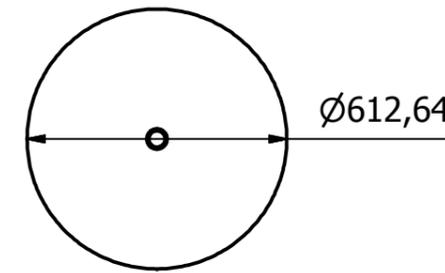
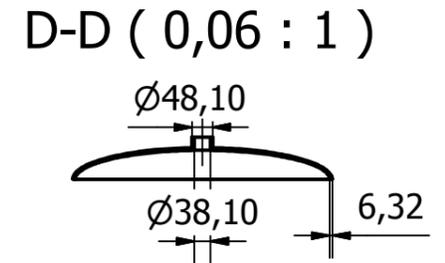
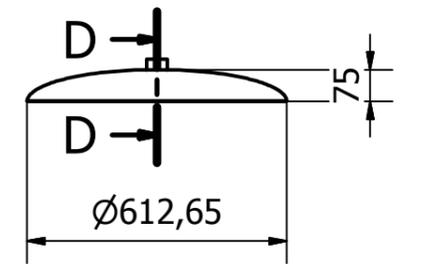
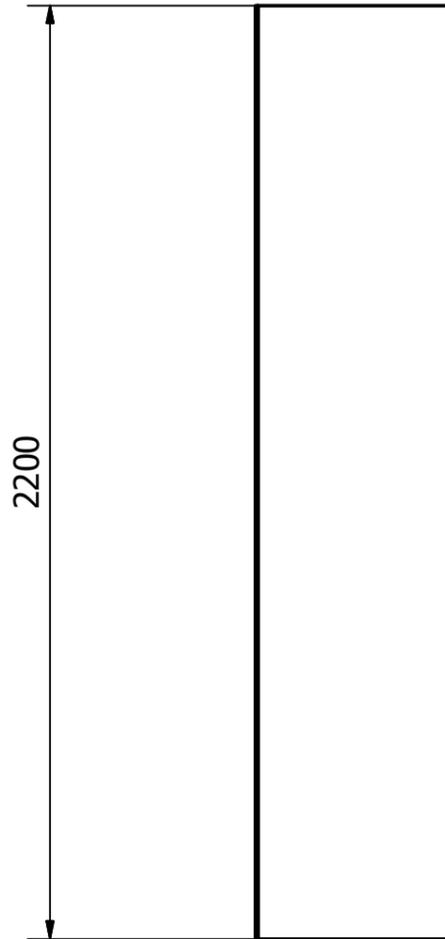
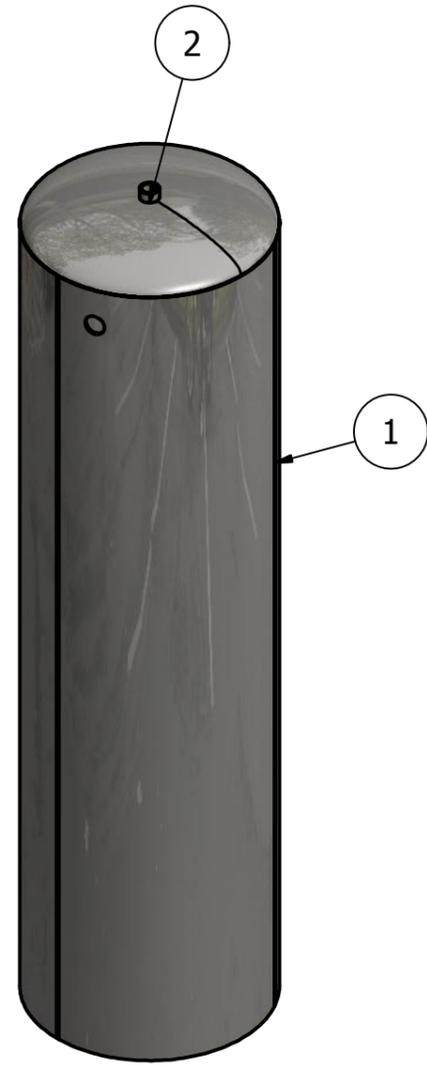
A

A

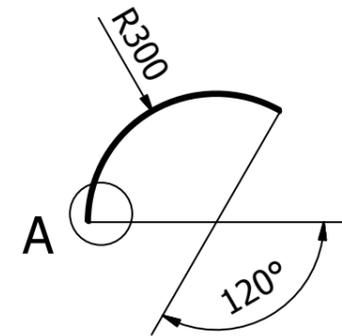
6 1 5 1 4 3 1 2 1 1

|                          |                                      |                                      |                     |               |
|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|---------------|
| Diseño de<br>Juan Carpio | Revisado por<br>PhD. Héctor Espinoza | Aprobado por<br>MSc. Gonzalo Almeida | Fecha<br>10/02/2016 | Firma         |
| Materia Integradora      |                                      | Vaporizador                          |                     |               |
|                          |                                      | CONJUNTO DE BRIDAS                   | Edición<br>1        | Hoja<br>1 / 1 |

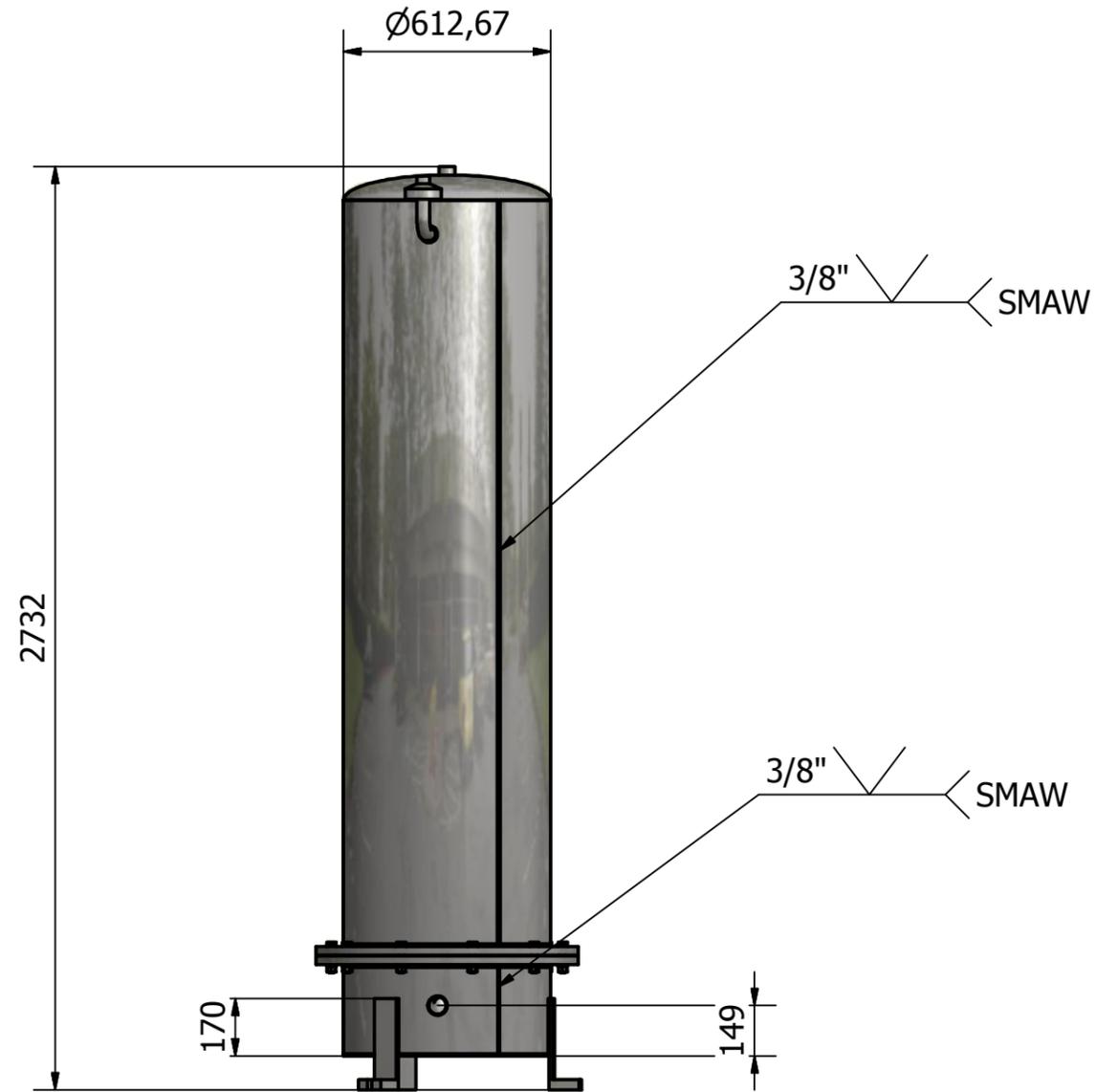
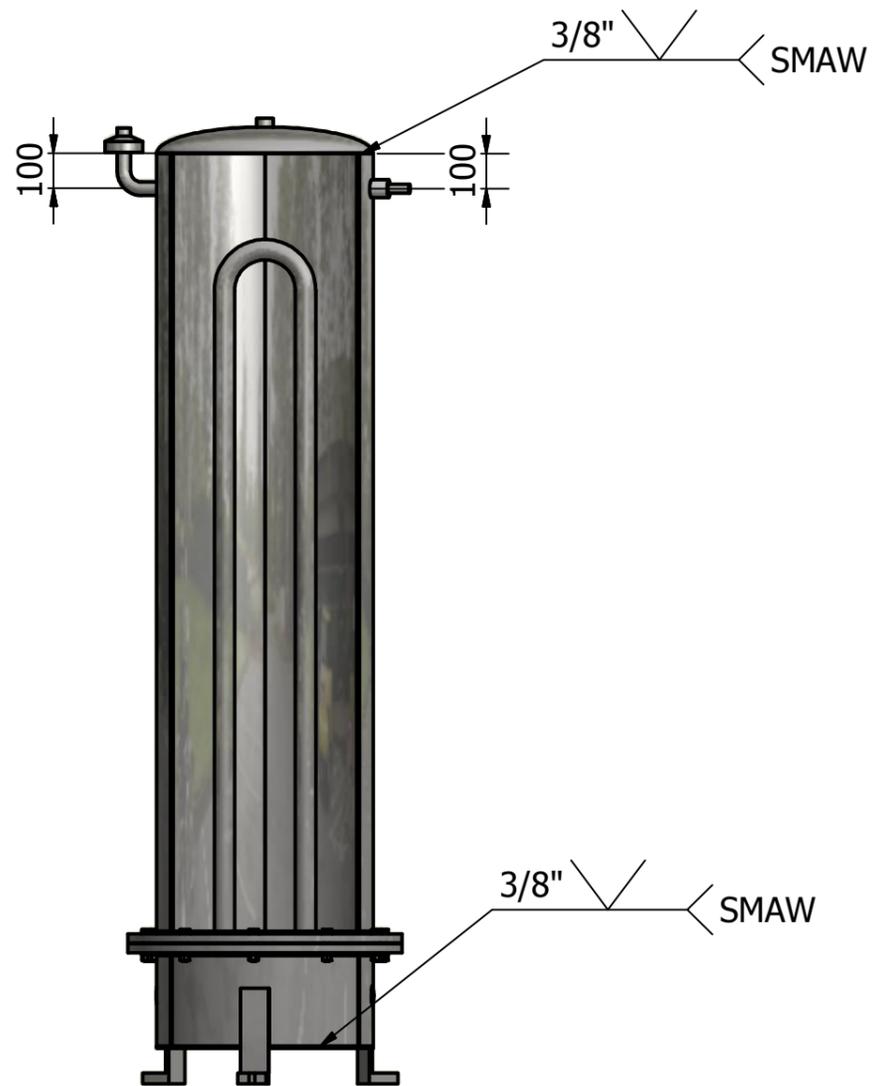
| LISTA DE PIEZAS |       |                 |                   |
|-----------------|-------|-----------------|-------------------|
| ELEMENTO        | CTDAD | Nº DE PIEZA     | DESCRIPCIÓN       |
| 1               | 3     | PLANCHA ROLADA  | Acero Sa Grado 70 |
| 2               | 1     | TAPA ELIPSOIDAL | Acero Sa Grado 70 |



A ( 0,12 : 1 )

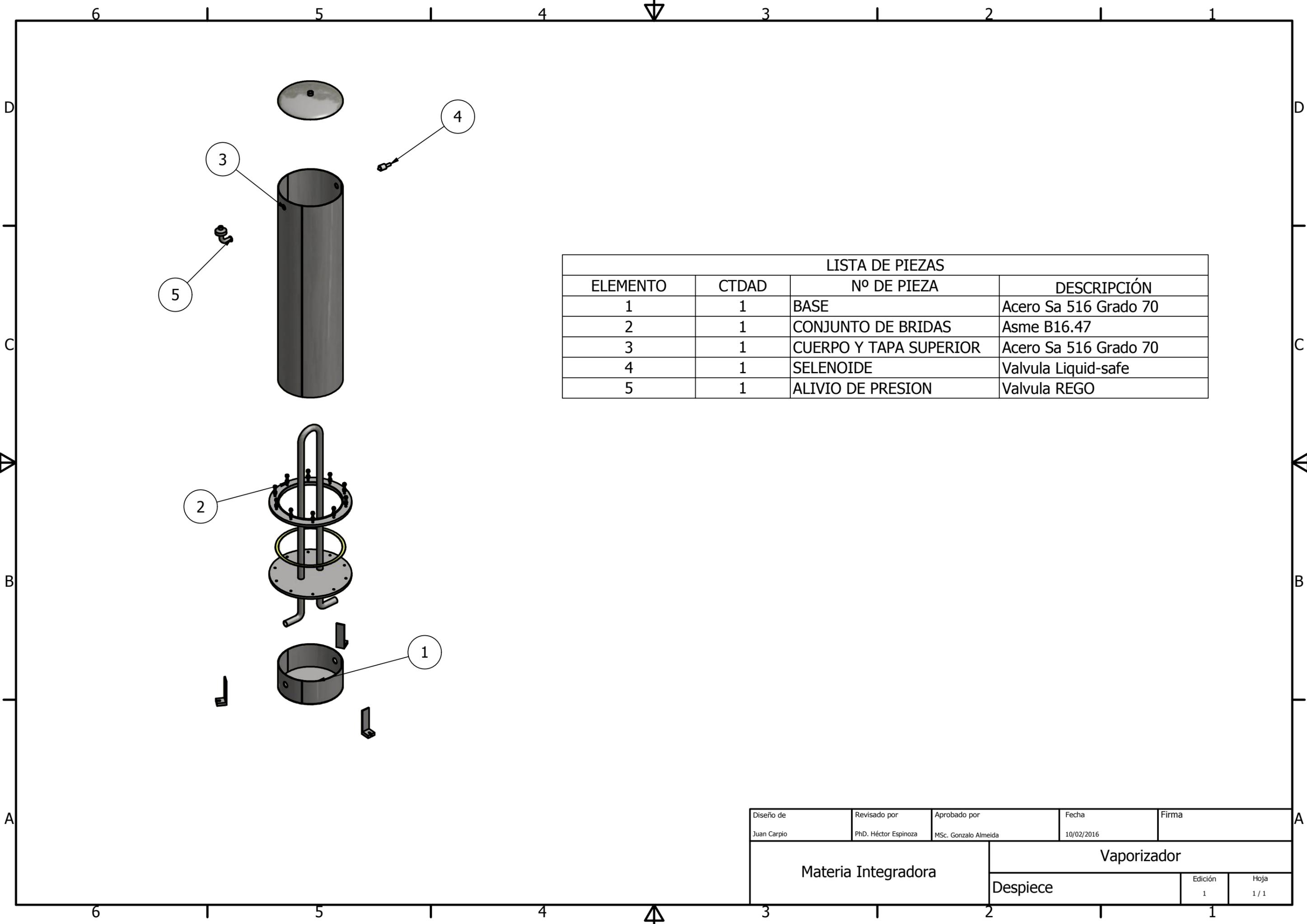


|                          |                                      |                                      |                     |               |
|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|---------------|
| Diseño de<br>JUAN CARPIO | Revisado por<br>PhD. Héctor Espinoza | Aprobado por<br>MSc. Gonzalo Almeida | Fecha<br>10/02/2016 | Firma         |
| MATERIA INTEGRADORA      |                                      | VAPORIZADOR                          |                     |               |
|                          |                                      | CUERPO                               | Edición<br>1        | Hoja<br>1 / 1 |



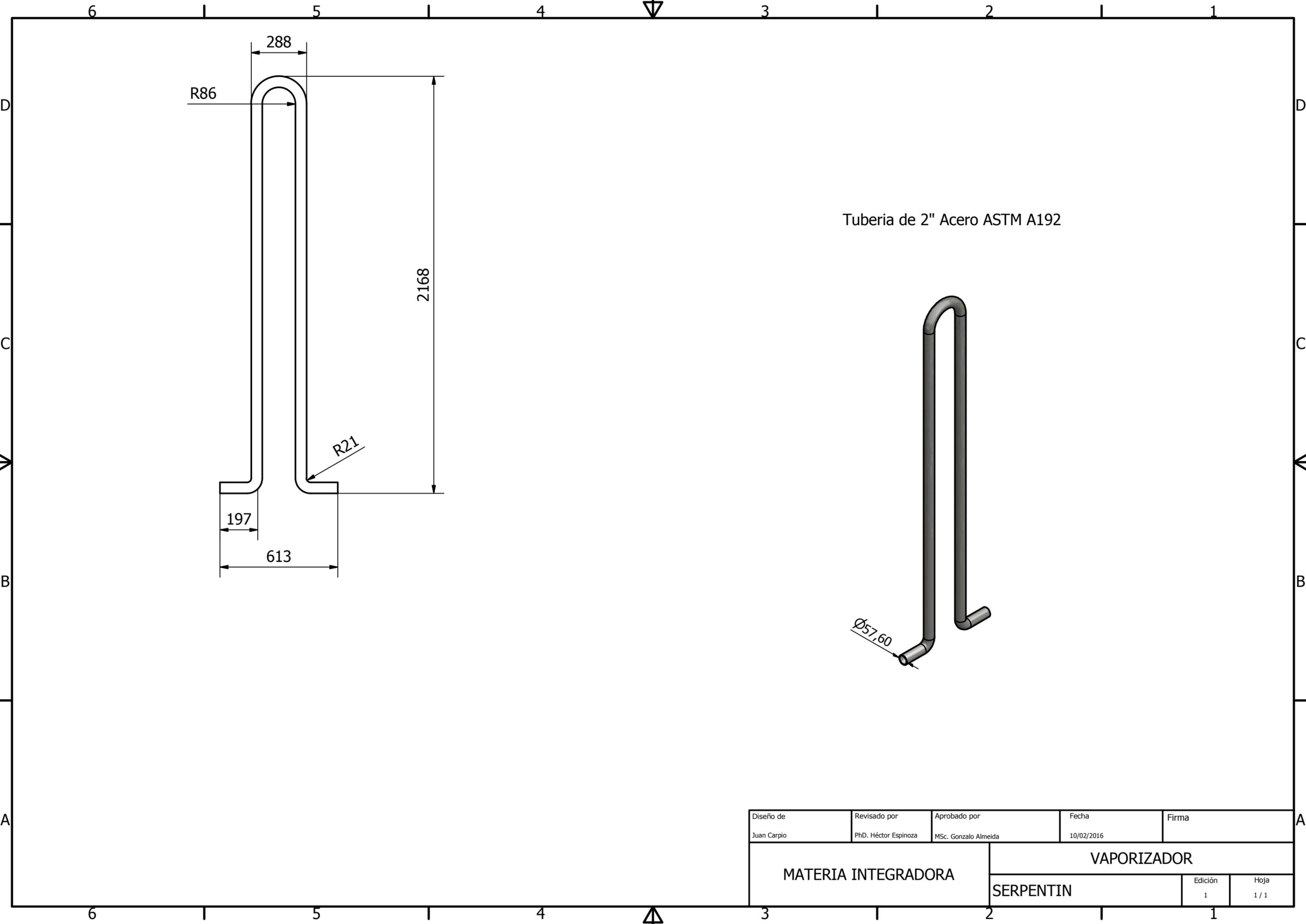
NOTA: Las soldaduras longitudinales son 3, todas tienen el mismo mecanizado, se detalla en los planos de cada elemento. Lo mismo sucede en las circunferenciales. el tamaño del cordón esta basado en la normativa AWS D1.1

|                          |                                      |                                      |                     |               |
|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|---------------|
| Diseño de<br>Juan Carpio | Revisado por<br>PhD. Héctor Espinoza | Aprobado por<br>MSc. Gonzalo Almeida | Fecha<br>10/02/2016 | Firma         |
| MATERIA INTEGRADORA      |                                      | VAPORIZADOR                          |                     |               |
|                          |                                      | PLANO DE FABRICACION                 | Edición<br>1        | Hoja<br>1 / 1 |



| LISTA DE PIEZAS |       |                        |                       |
|-----------------|-------|------------------------|-----------------------|
| ELEMENTO        | CTDAD | Nº DE PIEZA            | DESCRIPCIÓN           |
| 1               | 1     | BASE                   | Acero Sa 516 Grado 70 |
| 2               | 1     | CONJUNTO DE BRIDAS     | Asme B16.47           |
| 3               | 1     | CUERPO Y TAPA SUPERIOR | Acero Sa 516 Grado 70 |
| 4               | 1     | SELENOIDE              | Valvula Liquid-safe   |
| 5               | 1     | ALIVIO DE PRESION      | Valvula REGO          |

|                          |                                      |                                      |                     |               |
|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|---------------|
| Diseño de<br>Juan Carpio | Revisado por<br>PhD. Héctor Espinoza | Aprobado por<br>MSc. Gonzalo Almeida | Fecha<br>10/02/2016 | Firma         |
| Materia Integradora      |                                      | Vaporizador                          |                     |               |
|                          |                                      | Despiece                             | Edición<br>1        | Hoja<br>1 / 1 |



Tuberia de 2" Acero ASTM A192

|                          |                                      |                                      |                     |               |
|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|---------------|
| Diseño de<br>Juan Carpio | Revisado por<br>PhD. Héctor Espinoza | Aprobado por<br>MSc. Gonzalo Almeida | Fecha<br>10/02/2016 | Firma         |
| MATERIA INTEGRADORA      |                                      | VAPORIZADOR                          |                     |               |
|                          |                                      | SERPENTIN                            | Edición<br>1        | Hoja<br>1 / 1 |