

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

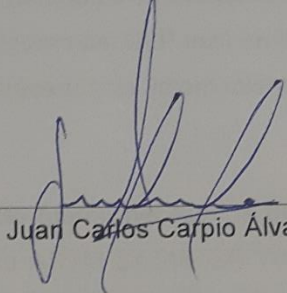
DECLARACIÓN EXPRESA

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

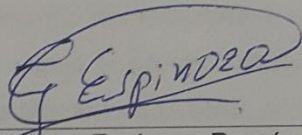
Juan Carlos Carpio Álvarez

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

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

CAPÍTULO 4

4.1. Conclusiones.....	52
4.2. Recomendaciones	52

Bibliografía

Anexos

- Formato WPS – Especificación de procedimiento de soldadura
- Formato PQR – Registro de calificación de procedimiento
- Formato WPQ – Calificación de habilidad de soldadores
- Planos de construcción

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
μm	Micrómetro
mm^2	Milímetro al cuadrado
m	Metro
m^2	Metro cuadrados
m^3	Metro cúbicos
in	Pulgada
in^2	Pulgada al cuadrado
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
Industrial (ton)	18836	23885	37939	46478	55638	62269	54009	68190
Var(%) año anterior	0	26,8	58,8	22,5	19,7	11,9	-13,3	26,3
Agro, pesca, miner (ton)	-	-	4236	7636	10938	12704	16425	19015
Var(%) año anterior	0	0	0	80,3	43,2	16,1	29,3	15,8

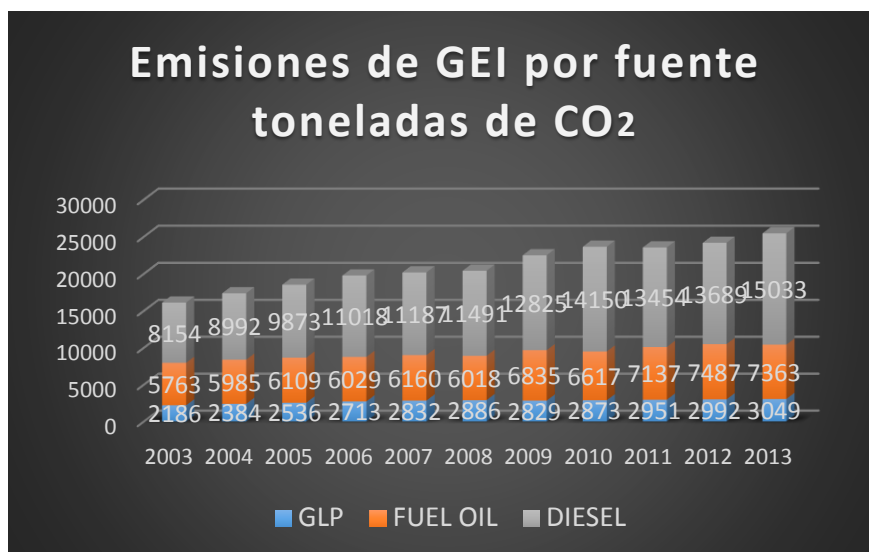
Fuente: (Ministerio coordinador de sectores estratégicos [MICSE], balance energético, 2014)

Tabla 1.2. Oferta y demanda del GLP (ton)

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Var(%) 2013/2012
Producción (1) Production	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 Imports	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 Stock variation	-11.440	-6.927	1.707	8.098	-103	4.483	-3.130	-4.714	-57.025	10.093	-2.535	-125,1
Oferta total Total supply	780.162	851.028	905.428	968.470	1.010.848	1.030.176	1.009.759	1.025.576	1.053.096	1.067.918	1.088.162	1,9
Transformación Total Total Transformation	-	-	-	15.866	17.304	17.950	15.860	16.215	14.782	13.165	12.262	-6,9
Consumo propio (2) Own Consumption	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 Transportation	-	-	-	-	-	1.046	9.518	11.108	11.474	10.714	9.590	-10,5
Industrial Industrial	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 Residential	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. Agriculture, fishing, mining	-	-	-	-	-	4.236	7.636	10.938	12.704	16.425	19.015	15,8
Consumo Energético Energy Consumption	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
Demanda total Total demand	780.162	851.028	905.428	968.470	1.010.848	1.030.176	1.009.759	1.025.576	1.053.096	1.067.918	1.088.162	1,9

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 (C₃H₈) y butano (C₄H₁₀), 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)
Formula Química	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	
Peso Molecular	44.10	58.12	43.302
Densidad (liquido) kg/m³	508	584	530.8
Densidad (gas) kg/m³	2.020	2.704	2.23
Punto de ebullición a 1 atm (°C)	-42	-0.5	
Límite inferior de inflamabilidad¹	2.37%	1.86%	2.21%
Límite superior de inflamabilidad¹	9.50%	8.41%	9.17%
Poder calorífico inferior (kcal/kg)	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 m³ 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.

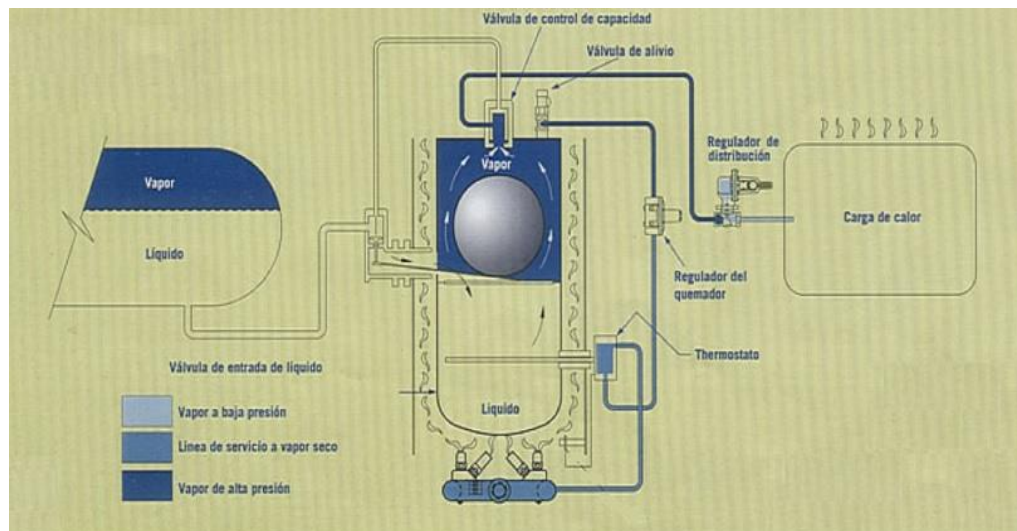


Figura 1. Vaporizador de Fuego Directo

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.

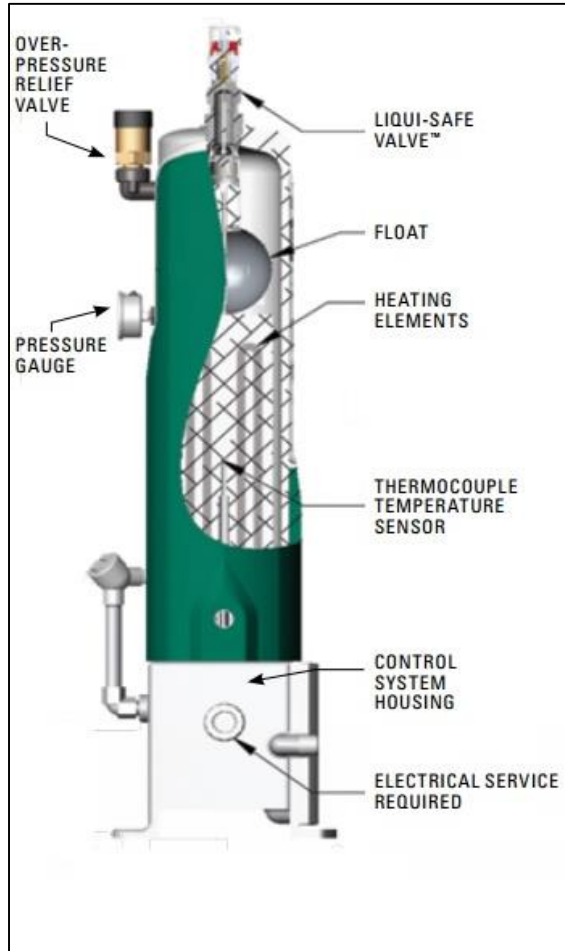


Figura 2. Vaporizador Eléctrico

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.

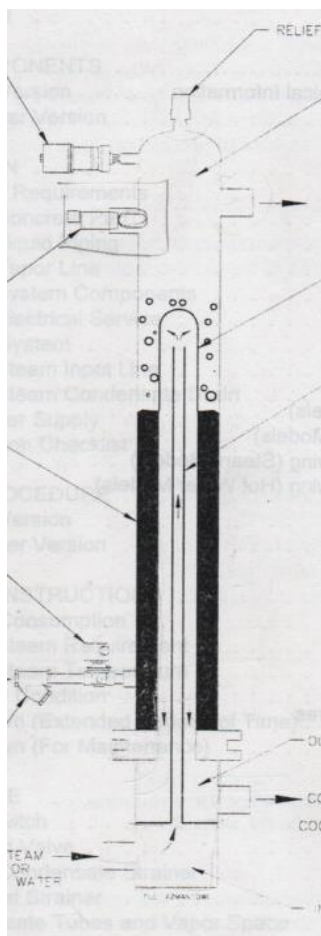


Figura 3. Vaporizador Indirecto
 Fuente: (Product Brochure ALGAS-SDI, 2001)

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.

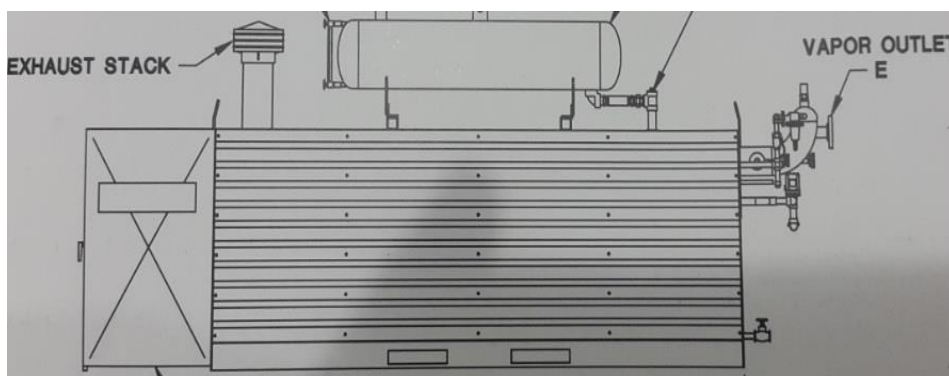


Figura 4. Vaporizador de Inmersión
 Fuente: (Product Brochure ALGAS-SDI, 2001)

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 ΔT_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 _i)	0.4	0.2	0.2	0.2	$\sum(x_i)*(y_i)$	
Alternativas						
Fuego directo (y _i)	60%	50%	40%	65%	55%	
Eléctrico (y _i)	65%	50%	50%	40%	56%	
Indirecto (y _i)	80%	60%	70%	80%	74%	Optima
Inmersión (y _i)	70%	60%	70%	80%	70%	

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 ΔT 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
C	0.06 – 0.18 %
Mn	0.27 – 0.63 %
P	0.035 %
S	0.035 %
Si	0.25 %

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

Tabla 2.3 Propiedades Mecánicas ASTM 192

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

ϕ : 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 $T_m = 338 \text{ K}$

K [W/m * K]	658.4×10^{-3}
C_p [kJ/kg*k]	4.1872×10^{-6}
μ [Pa*s]	433.2×10^{-6}
Pr	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]

μ : viscosidad dinámica [Pa*s]

Reemplazando valores en la ecuación 2.4, se obtuvo:

$$Re = 47361.96$$

Dado que el número de Reynolds obtenido es 4.7×10^4 , 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:

μ : viscosidad dinámica [Pa *s]

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

g : aceleración de la gravedad [m/s²]

ρ : densidad [kg/m³]

σ : tensión superficial [N/m]

c_p : calor específico [J/ kg K]

ΔT_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 ΔT_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°C o 315.5°K .

Para las propiedades termofísicas del GLP se sigue las referencias [4] y [5], asumiendo una temperatura de 20°C y una presión de trabajo de 100 psi, obtenemos los siguientes valores:

Tabla 2.5 Propiedades de saturación del GLP a 100 psi

μ [$\text{Pa}\cdot\text{s}$]	111.023×10^{-6}
c_{pl} [$\text{J}/\text{kg}\cdot\text{k}$]	2622.66
K [$\text{W}/\text{m}^3 \cdot \text{K}$]	97.08×10^{-3}
σ [$\text{N}\cdot\text{m}$]	7.65×10^{-3}
Pr	3.032
ρ_l [kg/m^3]	530.8
ρ_v [kg/m^3]	2.23
h_{fg} [J/kg]	384928
T_{sat} [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/m² K]

ṁ: 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 ΔT_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 (ΔP), 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 [m²]

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]

ρ : densidad del agua [1000 kg/m³]

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/m³]

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.

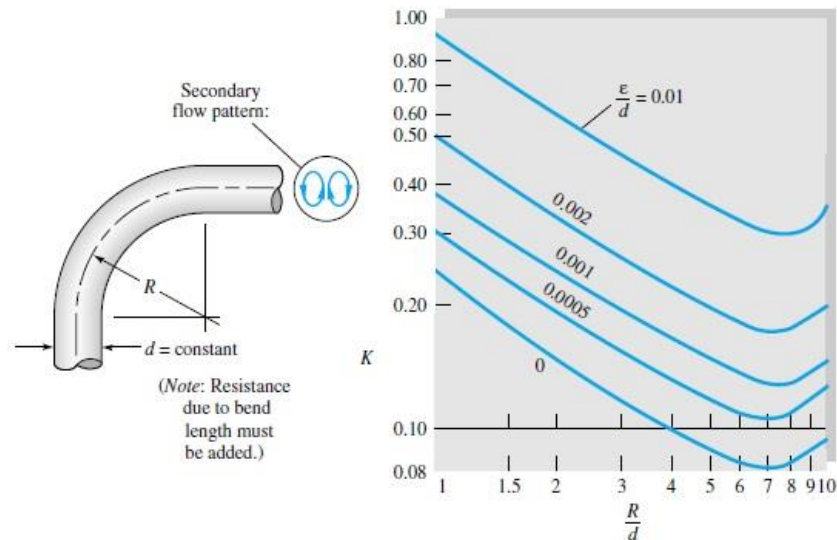


Figura 7. Pérdidas menores en curvaturas

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 (ϵ) 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
C	0.10 – 0.22 %
Mn	1 – 1.7 %
P	0.035 %
S	0.035 %
Si	0.6 %

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

Tabla 2.7. Propiedades mecánicas SA 516 GR 70

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

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_{ut}: 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 ²	(b) Spot ³	(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 (b) Circumferential butt joints with one plate offset; see UW-13(b)(4) and Fig. UW-13.1, sketch (k)	A, B, C, & D A, B, & C	0.90 0.90	0.80 0.80	0.65 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 (b) Circumferential joints not over 3/8 in. (16 mm) thick	A B & C ⁶	NA NA	NA NA	0.55 0.55
(5)	Single full fillet lap joints with plug welds conforming to UW-17	(a) Circumferential joints ⁴ for attachment of heads not over 24 in. (610 mm) outside diameter to shells not over 1/2 in. (13 mm) thick (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 C	NA NA	NA NA	0.50 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:

ρ : densidad del GLP liquido [Kg/m³]

g: gravedad [m/s²]

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 μm , 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_{total} : fuerza total en la tapa [N]

P: presión de la carcasa [Mpa]

A: área interna [m²]

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 [mm²]

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 ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²
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 despreciar 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

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

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:

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

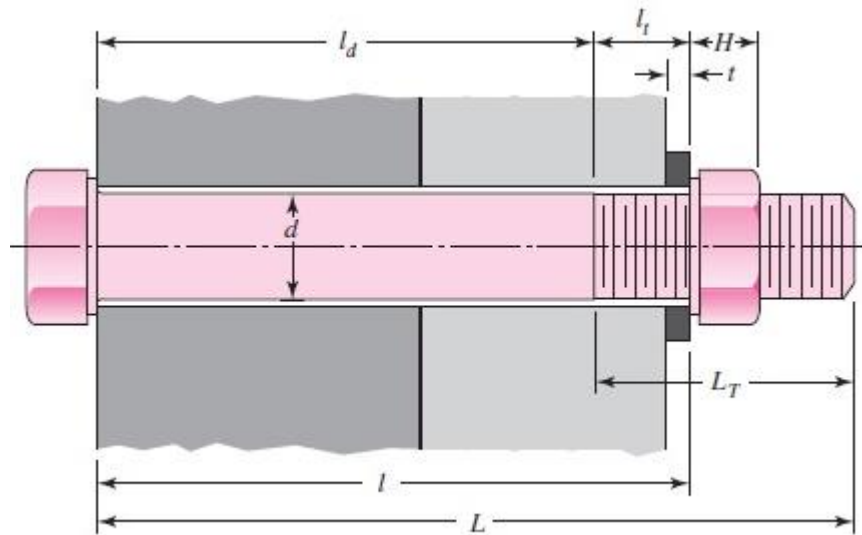


Figura 9. Medidas típicas de un sujetador

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

Donde:

A_t : área de la parte rosca [mm²]

A_d : área de la parte sin rosca [mm²]

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] (207×10^9)

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 vienes 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:

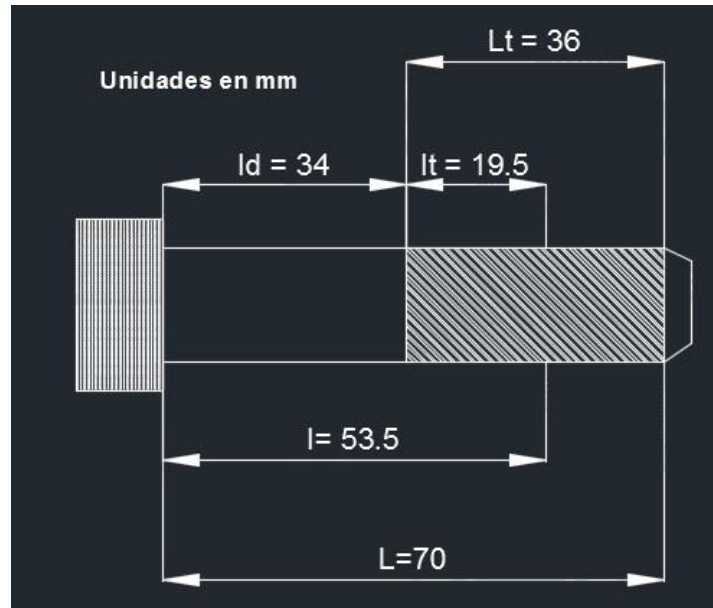


Figura 10. Longitudes del perno a utilizar
Elaborado por el autor

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 m	Min. Design Seating Stress y , psi (MPa)	Sketches	Facing Sketch and Column in Table 2-5.2
Corrugated metal:				(1a),(1b),(1c),(1d); 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), ² (1d); (1d) ² ;(2) ² ; 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	3.75	9,000 (62)		
Stainless steels and nickel-base alloys	3.75	9,000 (62)		
Grooved metal:				(1a),(1b),(1c),(1d), (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), (2),(3),(4),(5); 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_p: fuerza sobre el empaque [lb]

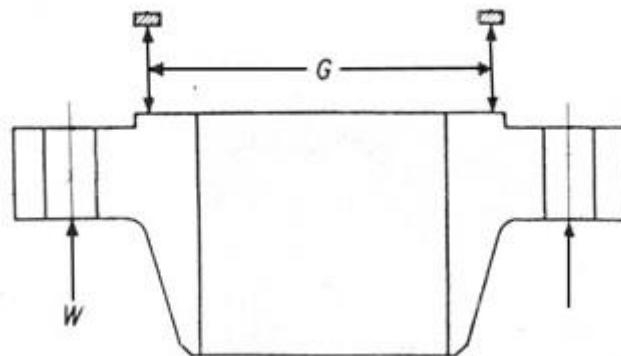


Figura 11. Ubicación y distancias de empaque en la brida

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.

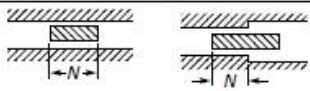

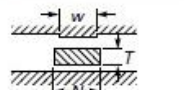
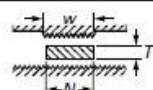
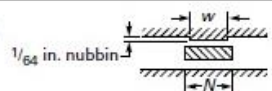
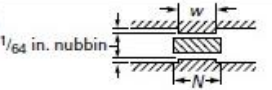
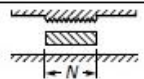
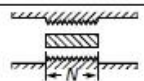
El valor del asentamiento efectivo depende de las condiciones de asentamiento y la cara de la brida donde;

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

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

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)  See Note (1)	$\frac{N}{2}$	$\frac{N}{2}$
(1c)  $w \leq N$	$\frac{w+T}{2}; \left(\frac{w+N}{4}\right)_{\max}$	$\frac{w+T}{2}; \left(\frac{w+N}{4}\right)_{\max}$
(1d)  $w \leq N$ See Note (1)		
(2)  $w \leq N/2$	$\frac{w+N}{4}$	$\frac{w+3N}{8}$
(3)  $w \leq N/2$	$\frac{N}{4}$	$\frac{3N}{8}$
(4)  See Note (1)	$\frac{3N}{8}$	$\frac{7N}{16}$
(5)  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 [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 E-7016 E-7018 E-7024 E-80XX-C1/C3	OK-46.00/Primafixe / CM-3134 Superano 2/Ductilend 55E / PH-36 OK-48.00/Cometa Jaune 50/Amsa Básico 52 Phoenix 120 K OK-33.80 Amsa Básico Ni/CM-424K/UZ-57/OK-73.68/ SH-Schwarz 3 K Ni
	P-3	E-7015-A1 E-7018-A1	CM-4134K/CM-374K / KV-2 / OK-74.78 / 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 E-502-15	KV-3/UZ-42 / OK-76.28 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 / Inco-weld A / 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 E-308 L E-309 E-309 Mo E-316 E-316 L E-318 E-347	Avesta 832 MV/Soudocrom 308/Safinox 18/8 Avesta 832 MVR /UZ-18-8-0 Soudocrom 309/Arosta 309 S/UTP-6824 Avesta P 5/Avesta P4/OK-67.75 Avesta 832 SK/OK-63.25/OK-63.35/PH-RS Avesta 832 SKR/UZ-18/8/3 Avesta 832 SKNb/PH-RSM 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.

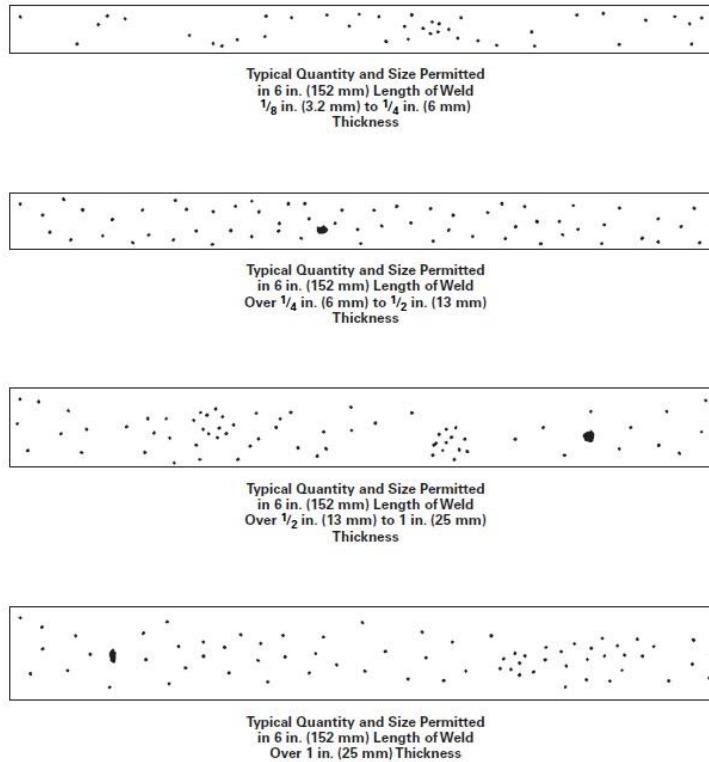


Figura 12. Indicaciones redondeadas máximas para espesor mayor a 1/8”
Fuente: ASME IX (2003), qualification standar for welding and brazing

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 la 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 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 _{max}	Longitud	T _{sup}	ΔT _e
↓	↓	↓	↓	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_{max} 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 [W/m ² K]	q'' [W/m ²]	q _{max} [W/m ²]	Long [m]	T _{sup} [K]	ΔT_e [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/m², este valor se encuentra por encima del valor de flujo de calor suministrado que es de 58139,43 W/m². 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 _{sat} (°K)	T _{sup} (°K)	ΔT_e (°K)
q _{max} [W/m ²]	300.89	323.158	22.268
q'' [W/m ²]	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 m². 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 ²	0.75 m ²
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. _____

POSITIONS (QW-405) Position(s) of Groove _____ Welding Progression: Up _____ Down _____ Position(s) of Fillet _____	POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407) Temperature Range _____ Time Range _____																				
PREHEAT (QW-406) Preheat Temp. Min. _____ Interpass Temp. Max. _____ Preheat Maintenance _____ (Continuous or special heating where applicable should be recorded)	GAS (QW-408) <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>BASE METALS (QW-403)</p> Material Spec. _____ Type or Grade _____ P-No. _____ to P-No. _____ Thickness of Test Coupon _____ Diameter of Test Coupon _____ Other _____ _____ _____	<p>POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)</p> Temperature _____ Time _____ Other _____ _____ _____																				
<p>FILLER METALS (QW-404)</p> SFA Specification _____ AWS Classification _____ Filler Metal F-No. _____ Weld Metal Analysis A-No. _____ Size of Filler Metal _____ Other _____ _____ Weld Metal Thickness _____	<p>GAS (QW-408)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;"></th> <th colspan="2" style="text-align: center;">Percent Composition</th> <th style="width: 20%;"></th> </tr> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">Gas(es)</th> <th style="text-align: center;">(Mixture)</th> <th style="text-align: center;">Flow Rate</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Shielding _____</td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></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				Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate	Shielding _____				Trailing _____				Backing _____			
	Percent Composition																				
	Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate																		
Shielding _____																					
Trailing _____																					
Backing _____																					
<p>POSITION (QW-405)</p> Position of Groove _____ Weld Progression (Uphill, Downhill) _____ Other _____ _____	<p>ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)</p> Current _____ Polarity _____ Amps _____ Volts _____ Tungsten Electrode Size _____ Other _____ _____																				
<p>PREHEAT (QW-406)</p> Preheat Temp. _____ Interpass Temp. _____ Other _____ _____	<p>TECHNIQUE (QW-410)</p> Travel Speed _____ String or Weave Bead _____ Oscillation _____ Multipass or Single Pass (per side) _____ Single or Multiple Electrodes _____ Other _____ _____																				

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-462.5(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 _____

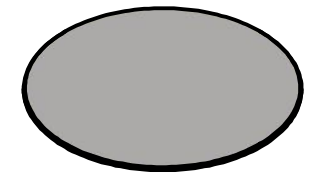
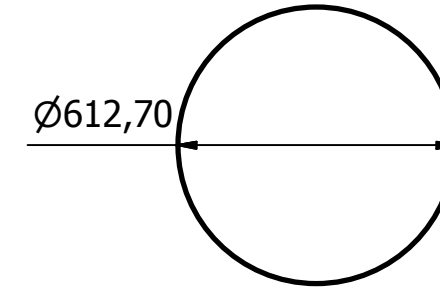
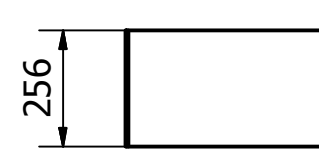
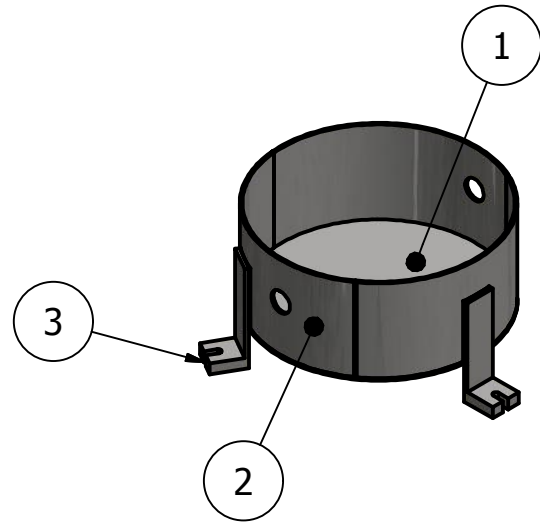
Date _____ By _____

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

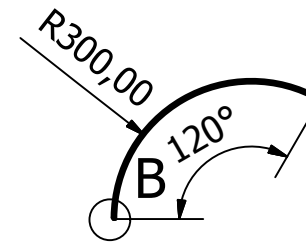
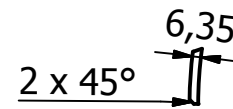
Anexo B

- Planos esquemáticos

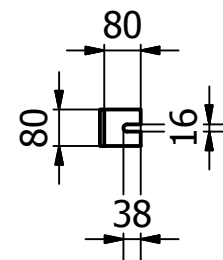
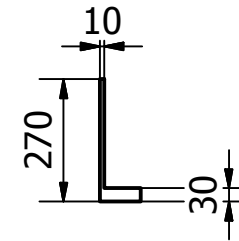
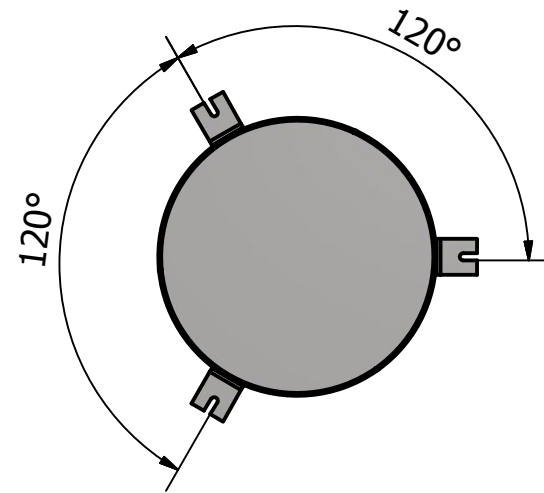
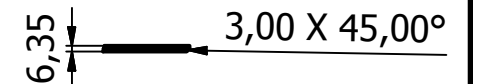
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	PLACA DE BASE	Acero Sa 516 Grado 70
2	3	PLANCHA ROLADA	Acero Sa 516 Grado 70
3	3	SOPORTE	Acero A36



B (0,18 : 1)

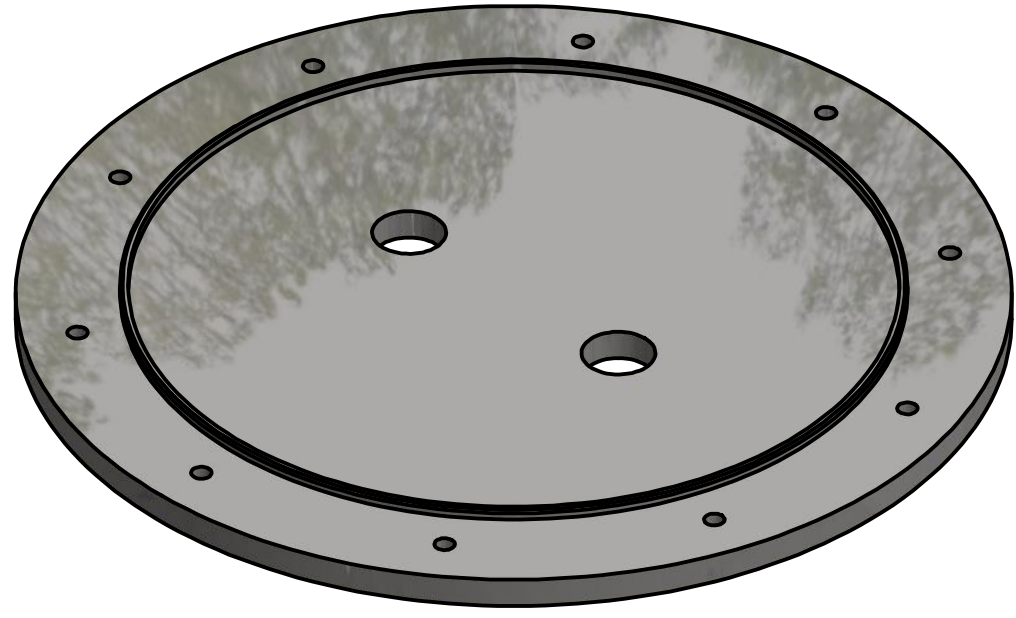
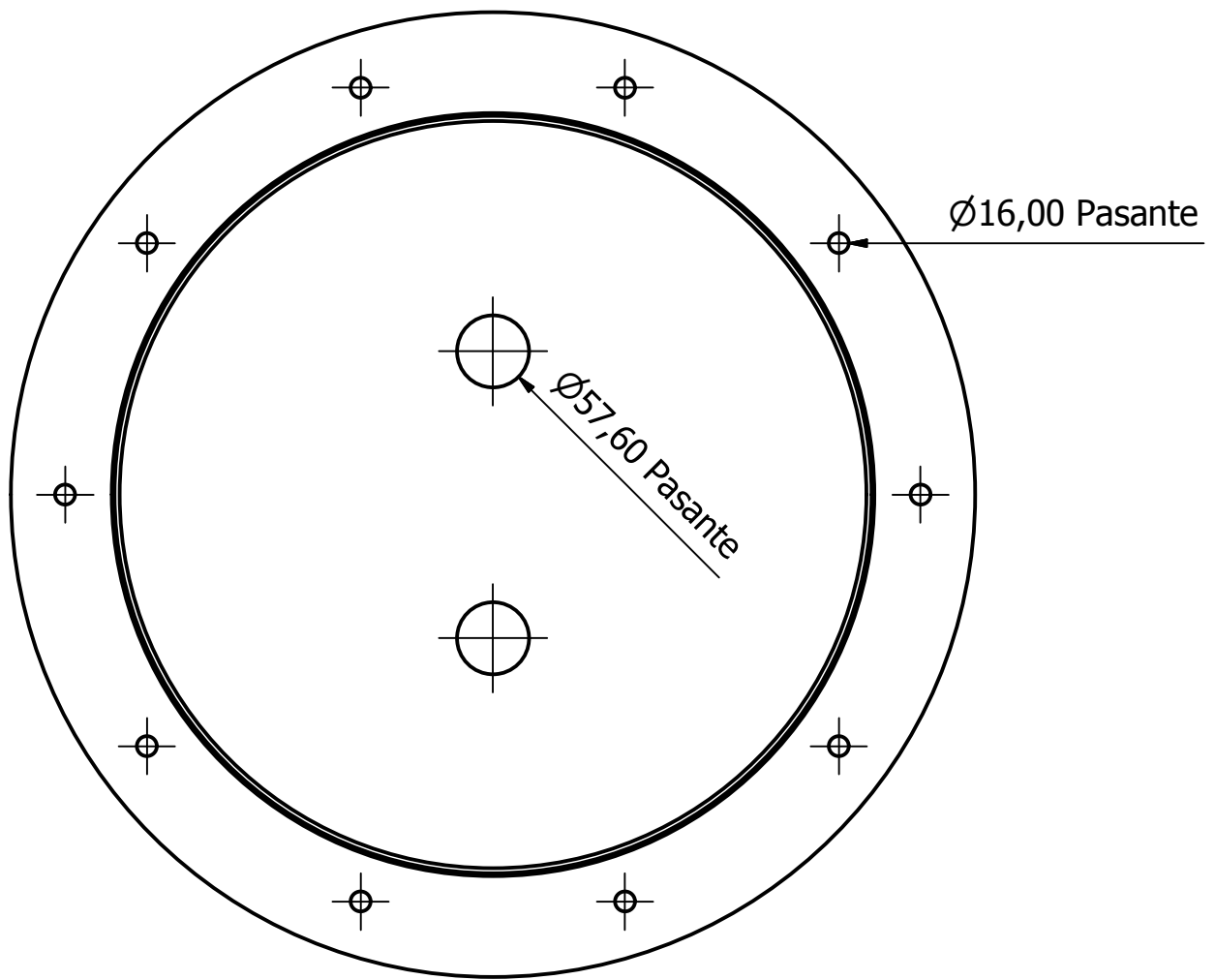
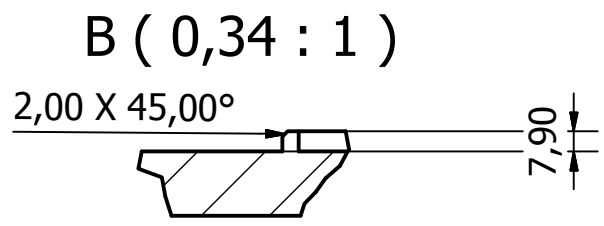
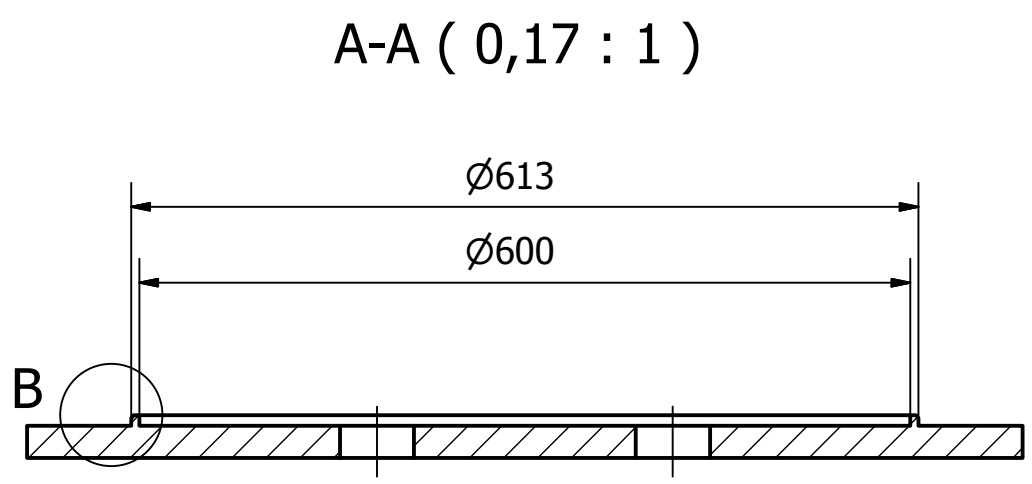
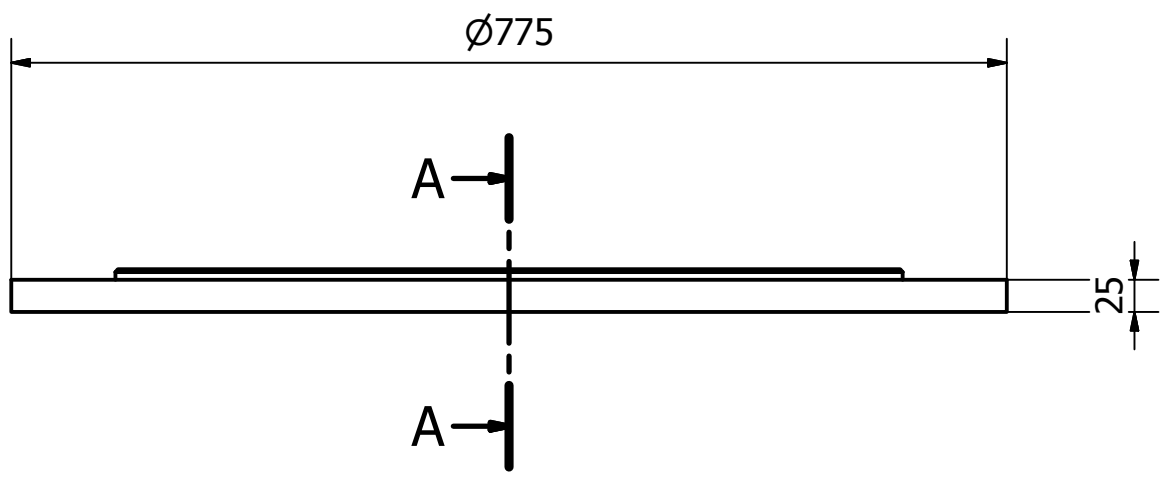


C (0,12 : 1)



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

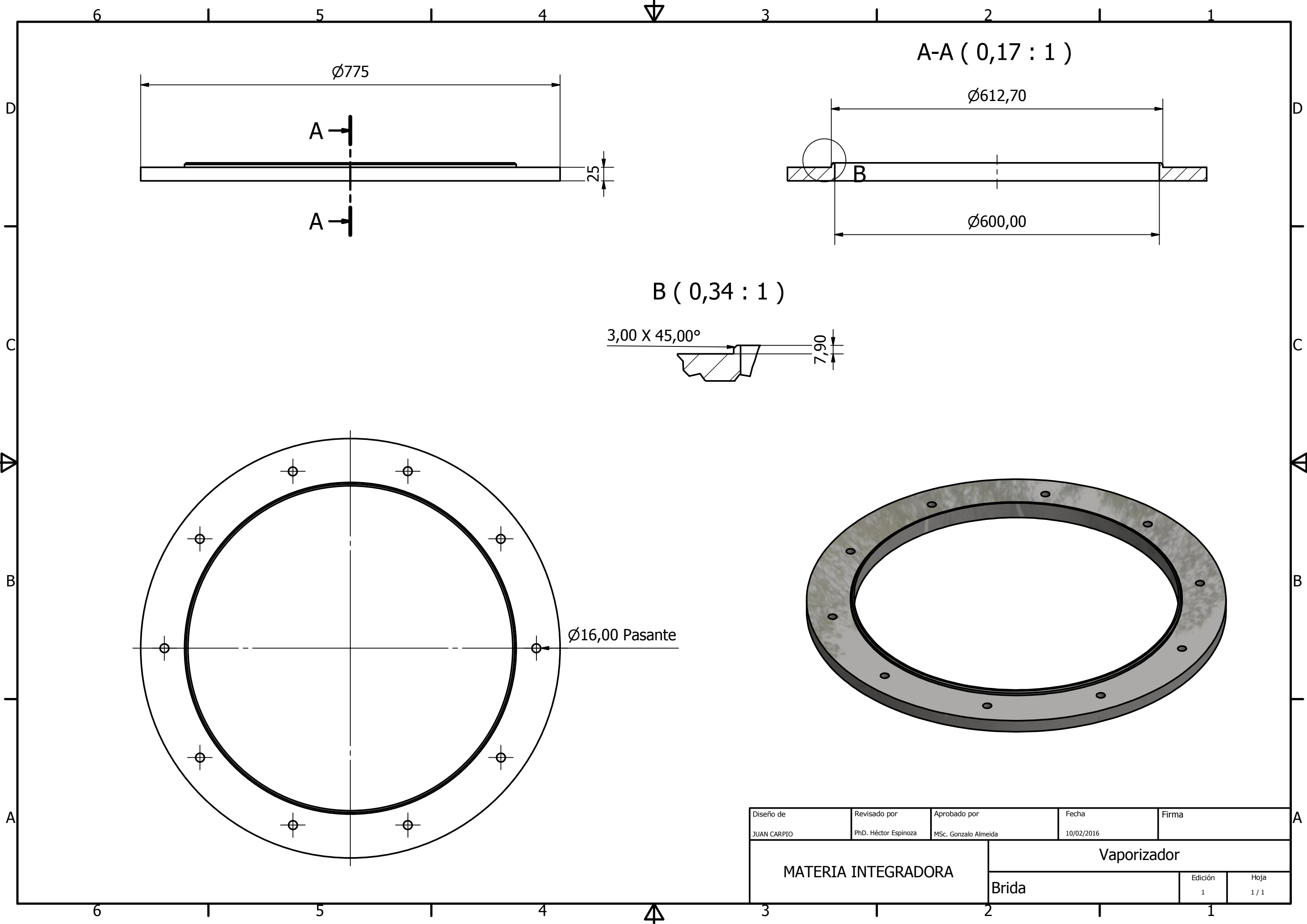
6 1 5 1 4 3 1 2 1 1



D C B A

6 1 5 1 4 3 1 2 1 1

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



$\varnothing 775$

25

A-A (0,17 : 1)

$\varnothing 612,70$

$\varnothing 600,00$

B (0,34 : 1)

3,00 X 45,00°

7,90

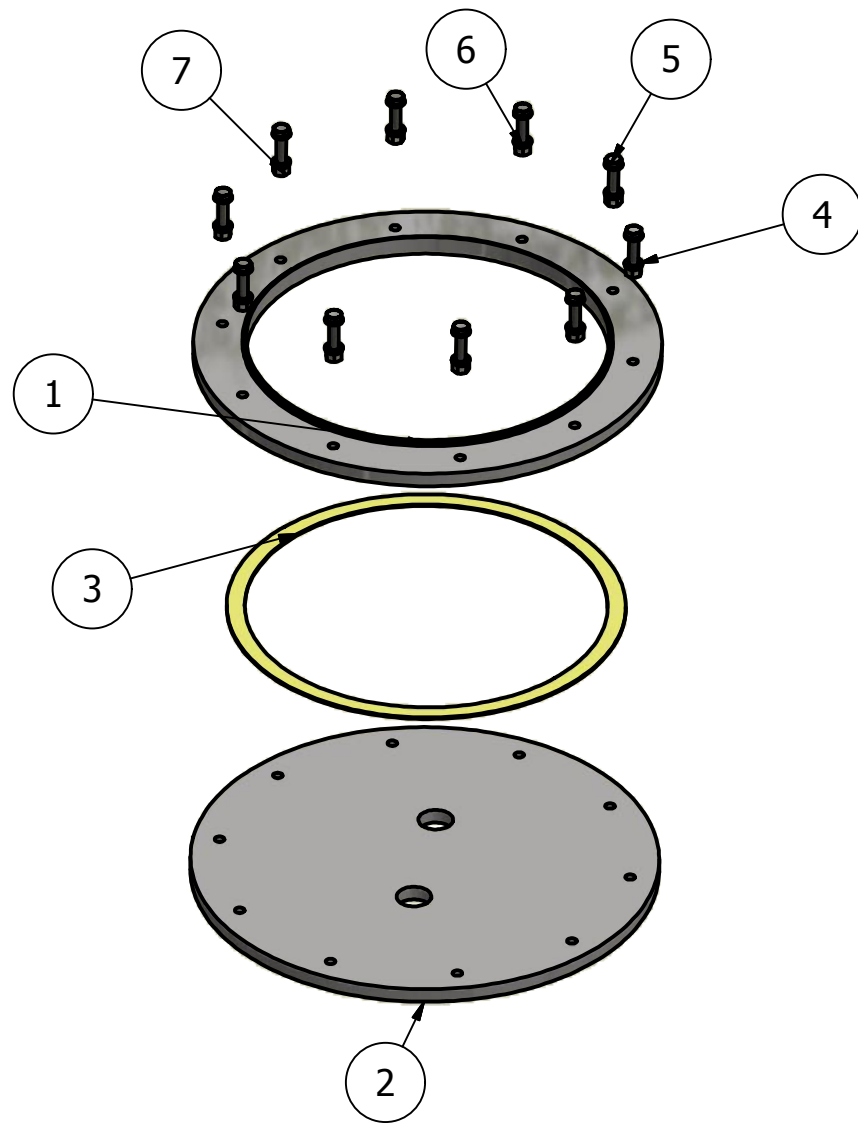
$\varnothing 16,00$ Pasante

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

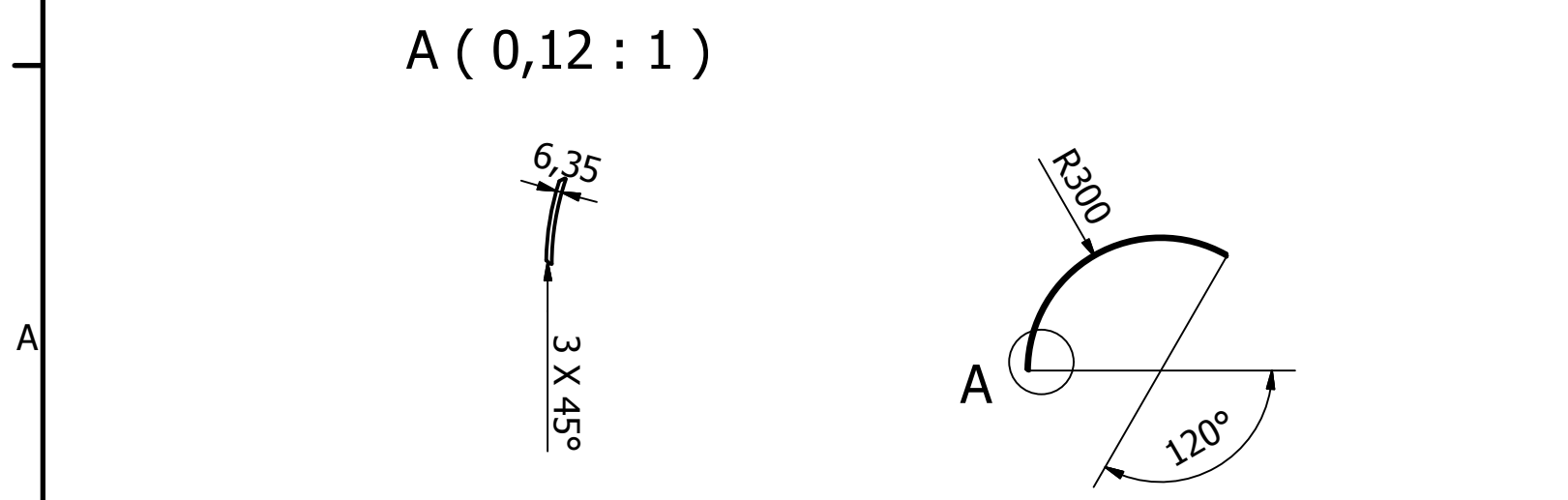
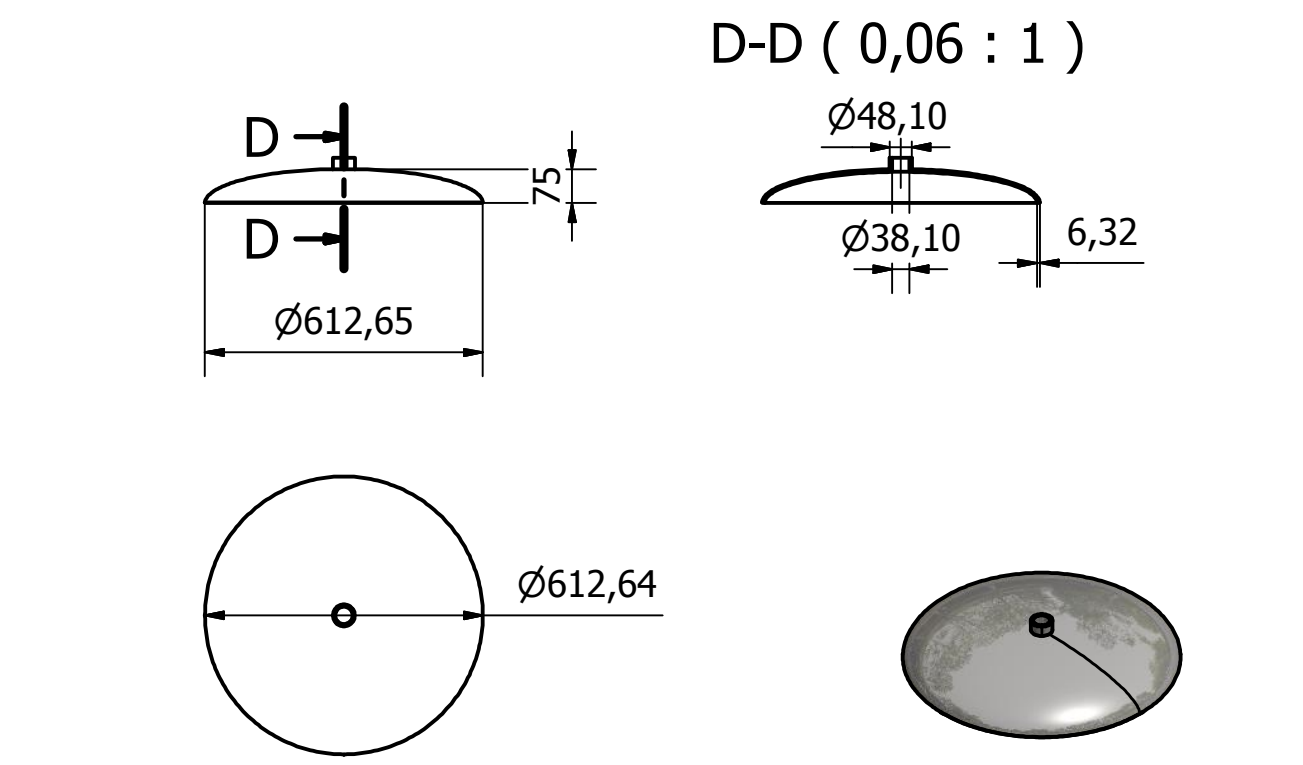
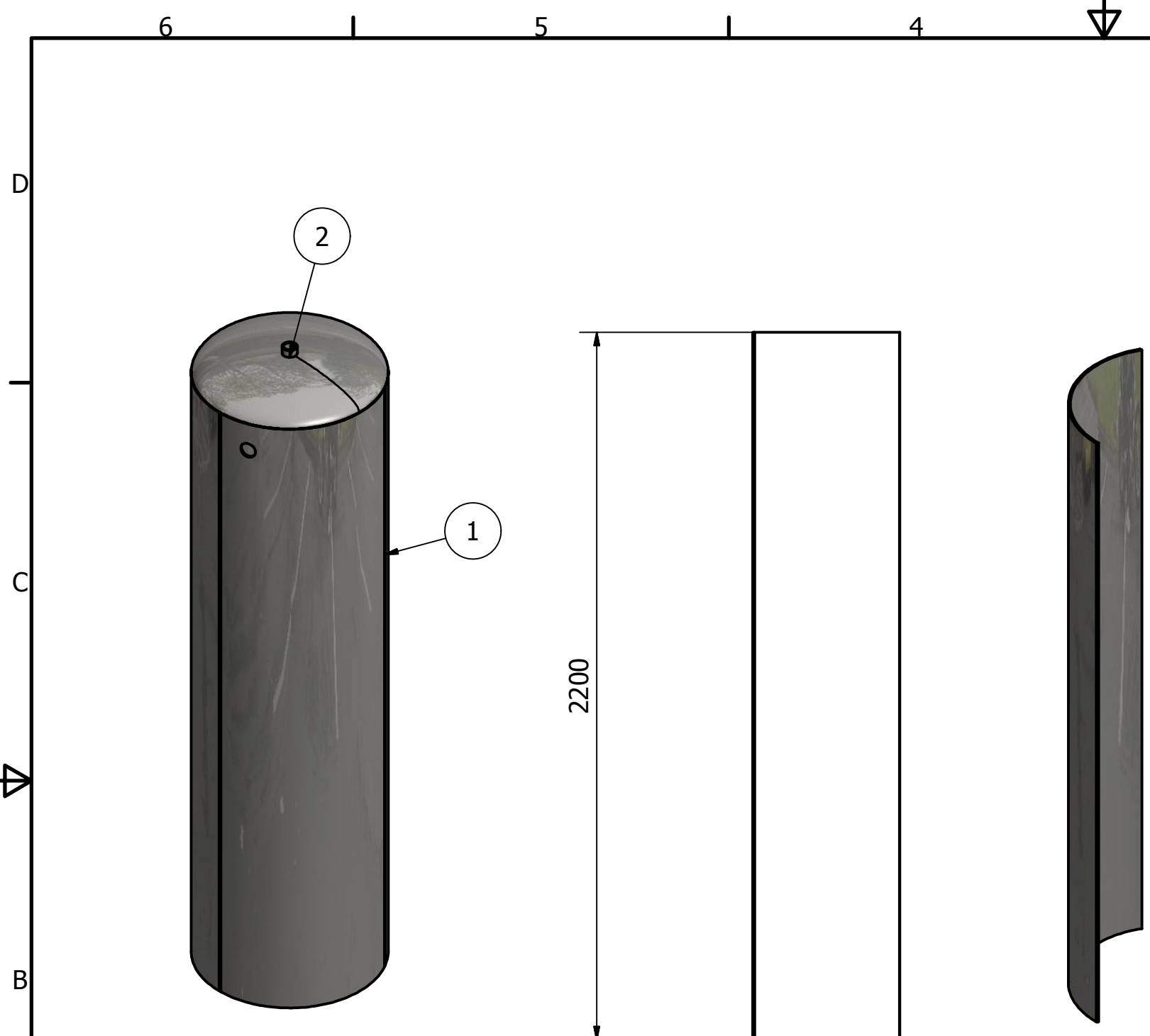
A

A

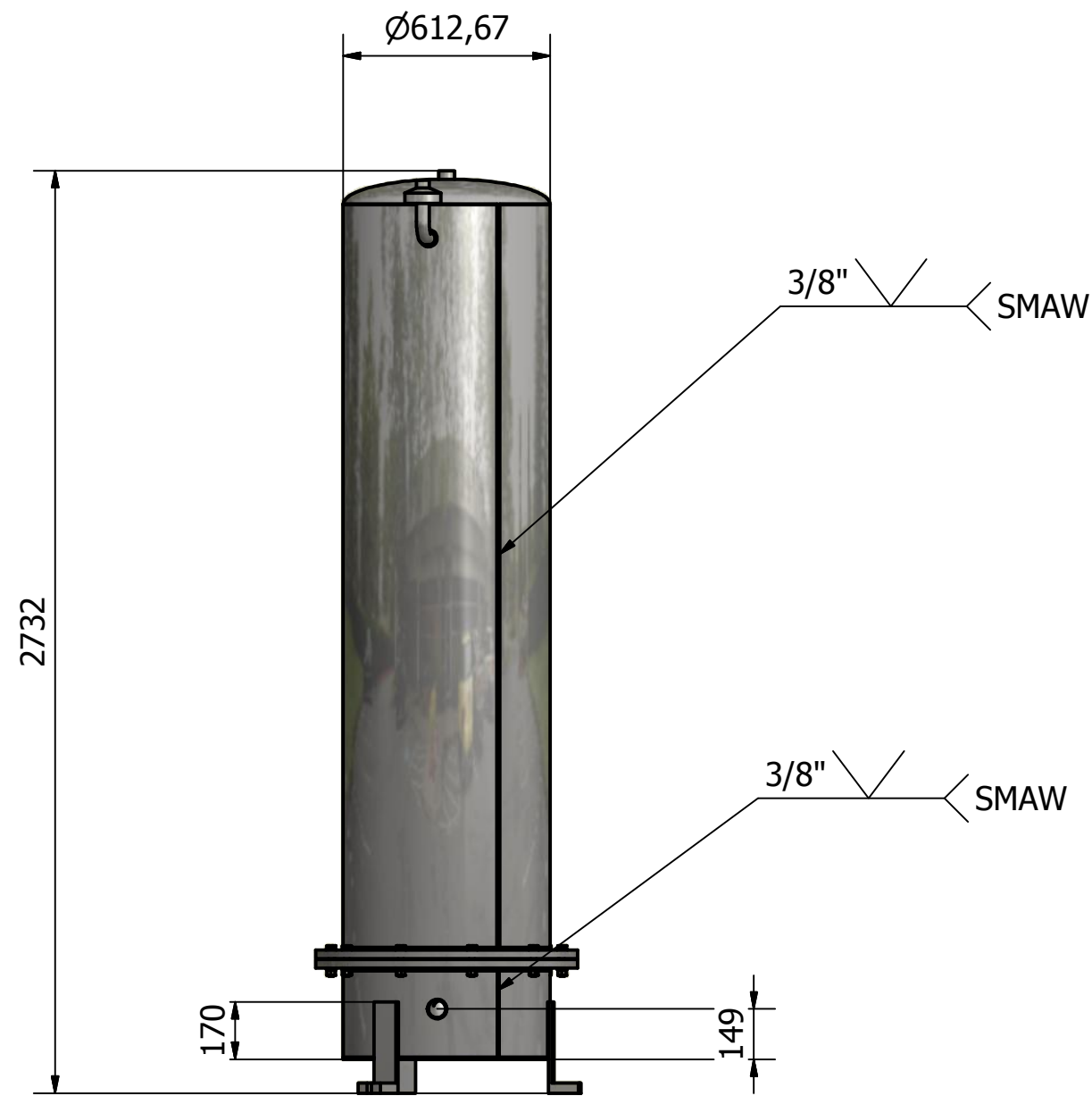
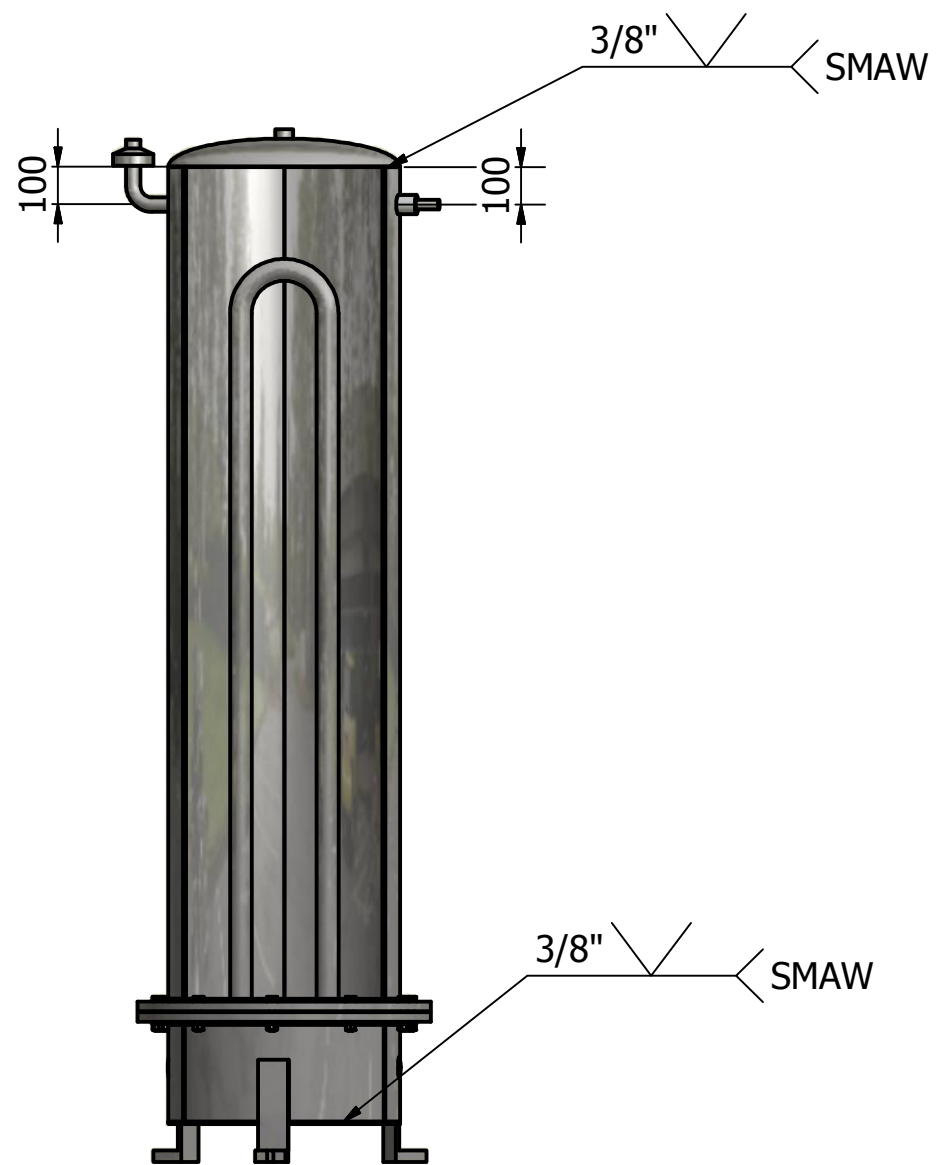
6 1 5 1 4 3 1 2 1 1

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

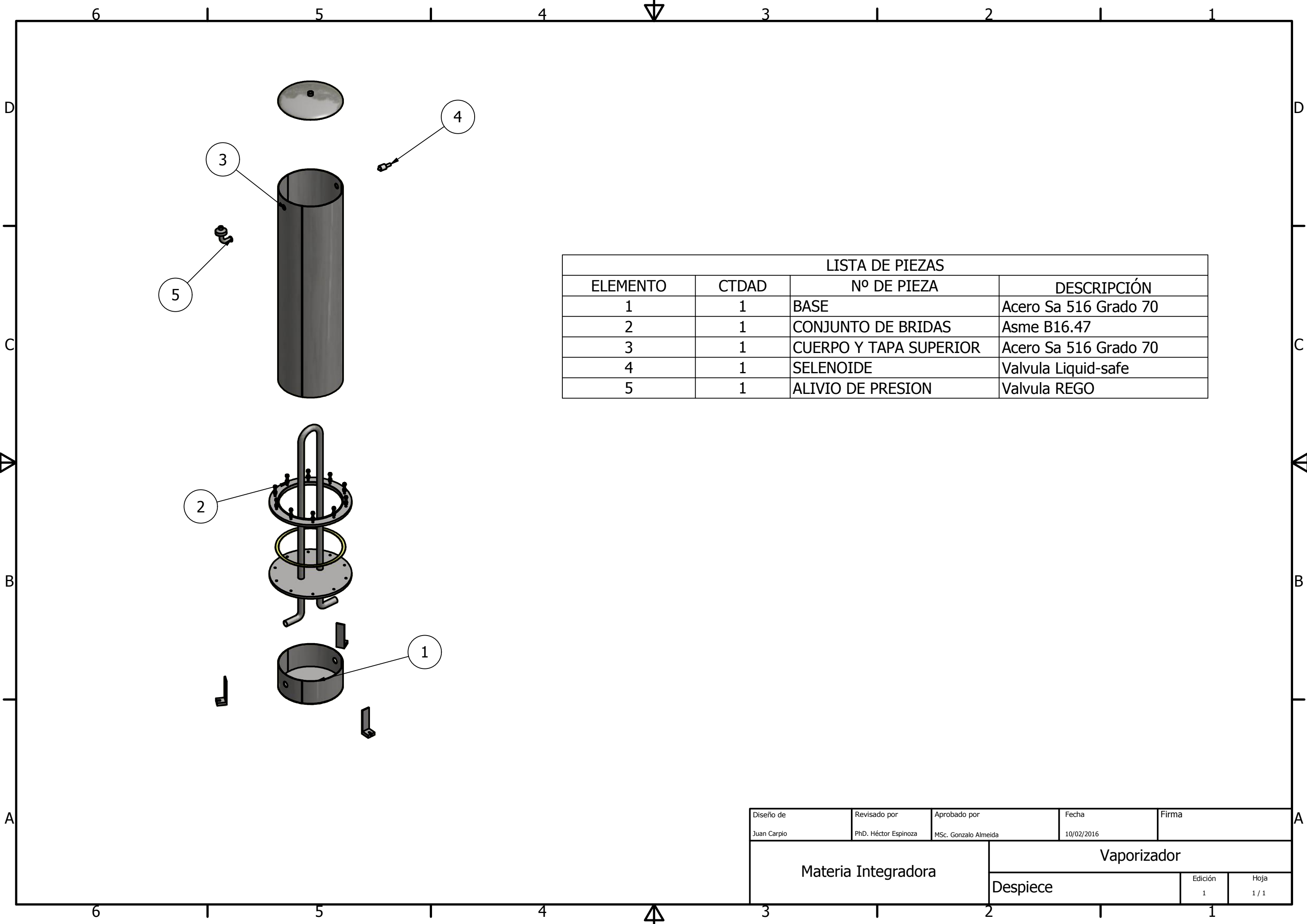


Diseño de JUAN CARPIO	Revisado por PhD. Héctor Espinoza	Aprobado por MSc. Gonzalo Almeida	Fecha 10/02/2016	Firma
MATERIA INTEGRADORA		VAPORIZADOR		
		CUERPO	Edición 1	Hoja 1 / 1



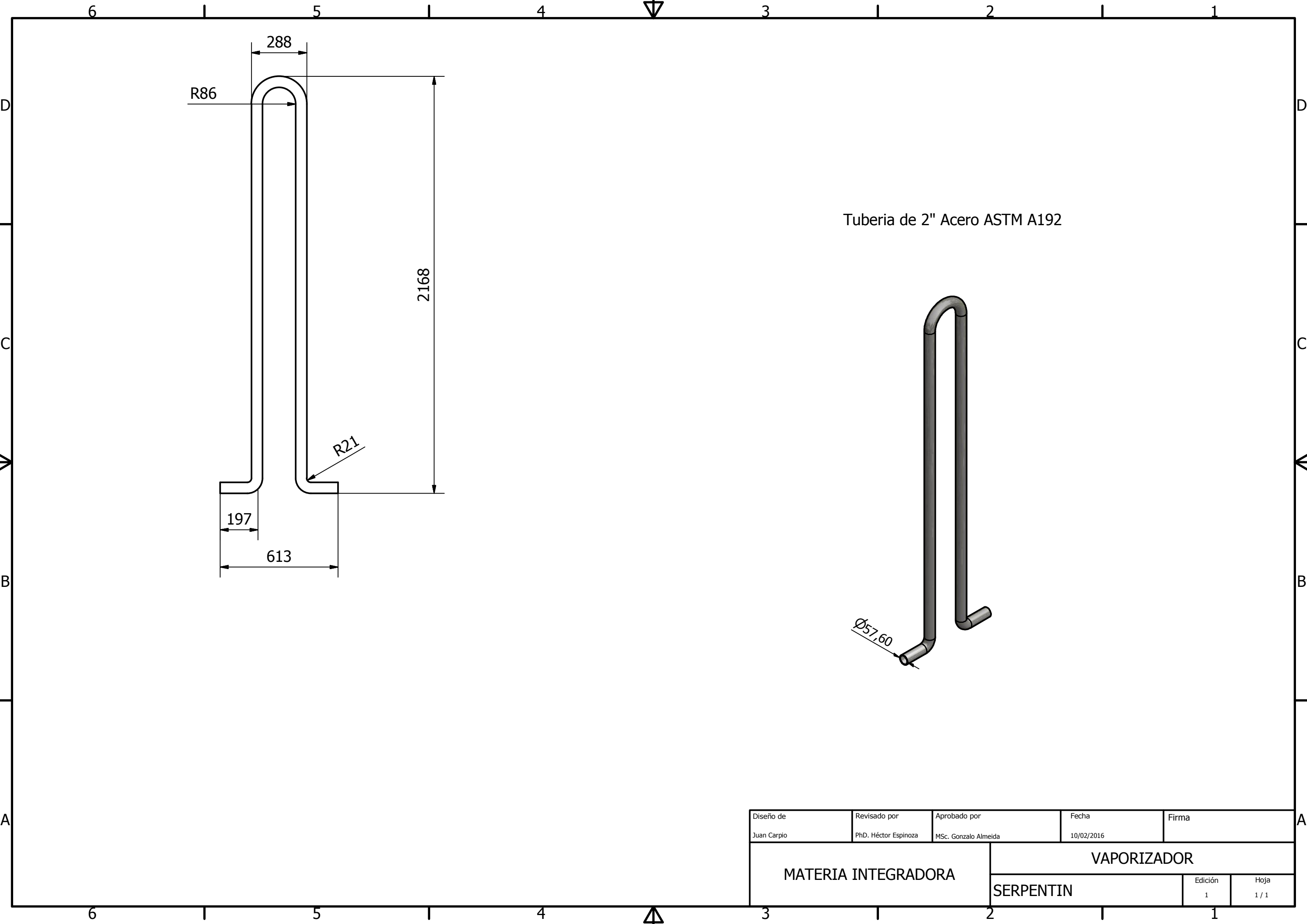
NOTA: Las soldaduras longitudinales son 3, todas tienen el mismo mecanizado, se detalla en los planos de cada elemento. Lo mismo sucede en las circunferenciales. el tamaño del cordón esta basado en la normativa AWS D1.1

Diseño de Juan Carpio	Revisado por PhD. Héctor Espinoza	Aprobado por MSc. Gonzalo Almeida	Fecha 10/02/2016	Firma
MATERIA INTEGRADORA		VAPORIZADOR		
		PLANO DE FABRICACION	Edición 1	Hoja 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 Juan Carpio	Revisado por PhD. Héctor Espinoza	Aprobado por MSc. Gonzalo Almeida	Fecha 10/02/2016	Firma
Materia Integradora		Vaporizador		
		Despiece	Edición 1	Hoja 1 / 1



Tuberia de 2" Acero ASTM A192

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