UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA

Tesis previa a la obtención del título de INGENIERO MECÁNICO

TEMA:
DISEÑO DE UN DEPURADOR DE LÍQUIDOS PARA EL SISTEMA DE ALIVIO Y VENTEO DE GLP PARA EP PETROECUADOR

AUTOR:
VERÓNICA EMILIA TAPIA CALDERÓN

DIRECTOR:
ORLANDO PINEDA PINTO

Quito, Julio del 2014

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SECRETARIA
CAMPUS KENNEDY
2014-0

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo Verónica Emilia Tapia Calderón autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de grado y su reproducción sin fines de lucro.

Además declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Verónica Emilia Tapia Calderón

CC: 1712513058

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico ha sido desarrollado en su totalidad por la señora Verónica Emilia Tapia Calderón.

Ing. Orlando Pineda

DIRECTOR DEL PROYECTO

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios por haber escuchado cada una de mis oraciones y fortalecido mi camino.

A mis padres Luis y Susana por su apoyo incondicional, que en este tiempo me han brindado, por toda su perseverancia y constancia de lucha que me han inculcado para lograr esta meta y sobre todo por creer en mí con entereza y amor.

A mis hermanas Carla, Paulina y Daniela por apoyarme incondicionalmente como la gran familia que somos.

A mi hija Emilia por su apoyo y paciencia durante todo este tiempo junto a mí y haciendo de mis logros, los suyos, gracias por existir.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Politécnica Salesiana, por haberme ayudado en mí desarrollo personal, profesional y espiritual.

A mis profesores y compañeros, por la contribución en mi formación académica durante este periodo. Al Ingeniero Orlando Pineda quien con su sabiduría y apoyo ha logrado la culminación de este proyecto con pasos firmes y claros.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 1

ANTECEDENTES 2

ALCANCE 3

OBJETIVOS 4

HIPÓTESIS 4

CAPÍTULO I 5

FUNDAMENTOS TEÓRICOS 5

1.1. Origen del Gas Licuado del Petróleo (GLP) 5

1.2. Extracción de petróleo y gas natural 5

1.3. Refinado de crudo de petróleo 6

1.4. Usos del GLP 6

1.5. Aplicación de normas para el diseño del depurador de líquidos 6

1.5.1. Proceso bajo norma API 521 7

1.5.2. Código ASME para calderas y recipientes a presión 9

1.6. Filosofía de diseño 11

1.7. Recipientes cilíndricos 12

1.7.1. Esfuerzos debido a cargas combinadas 12

1.7.2. Esfuerzo sobre una sección longitudinal 12

1.7.3. Esfuerzo sobre una sección transversal 14

1.8. Factores adicionales a considerar 15

1.8.1. Condiciones ambientales ó meteorológicas 15

1.8.2. Soldadura 15

1.8.3. Corrosión 18

1.8.4. Selección del material 19

1.8.5. Pintura en el recipiente 19

CAPÍTULO II 21

DISEÑO DE UN DEPURADOR DE LÍQUIDOS 21

2.1 Metodología del trabajo 21

2.1.1 Programa de consultas al EP PETROECUADOR 21

2.1.2 Aplicación de normas 21

2.1.3 Sistema de unidades a utilizar 21

2.2 Parámetros iniciales de diseño 22

2.3 Criterios de diseño 24

2.4 Dimensionamiento hidráulico 25

2.4.1 Cálculo de la densidad del gas 26

2.4.2 Determinación del coeficiente de arrastre C 27

2.4.3 Determinación de la velocidad de caída de la gota 28

2.4.4 Determinación de los diámetros de boquillas 28

2.4.4.1 Boquilla de entrada 30

2.4.4.2 Determinación de boquillas de salida de gas 30

2.4.4.3 Determinación de boquillas de salida de líquido 31

2.4.5 Determinación de los niveles 31

2.4.6 Determinación de la longitud mínima del depurador 34

2.4.7 Determinación del tiempo de caída de la gota 35

2.4.8 Determinación del área de la sección transversal del gas 35

2.4.9 Determinación de la velocidad del flujo de gas 36

2.5 Dimensionamiento mecánico 37

2.5.1 Presión de operación (Po) 37

2.5.2 Presión de diseño (P) 37

2.5.3 Presión de prueba (Pp) 38

2.5.4 Presión de trabajo máxima permisible 38

2.6 Cálculo del diseño de un depurador de líquidos para el sistema de alivio y venteo de GLP para el campo Monteverde 38

2.6.1 Cálculo del cuerpo 39

2.6.2 Espesor del cuerpo 40

2.6.2.1 Esfuerzo circunferencial o radial (Juntas longitudinales) 40

2.6.2.2 Esfuerzo longitudinal o axial (Juntas circunferenciales) 41

2.6.3 Cálculo de la cabeza elipsoidal 2:1 42

2.6.4 Diseño de aberturas 44

2.6.5 Cálculo de pesos y volúmenes del recipiente 45

2.6.5.1 Peso del cuerpo cilíndrico 45

2.6.5.2 Peso de las cabezas 46

2.6.5.3 Peso total del recipiente 46

2.6.5.4 Peso del contenido 46

2.6.6 Diseño de las silletas 47

2.6.7 Análisis de esfuerzos en recipientes cilíndricos horizontales con dos sillas 48

2.6.7.1 Esfuerzo flexionante longitudinal 50

2.6.7.2 Esfuerzos máximos permisibles 52

2.6.7.3 Esfuerzo cortante tangencial 52

2.6.7.4 Esfuerzo circunferencial 54

2.6.8 Diseño orejas de izaje 55

2.6.9 Boquillas en recipientes a presión 58

2.6.9.1 Cálculo de espesores de las boquillas 58

2.6.9.2 Cálculo boquilla N9 62

2.6.9.3 Cálculo boquilla N1 Y N2 Entrada y Salida de gas 65

2.6.9.4 Cálculo boquillas N3, N4, N5, N6A, N6B, N7 y N8 68

2.7 Relación de diseño con el método clásico 70

2.7.1 Factor de seguridad 71

2.7.2 Recipientes de pared delgada método clásico 72

2.7.3 Distribuciones del esfuerzo en soldadura 73

CAPÍTULO III 75

SIMULACIÓN DEL DEPURADOR DE LÍQUIDOS PARA EL SISTEMA DE ALIVIO Y VENTEO DE GLP PARA EP PETROECUADOR 75

3.1 Elementos básicos 77

3.2 Ingreso de datos 77

3.3 Patrones de carga 78

3.4 Selección del material 81

3.5 Ubicación de las boquillas 81

3.6 Determinación de errores 83

3.7 Resultados obtenidos 84

3.8 Análisis de resultados con relación a los cálculos 87

CAPITULO IV 88

PRESUPUESTO ESTIMADO PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DEPURADOR DE LÍQUIDOS 88

4.1 Presupuesto general 88

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 93

CONCLUSIONES 93

RECOMENDACIONES 94

BIBLIOGRAFÍA 96

ANEXOS 97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Estructura división 1 10
Tabla 1.2. Condiciones ambientales 15
Tabla 1.3. Eficiencia de la soldadura 17
Tabla 2.1. Sistema de unidades a utilizar 22
Tabla 2.2. Datos de proceso 24
Tabla 2.3. Determinación del peso molecular del gas 26
Tabla 2.4. Resumen de los niveles 34
Tabla 2.5. Datos para el diseño del cuerpo 39
Tabla 2.6. Dimensiones típicas de orejas de izaje 57
Tabla 2.7. Datos de ingreso para calcular boquillas 61
Tabla 2.8. Denominación de boquillas 62
Tabla 3.1. Datos de boquillas 82
Tabla 4.1. Desglose costos directos para ejecución de las obras 90
Tabla 4.2. Desglose costos indirectos 91
Tabla 4.3. Costo general 91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Determinación del coeficiente de arrastre. 8
Figura 1.2. Esfuerzo sobre una sección longitudinal 13
Figura 1.3. Esfuerzo en sección transversal de un cilindro de pared delgada 14
Figura 2.1. Gráfica para determinar el tamaño optimo del recipiente 23
Figura 2.2. Área transversal del depurador de líquidos. 25
Figura 2.3. Determinación del coeficiente de arrastre. 27
Figura 2.4. Altura de los niveles 32
Figura 2.5. Cabeza elipsoidal 43
Figura 2.6. Detalle de silleta 47
Figura 2.7. Distancias para cálculos de esfuerzos. 49
Figura 2.8. Orejas de izaje. 55
Figura 2.9. Distancias de oreja de izaje. 56
Figura 2.10. Distribución de boquillas 58
Figura 2.11. Espesores de boquillas 59
Figura 3.1. Pantalla inicial para los datos. 75
Figura 3.2. Selección de parámetros iniciales 76
Figura 3.3. Selección de posición del recipiente 76
Figura 3.4. Datos de diseño 78
Figura 3.5. Datos de diseño, sismo 79
Figura 3.6. Datos de diseño, viento 79
Figura 3.7. Datos de diseño cuerpo y cabeza 80
Figura 3.8. Selección tipo de cabezas para el diseño 81
Figura 3.9. Selección de material 81
Figura 3.10. Pantalla para ingresar datos de boquillas 82
Figura 3.11. Resultados finales correctos del recipiente. 84
Figura 3.12. Análisis de resultados cabeza y cuerpo. 85
Figura 3.13. Análisis de resultados boquillas. 86

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Separador: Un separador es un contenedor que aísla los componentes del gas del líquido de la corriente del pozo, utilizado comúnmente en campo. El separador puede ser o bien bifásico o trifásico. Los separadores bifásicos pueden ser verticales u horizontales según convenga, estos separan el líquido total del gas, mientras que los separadores trifásicos también separan el agua libre del líquido de hidrocarburo.

Atiesadores: Elemento constructivo fijador que sirve para mantener en una posición otro elemento sometido a carga o empuje. De esta manera se controla el desplazamiento lateral del alma, controla el pandeo del cuerpo debido a la presencia de flexión y brinda estabilidad al recipiente.

Scrubber: Un scrubber o depurador es un tipo de separador diseñado para manejar corrientes de flujo con relaciones de líquido-gas inusualmente altas. Estos se utilizan comúnmente con los deshidratadores, plantas de extracción, instrumentos o compresores para protección contra arrastre de líquidos.

Knock-out drum: Un eliminador o Knock-out drum es un tipo de separador que está incluido en una de las dos categorías: despojador de agua libre y despojador de líquidos totales.

a) El despojador de agua libre es un recipiente usado para separar agua libre de la corriente de gas, crudo y agua. El gas y el crudo usualmente dejan el recipiente a través de la misma salida para ser procesado por otro equipo. El agua es removida para su disposición final.

b) El despojador de líquidos totales es normalmente usado para remover los líquidos combinados de una corriente de gas.

Máxima presión de trabajo permitida: La máxima presión de trabajo permitida (MAWP por sus siglas en inglés) es la presión máxima permitida por el Código ASME, en la parte superior del separador en su posición de funcionamiento normal para una temperatura determinada.

Presión de operación: La presión de operación es la presión en el recipiente durante el funcionamiento normal. La presión de operación no excederá la MAWP, y normalmente se mantiene en un valor adecuado por debajo del ajuste de la presión de alivio de dispositivos para evitar su apertura frecuente.

Tiempo de residencia: Este tiempo conocido también como tiempo de retención se lo considera como uno de los parámetros más importantes en el desempeño de un recipiente a presión, el cual depende de la condición físico-químicas del hidrocarburo y el caudal que entran en el mismo. Dependiendo de la gravedad API (Instituto de Petróleo Americano), que es una medida de densidad, así como de la temperatura a la cual opera el separador.

En este proyecto el tiempo de residencia es de 2 a 3 min. para el separador.

Sistema de producción: Un sistema de producción es aquel que proporciona una estructura que agiliza la descripción, ejecución y el planteamiento de un proceso industrial. Además, tiene la capacidad de involucrar las actividades y tareas diarias de adquisición y consumo de recursos.

Producción intermitente: Es aquella en la cual la producción debe ser suficientemente flexible para manejar una gran variedad de cambios de entrada y salida de material. Sin embargo, será inevitable cuando la demanda de cualquier producto no es lo bastante grande para utilizar el tiempo total de la producción continua. De esta manera en este tipo de sistema generalmente la empresa fabrica cualquier producto en volúmenes de salida pequeños relacionados a la elaboración total.

Abrasión: Es la acción mecánica de rozamiento y desgaste que provoca la manipulación y transporte de un material en diferentes procesos.

Aislamiento térmico: Es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor, basado en el contacto directo entre los cuerpos.

Biselado: rectificado de los bordes de un material hasta convertirlo en una superficie angular plana similar a la letra V.

Cargas flexionantes: Son aquellas que se generan al aplicar un par de fuerzas sobre un elemento, donde esta puede ser positiva o negativa.

Condensados: se refiere a cualquier mezcla de hidrocarburos relativamente ligeros que permanecen a temperatura y presión normales.

Refinación: proceso de purificación de una sustancia química obtenida muchas veces a partir de un recurso natural.

Trasvase: es la acción y efecto de pasar un líquido de un recipiente a otro.

Flujo másico: es la cantidad de masa que fluye a través del sistema por unidad de tiempo, la cual se obtiene multiplicando el flujo volumétrico por la densidad del fluido.

Flujo volumétrico: es aquel que se mide en unidades de volumen sobre tiempo, donde el volumen es el espacio que ocupa la materia.

Forjado: este proceso consiste en dar forma a un metal.

Hidrocarburos: son compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno.

Olefinas: grupo de hidrocarburos que contienen en su estructura molecular, por lo menos, un doble enlace entre átomos de carbono.

Pandeo: es un fenómeno de inestabilidad elástica que se puede dar en elementos comprimidos esbeltos, la cual aparece como desplazamiento transversal a la dirección de compresión.

Pasivar: es cuando sobre la superficie de un material, preferible metal, se forma una película relativamente inerte, que lo envuelve en contra de agentes externos.

Radiografiado: son pruebas o ensayos de carácter no destructivo, que se realizan a los materiales con el fin de determinar la presencia de defectos en las soldaduras de equipos tales como recipientes a presión.

RESUMEN

En este trabajo el objetivo principal es el diseño de un depurador de líquidos para una planta de GLP, utilizando para ello las normas, API 521 para el diseño de procesos y ASME Sección VIII, División 1 para el diseño mecánico, como principal elemento.

Este proyecto comienza con los datos suministrados por el cliente, luego se realizan los diferentes cálculos de procesos y en seguida mecánicamente se diseña el cuerpo, los cascos, silleta y boquillas.

La necesidad de esta estación surge debido a que EP Petroecuador quiere mejorar y edificar nuevos ductos que controlen el producto recibido de Flopec, para la zona sur del país, construida exclusivamente para el abastecimiento de GLP (gas licuado de petróleo).

En la introducción, se podrá encontrar todo lo relacionado con ubicación, geografía y alcance del proyecto.

El primer capítulo, tratará sobre los fundamentos teóricos que guíen con conceptos que más adelante se mencionarán, con el fin de comprender los diferentes cálculos y criterios tomados.

En el segundo capítulo, se mencionarán las unidades con las cuales se trabajará durante todo el proyecto, ecuaciones y dimensionamientos, tanto en el área de procesos, como inicio de los cálculos, donde se refleja la geometría en la cual estará basado el diseño, y el dimensionamiento mecánico, en el que se provee del espesor del cuerpo y cascos, y las diferentes boquillas. Un análisis con un software dará una breve noción de los cálculos realizados.

Para finalizar en el último capítulo se presentarán los costos estimados de construcción del depurador de líquidos.

Esta tesis esta realizada con el fin de ayudar a las personas interesadas en el estudio a fondo de un recipiente a presión, como guía en este tema.

ABSTRACT

In this paper the main objective is the design of a liquid cleaner for LPG plant, using standards, API 521 for process design and ASME Section VIII, Division 1 for mechanical design as the main component.

This project begins with the data supplied by the client, then the different calculations of processes is performed and then the body is designed mechanically, helmets, saddle and nozzles.

The need for this arises because EP Petroecuador Station want to improve and build new pipelines to control the product received from Flopec, to the south of the country, built exclusively for the supply of LPG (liquefied petroleum gas). In the introduction, can find it everything on location, geography and scope of the project.

In the first chapter, will deal with the theoretical foundations to guide with concepts that are mentioned below, in order to understand the various calculations and criteria taken.

In the second chapter, the units with which they will work throughout the project, equations, and sizings, in the process area, as the beginning of the calculation, where the geometry which will be based design is reflected will be mentioned, and mechanical dimensioning, which is provided in the thickness of the body and helmets, and the different nozzles. A software analysis will give a brief idea of the calculations.

Finally in the last chapter of the estimated construction costs of the scrubber liquid is presented.

This thesis is made in order to help people interested in depth study of a pressure vessel, as a guide in this topic.

INTRODUCCIÓN

En el campo petrolero, en el transcurso del tiempo se han ido desarrollando e innovando cada uno de los métodos que se utilizan para el almacenamiento de los diversos fluidos y de esta manera disponer de ellos cuando sean necesarios. Esta tesis se enfoca en el diseño y en los cálculos de un depurador de líquidos para el sistema de alivio y venteo de GLP, donde los requerimientos para estos recipientes lo gobierna el código ASME sección VIII, división 1, por la presión y temperatura a la que se va a exponer el proceso.

Este proyecto está enfocado en el conocimiento y análisis de los recipientes a presión, basándose en el conocimiento de las normas API 521, que brinda características específicas en la parte de procesos y para la parte mecánica el código ASME sección VIII, división 1, que sirve de guía para la resolución de los cálculos de cada una de sus partes como son: cabezas, cuerpo, sillas, orejas de izaje y la adecuada ubicación de sus respectivas boquillas.

Este proceso de titulación se orienta al diseño del depurador con el 50% de su flujo másico por ser un sistema intermitente, que proviene del sistema de alivio y venteo de GLP por requerimiento del cliente, siendo esta la diferencia de otros recipientes. Donde se busca un diseño más económico sin descuidar parámetros de calidad y eficiencia.

El recipiente está diseñado para estar expuesto externamente a la presión atmosférica, de esta manera no será posible someterlo a presiones externas que varíen en gran cantidad, garantizando el buen funcionamiento del mismo y considerando una adecuada durabilidad sin tener que preocuparse por la seguridad, pues el código ASME sección VIII, división 1 provee de un factor de seguridad que guía en el diseño, así como los materiales seleccionados están bajo las condiciones del mismo.

ANTECEDENTES

Para EP Petroecuador mejorar la calidad de los combustibles es una prioridad, construir nuevas plantas de refinación y de este modo cubrir la demanda interna de derivados; en su visión se rescata la rehabilitación de las refinerías existentes, repotenciar la red de poliductos actuales y construir nuevos ductos entre estos Monteverde.

Actualmente se está elaborando el Proyecto de abastecimiento de Gas Licuado de Petróleo (GLP) para la zona sur del Ecuador que consiste de una estación de bombeo de GLP ubicada en Monteverde y un Terminal de almacenamiento de GLP ubicado en el sector denominado El Chorrillo en la ciudad de Guayaquil, la estación estará dotada de tres recipientes de almacenamiento de 110 TM de capacidad, islas de carga para el despacho a granel de GLP para las provincias de Manabí y la provincia de Santa Elena, bombas principales del ducto de GLP que une Monteverde con El Chorrillo, sistema de medición para el control del producto recibido de FLOPEC tanto para re-bombeo como para almacenamiento en los recipientes, sistemas de compresores para trasvase, bombas para la isla de carga, unidad de re-licuefacción para re-licuar los vapores de la planta, sistema contra incendio de la estación de bombeo, sistema de disposición de los gases de alivio y venteo de ambas plantas (alcance de este proyecto), así como toda la infraestructura necesaria para este tipo de proyectos, tales como: edificios, dormitorios, combustibles para uso interno, talleres, laboratorio pesaje de tanqueros etc.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La Estación de Bombeo Monteverde se ubica en el cantón Libertad, provincia de Santa Elena, cerca de la población de Monteverde; el sitio de implantación de la Estación se ubica entre las cotas 5 y 20 msnm, entre las coordenadas siguientes (UTM PSAD56):

Este	Norte
530 750	9 771 098
531 581	9 771 117
531 301	9 770 331
531 595	9 770 509

Coordenadas Geográficas Monteverde.
Fuente: EP Petroecuador

JUSTIFICACIÓN

Para poder garantizar que todo el GLP que se envía al Sistema de disposición de los gases de alivio y venteo, esté libre de condensados se requiere diseñar un K.O.D. (Depurador de Líquidos), el cual evacuará los condensados de agua y otros líquidos por medio de un sistema de bombeo.

ALCANCE

Realizar el diseño de un Depurador de Líquidos para el proyecto "Sistema de Disposición de Gas (GLP) de Alivio y Venteo" en la estación Monteverde, para EP PETROECUADOR, ubicada en la provincia de Santa Elena, en donde por ser un sistema de producción intermitente se manejará un flujo másico de diseño del 50% de 28471 Lb/hr de GLP, dato suministrado por EP PETROECUADOR, para la parte de procesos se realizará bajo la Norma API 521 (Guide for Pressure Relieving and Depressuring System) y el diseño mecánico del recipiente se realizará según la norma ASME VIII-DIV 1 (Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 1: Rules for Construction of Pressure Vessels), cálculos, selección de materiales específicos requeridos para la construcción.

Incluye la elaboración de planos, estimado de costos y simulación.

OBJETIVOS

A continuación se describen los objetivos generales y específicos de este trabajo.

Objetivo General

Diseñar un depurador de líquidos para el sistema de alivio y venteo de GLP para EP Petroecuador.

Objetivos Específicos

- Realizar los cálculos de diseño.
- Garantizar el diseño del sistema bajo normas específicas.
- Satisfacer los requerimientos de EP Petroecuador.
- Elaborar planos de construcción.

HIPÓTESIS

El diseño de un depurador de líquidos es adecuado para el sistema de alivio y venteo de GLP en la estación Monteverde para EP Petroecuador.

CAPÍTULO I
FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1. Origen del Gas Licuado del Petróleo (GLP)

El GLP a temperatura ambiente y a presión atmosférica se encuentra en fase gaseosa y pasan a líquido a presiones relativamente bajas y está constituido por hidrocarburos de tres y cuatro átomos de carbono.

"El Gas Licuado del Petróleo tiene dos orígenes: el 60% de la producción se obtiene durante la extracción de gas natural y petróleo del suelo. El 40% restante se produce durante el proceso de refinación del crudo del petróleo.

El GLP es por naturaleza un producto secundario, que de no ser aprovechado como fuente energética, continuaría siendo un producto indeseable. En el pasado, el Gas Licuado se destruía por venteo o quema en antorcha, por lo que se desperdiciaba el enorme potencial de esta extraordinaria fuente energética.

Aunque el Gas Licuado está asociado a la producción de gas natural y crudo de petróleo, es una de las energías con mayor potencial calorífico, pudiendo desempeñar prácticamente cualquiera de las funciones de los combustibles primarios de los que se deriva, además cuenta con amplias ventajas medioambientales y económicas respecto a la mayor parte de las energías tradicionales"(Origen del gas licuado: Autotecnigas).

1.2. Extracción de petróleo y gas natural

En la extracción se debe observar las características propias de cada yacimiento; pues cuando de la tierra se extrae gas natural y crudo de petróleo, lo que se obtiene es una mezcla formada por distintos gases y líquidos, de la que el Gas Licuado supone aproximadamente un 5%. Para transportar o utilizar el gas natural o el petróleo, es necesario separar los gases que forman el GLP. Pues son ligeramente más pesados.

1.3. Refinado de crudo de petróleo

La refinación es un proceso complejo del petróleo que aprovecha las temperaturas en punto de ebullición para la separación de los hidrocarburos y de esta manera obtener combustibles y productos químicos de uso doméstico e industrial. En varias de esas etapas, como las de destilación atmosférica, reformado, craqueo y otras, se produce Gas Licuado a partir del petróleo. Los gases que componen el GLP (butano y propano) están atrapados en el crudo. Además, el petróleo como proceso adicional se separa en fracciones que después darán origen al GLP.

Así se podrá ver en el mercado como productos principales el GLP, estos son los primeros productos que se desprenden a lo largo del proceso de preparación de combustibles más pesados, como gasolina, combustible de aviación, diesel utilizado para vehículos y en la generación de energía eléctrica. Además un barril de crudo típico refinado genera el 3% de GLP, aunque sería posible transformar en Gas Licuado hasta el 40% del barril.

1.4. Usos del GLP

Los usos principales del GLP son los siguientes:

- Obtención de olefinas, utilizadas para la producción de numerosos productos, entre ellos, la mayoría de los plásticos.
- Combustible para automóviles.
- Combustible de refinería.
- Combustible doméstico (mediante cilindros o redes de distribución).
- Combustible de uso industrial y comercial.

1.5. Aplicación de normas para el diseño del depurador de líquidos

Para el desarrollo de la tesis se utilizarán las ediciones más recientes de las Normas, Procedimientos, Manuales, Guías, hojas de cálculos u otros documentos técnicos. Las Normas y Códigos aplicables, serán aquellas establecidas para este tipo de evaluación API, ASME y cualquier otra que aplique y no esté descrita tácitamente en este documento. De existir algún conflicto entre dos ó más documentos, se deberá tomar el criterio más conservador y beneficioso para el desarrollo de la seguridad del diseño,

de no haber documentos que describan alguna situación en particular, se recurre a las mejores prácticas de ingeniería, previa aprobación por parte de EP PETROECUADOR.

- API Std. 521. "Pressure – Relieving and Depressuring Systems".
- ASME VIII Division 1 "Rules for Construction of Pressure Vessels"

1.5.1. Proceso bajo norma API 521

Según la norma API 521, el dimensionamiento de un depurador de líquidos es generalmente un proceso de ensayo y error. El primer paso consiste en determinar el tamaño del recipiente requerido para la separación del arrastre de líquido. Las partículas de líquido se separarán de acuerdo a la norma mencionada:

"(a) cuando el tiempo de residencia del vapor o gas sea igual o mayor que el tiempo requerido para recorrer la altura vertical a la velocidad de caída de las partículas líquidas, y (b) cuando la velocidad vertical del gas es suficientemente baja para permitir la caída de las gotas. Esta altura vertical es usualmente tomada como la distancia desde la superficie liquida. La velocidad vertical del vapor y gas debe ser suficientemente baja para prevenir grandes balas de líquido desde la entrada al mechero"(Presure-relieving and Depressuring Systems, 2007)(p. 116).

Como el mechero puede manejar pequeñas gotas de líquido, la velocidad vertical permisible en el depurador de líquidos puede estar basada en lo necesario para separar gotas desde 300 micrómetros hasta 600 micrómetros de diámetro. La velocidad de caída de una partícula en una corriente es calculada usando la ecuación 1.1:

$$Uc = 1{,}15 * \frac{\sqrt{g * D * (\rho_l - \rho_v)}}{\rho_v * C} \qquad \text{Ec. 1.1}$$ [1]

Donde:

U_c = velocidad de caída de las gotas (pies/s) (m/s)

[1] API Std 521 2007

g = aceleración de gravedad (32 pies/s) (9.8 m/s)

D = diámetro de las partículas (pies) (m)

ρ_l= densidad del líquido a condiciones de operación (lb/pie^3) (kg/m^3)

ρ_v= densidad del vapor a condiciones de operación (lb/pie^3) (kg/m^3)

C = coeficiente de arrastre (ver figura 1.1)

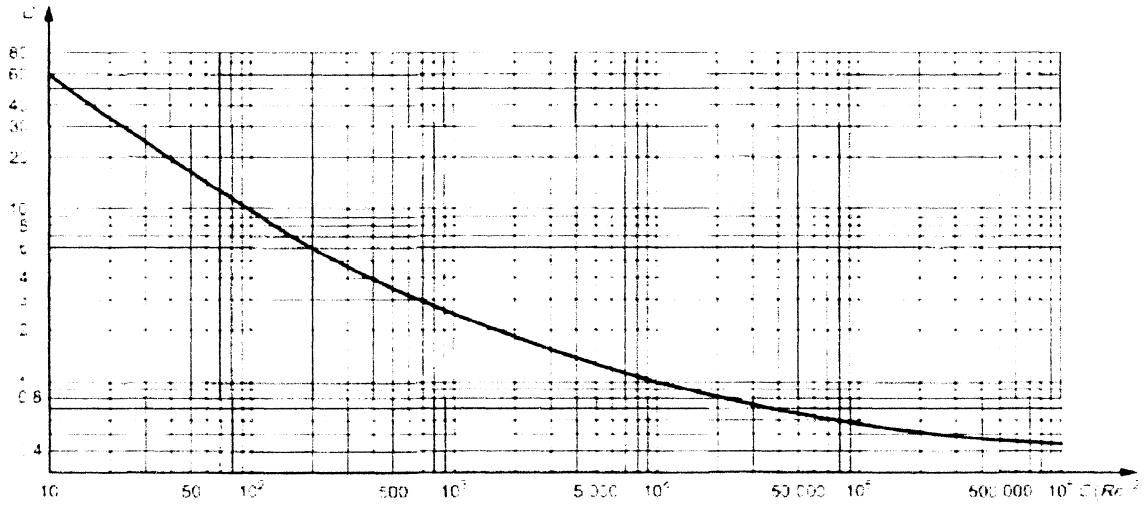


Figura 1.1. Determinación del coeficiente de arrastre.

Fuente: API Std. 521

Esta ecuación básica es ampliamente aceptada por todas las formas de separación de arrastre.

El segundo paso en el dimensionamiento de un depurador de líquidos es considerar el efecto de cualquier líquido contenido en el recipiente el cual reduce el volumen disponible para la separación vapor/líquido. Este líquido puede resultar como se indica en la norma: "(a) condensado que se genera de la separación del alivio de vapor, o (b) corrientes de líquido que acompaña el alivio del vapor. El volumen ocupado por el líquido debe estar basado en el alivio de los últimos 20 a 30 minutos"(Presure-relieving and Depressuring Systems, 2007)(p.117). Cualquier acumulación de líquido retenido proveniente de alivios previos (desde válvulas de alivio de presión) u otras fuentes deben ser sumadas al líquido indicado en los ítems

(a) y (b) para determinar el espacio disponible para la separación del vapor. Sin embargo, es usual que no se considere necesario los siguientes volúmenes relacionados al vapor en separación en las siguientes situaciones: aquel en el cual el depurador de líquidos es usado para contener grandes volúmenes de líquido provenientes de válvulas de alivio de presión de otras fuentes de donde no hay indicador intermitente y el líquido puede ser removido rápidamente.

1.5.2. Código ASME para calderas y recipientes a presión

Está compuesto por 11 secciones reglamentadas en forma general para la construcción de recipientes a presión, la construcción de calderas y reactores nucleares. Además, incluye los requerimientos de diseño, selección de materiales, fabricación, pruebas, inspección y estampado.

Básicamente el Código establece las normas y procedimientos para la elaboración de recipientes a presión en la Sección VIII. Esta sección está constituida por tres divisiones que son:

- División 1. "Reglas para la Construcción de Recipientes a Presión".
- División 2. "Reglas Alternativas para la Construcción de Recipientes a Presión"
- División 3. "Reglas Alternativas para la Construcción de Recipientes de Alta Presión".

En la División 1 la organización está dividida por tres sub-secciones y apéndices los cuales pueden ser de cumplimiento obligatorio o no. A continuación la estructura de la división en forma reducida en la tabla 1.1:

Sub-sección A	**Parte**	**Descripción**
Requerimientos Generales	UG	Requerimientos generales para todos los métodos de construcción y todos los materiales

Sub-sección B	Parte	Descripción
Pertinente a los métodos de fabricación	UW	Mediante soldadura
	UF	Mediante forjado
	UB	Mediante soldadura con latón

Sub-sección C	Parte	Descripción
Pertinente a los tipos de materiales	UCS	Aceros al carbono y de baja aleación
	UNF	Materiales no ferrosos
	UHA	Aceros de alta aleación
	UCI	Hierro fundido
	UCL	Material con revestimiento con planchas soldadas
	UHT	Aceros férricos con tratamiento térmico
	ULW	Construcción de capas
	UG	Requerimientos generales para todos los métodos de construcción y todos los materiales

Tabla 1.1. Estructura división 1

Fuente: ASME Sección VIII, División 1

Los apéndices obligatorios son aquellos que encierran aspectos específicos en la construcción de los recipientes, los cuales no se indican en las sub-secciones descritas anteriormente.

Los apéndices no obligatorios son aquellos donde su uso no es necesario pues suministran información y emiten recomendaciones para la construcción de recipientes.

La Sección VIII División 1 tiene por objetivos específicos, indicar requerimientos obligatorios, prohibiciones, especificaciones y recomendaciones no obligatorios para el diseño, selección de materiales, fabricación, inspección, exámenes, pruebas y certificaciones de recipientes a presión.

Se puede observar que el Código no es cerrado en relacionar criterios de ingeniería, que colaboren con el diseño de los recipientes, siempre y cuando se siga la filosofía del mismo; en donde se deben respetar las prohibiciones y requerimientos obligatorios.

Además se debe resaltar que el estampado ASME, es el sello con el cual se identificará a un recipiente construido bajo las reglas aplicables del código, este se localizará en las paredes o en la placa de identificación, realizado por empresas certificadas.

Se debe asegurar que la presión de diseño sea menor o igual a 3000 psig para poder utilizar esta división, es una de los requerimientos de la Norma. Para presiones mayores, se generan desviaciones diferentes de esta división. Sin embargo, si estas desviaciones son ajustadas, y se cumplen con las exigencias, el recipiente se puede estampar bajo esta división.

1.6. Filosofía de diseño

El Código ASME Sección VIII, División 1, en el diseño de recipientes a presión, no requiere un detalle minucioso de todos los esfuerzos, ya que se basa por reglas. Se admite que altos esfuerzos secundarios elevados flexionantes pueden existir pero son aceptados debido al uso de un factor de seguridad elevado y reglas de diseño para detalles. Sin embargo, se requiere que todas las cargas sean consideradas.

Mientras el Código da fórmulas para el espesor y los esfuerzos de componentes básicos, dependerá del diseñador los procedimientos analíticos para determinar los esfuerzos debidos a otras cargas de ser necesario.

Como diseñador se debe entender los diversos tipos de esfuerzos y cargas que existen para obtener un diseño económico y seguro. El diseñador también debe considerar algunas teorías de esfuerzos y fallas con el fin de combinar esfuerzos y fijar límites de esfuerzos admisibles. Es en contra de los modos de falla que se debe comparar e interpretar los valores de esfuerzos.

1.7. Recipientes cilíndricos

Los recipientes cilíndricos están sometidos a los siguientes esfuerzos:

1.7.1. Esfuerzos debido a cargas combinadas

Cuando el cilindro es de paredes delgadas el esfuerzo en la pared o cuerpo del cilindro debido a la presión interna del fluido puede considerarse que se encuentra distribuido de forma uniforme en la sección transversal, y de esta manera los cálculos del esfuerzo no incurre en errores serios.

Para el cálculo de las partes fundamentales se debe relacionar sobre una sección longitudinal y sobre una sección transversal.

1.7.2. Esfuerzo sobre una sección longitudinal

En la figura 1.2 se puede ver un corte de un cilindro de paredes delgadas que se encuentra sometida a la presión interna de un fluido.

Se puede ver que la presión sobre el interior del cilindro es perpendicular en cualquier punto; y sobre la sección longitudinal la presión interna tiende a producir ruptura, en donde la mitad de la pared es resistida por las fuerzas internas P de la presión resultante.

La ecuación 1.2 de equilibrio se expresa de la siguiente manera:

$$F_1 = l \cdot D = 2 \cdot l \cdot t \cdot S_t \qquad \text{Ec. 1.2}$$

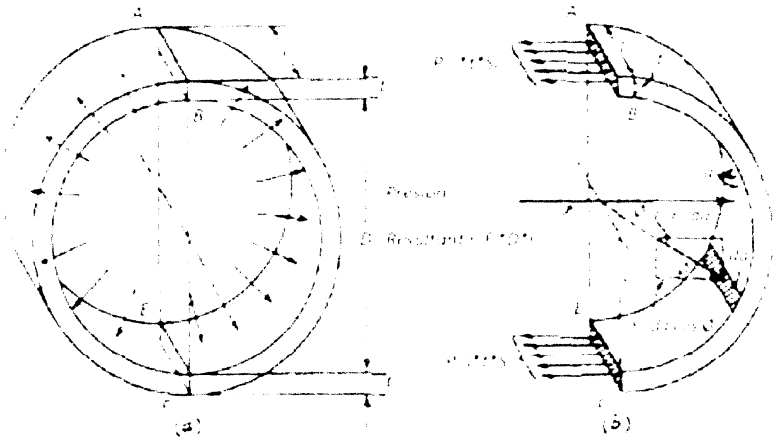


Figura 1.2. Esfuerzo sobre una sección longitudinal

Fuente: ASME Sección VIII, División 1

Donde:

F_i: Es la magnitud de la fuerza

l: Es la longitud de la porción representada

D: Es el diámetro del cilindro

t: Es el espesor del cuerpo

St: Esfuerzo unitario de tensión en la pared tiene un valor aproximado del 25% del esfuerzo a la fluencia sometida a la tensión del material.

La presión resultante horizontal sobre el área semicilíndrica a, de la mitad del cuerpo del cilindro figura 1.3, es la suma de los componentes horizontales de las fuerzas que actúan sobre las áreas elementales. La fuerza que actúa sobre un área elemental da es igual Fi * da y su componente en horizontal es Fi *da* cosΘ; por lo tanto, la fuerza horizontal resultante es:

$$\int Fi * da * \cos\theta$$

Se puede escribir como:

$$Fi \int da * \cos\theta$$

En donde Fi es el mismo en todos los puntos de la superficie cilíndrica y da*cosΘ es el área de la proyección del elemento de superficie da sobre un plano vertical, la fuerza horizontal resultante es: Fi *D *l.

Sin embargo, como la pared es delgada, el esfuerzo P está distribuido uniformemente sobre las dos áreas, entonces, el esfuerzo total resultante es:

$$2*P = 2*a_t*S_t = 2*l*t*S_t \text{ Entonces } Fi*D*l = 2*l*t*S_t$$

$$St = \frac{Fi * D}{2 * t} \qquad \text{Ec. 1.3}$$

1.7.3. Esfuerzo sobre una sección transversal

El esfuerzo transversal del recipiente se representa como se muestra en la figura 1.3.

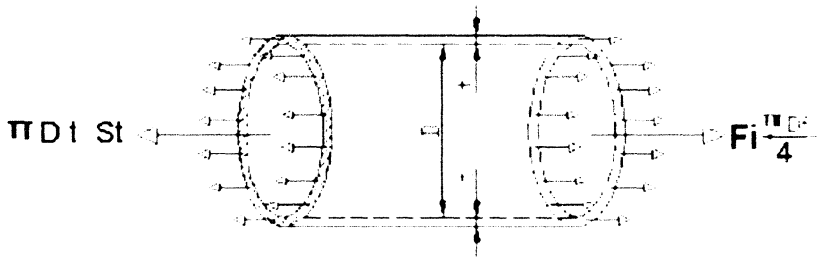


Figura 1.3. Esfuerzo en sección transversal de un cilindro de pared delgada

Fuente: ASME Sección VIII, División 1

Para mantener en equilibrio la fuerza total del fluido ejercida sobre el extremo del cilindro debe ser mantenida por el esfuerzo total sobre una sección transversal del mismo. La presión total en el extremo del cilindro es $Fi\frac{\pi*D^2}{4}$, y el esfuerzo total resistente es π*D*t*St; por lo tanto, la condición de equilibrio debe cumplirse:

$$Fi\frac{\pi*D^2}{4} = \pi * D * t * St$$

Despejando se tiene:

$$St = \frac{Fi * D}{4 * t} \qquad \text{Ec. 1.4}$$

1.8. Factores adicionales a considerar

Se deberán considerar los siguientes factores para el diseño de un depurador de líquidos.

1.8.1. Condiciones ambientales ó meteorológicas

Para efectos de referencia y desarrollo, se utilizarán los datos meteorológicos que se mencionan a continuación en la tabla 1.2:

Parámetro	Unidad	Estación Monteverde
Altitud promedio	msnm	[illegible]
Precipitación media anual *	mm	[illegible]
Humedad Relativa	%	80 - 84
T mínima absoluta	°C	[illegible]
T media	°C	23
T máxima absoluta	°C	32
Caracterización climatológica Según Pierre Pourrut	-	[illegible]
Presión atmosférica	psia	14,7

Tabla 1.2. Condiciones ambientales

Fuente: EP Petroecuador

La velocidad del viento para diseño será de 13,45 pies/seg.

*Cabe indicar que en los años del Fenómeno del Niño, la precipitación media anual puede multiplicarse en el orden de 10 veces en el caso de Monteverde.

1.8.2. Soldadura

Según la norma ASME existen varios métodos para realizar una junta soldada, de los cuales los más sobresalientes son: circunstancias para la realización de la soldadura, los requisitos del código y los aspectos económicos.

1.- Circunstancias para la realización de la soldadura

"La accesibilidad de la junta determina el tipo de soldadura. En recipientes de diámetro pequeño menores de 18-24 pulg., no se debe aplicar soldadura manual. En

los recipientes de mayor diámetro, si no tienen registro para hombre, la última junta se debe cerrar desde el exterior"(megyesy, 2010).

2.- Requisitos de la norma

"Según la norma los procesos de soldadura que pueden aplicarse en la construcción de recipientes se describen en los párrafos UW-27; basados en el servicio, el material y la ubicación de la misma".(ASME boiler and Pressure Vessel Code, 2010)

Las normas se presentan bajo los siguientes títulos y tablas:

- Tipos de juntas soldadas
- Juntas permitidas por las normas, su eficiencia y las limitaciones de sus aplicaciones. Tabla UW-12
- Diseño de juntas soldadas
- Tipos de juntas en recipientes para varios servicios y con ciertas condiciones de diseño. Tabla UW-2, UW-3
- Eficiencias de junta y reducciones de esfuerzos
- Eficiencia de juntas en ciertos puntos y esfuerzos permisibles reducidos para usarse en cálculos de componentes de recipientes.
- La eficiencia de la soldadura es el grado de confiabilidad que se tiene en las juntas dependiendo del tipo y grado de pruebas.

3. Economía de la soldadura

Si los factores anteriores permiten la libre elección, la economía es el factor decisivo.

Se pueden encontrar varias formas de realizar una junta que dependiendo de la forma este puede resultar económica. La soldadura de baja calidad hace necesaria la utilización de placas de mayor espesor para el recipiente. El que sea menos costoso utilizar soldadura de mayor resistencia y placa más delgada o lo contrario, depende del tamaño del recipiente, del equipo de soldadura, etc. Esto debe decidirse en cada caso particular.

El proceso para la aplicación de las soldaduras, es el de arco eléctrico sumergido, el cual puede ser manual o automático, para cualquiera de los dos casos la penetración

deberá ser completa y se eliminará la escoria dejada por un cordón de soldadura antes del siguiente.

En la tabla 1.3 se muestran los diferentes tipos de uniones utilizados en la fabricación de estructuras metálicas.

TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS				
TIPOS NORMA UW-12		EFICIENCIA DE LA JUNTA, E (Cuando la junta es)		
		A: Radiografiada totalmente	B: Examinada por zonas	C: No Examinada
1	Juntas a tope hechas por doble cordón de soldadura o por otro medio con el que se obtenga una forma cuando de metal de soldadura depositada sobre las superficies interior y exterior de la pieza. Si se emplea placa de respaldo, debe quitarse esta después de terminar la soldadura.	1.00	0.85	0.70
2	Junta a tope de un solo cordón con barra de respaldo que queda en su lugar después de soldar. En juntas circunferenciales únicamente.	0.90	0.80	0.65
3	Junta a tope de un solo cordón sin barra de respaldo.			0.60
4	Junta a traslape de doble filete completo.			0.55
5	Junta a traslape de un solo filete completo con soldaduras de tapón.	—	—	0.50
6	Junta a traslape de un solo filete con tapón sin soldaduras de tapón.	—	—	0.45

Tabla 1.3. Eficiencia de la soldadura

Fuente: ASME, Sección VIII, División 1

Para verificar si una soldadura está bien realizada se utilizan varias formas de inspección, la más recomendada es el radiografiado, la cual se la ejecuta por puntos en recipientes a presión, en donde cada radiografía se la hace por cada 15 metros con una longitud mínima de 15 centímetros.

Para soldar se debe asegurar que el material de aporte de la soldadura debe ser compatible con el material base. Los electrodos más utilizados en recipientes a presión de acero al carbón son E6010 y E7018, con los cuales se debe utilizar gas inerte y pasivar las soldaduras con una solución a base de ácido nítrico y ácido clorhídrico.

1.8.3. Corrosión

La corrosión es la degradación de los materiales, por una acción interactiva con su entorno, o destrucción de un metal por diferentes reacciones químicas o electroquímicas.

Los recipientes o partes de los mismos que estén sujetos a corrosión, erosión o abrasión mecánica deben tener un margen de espesor para lograr la vida útil deseada, aumentando convenientemente el espesor del material respecto al determinado por las fórmulas de diseño, o utilizando algún método adecuado de protección.

Para espesores mínimos requeridos menores de 0,25 pulg la norma ASME indica un margen de corrosión no menor de la sexta parte del espesor de la placa calculado, estas placas se utilizan para servicio de vapor de agua, agua o aire comprimido. No es necesario que la suma del espesor calculado más el margen por corrosión exceda 1/4 de pulg. (Norma UCS-25)

Para otros recipientes en los que sea predecible el desgaste por corrosión, la vida esperada del recipiente será la que determine el margen y si el efecto de la corrosión es indeterminado, el margen lo definirá el diseñador. "Un desgaste por corrosión de 5 milésimas de pulgada por año (1/16 pulg en 12 años) generalmente es satisfactorio para recipientes y tuberías"(ASME boiler and Pressure Vessel Code, 2010).

"La vida útil esperada de un recipiente es por razones económicas. Los recipientes principales o mayores se diseñan generalmente para una vida larga de servicio (15 a

20 años), mientras que los secundarios o menores para períodos más cortos (8 a 10 años)"(ASME boiler and Pressure Vessel Code, 2010).

"No necesita aplicarse el mismo margen por corrosión a todas las partes. Existen varios métodos diferentes para medir corrosión, el más simple consiste en taladrar agujeros de prueba o indicadores de corrosión (Párrafo UG-25.c)"(ASME boiler and Pressure Vessel Code, 2010).

De acuerdo con el Código ASME, los recipientes sujetos a corrosión deberán tener una abertura de purga y deberán estar provistos con abertura de inspección.

Como diseñadores se deberá tomar en cuenta la selección del material, debido a cualquier falla que se pueda producir por corrosión, y de esta manera brindar seguridad en cualquier situación peligrosa.

1.8.4. Selección del material

Esto describe las opciones de materiales resistentes a la corrosión que se puede elegir tomando en cuenta su función, tales como: acero inoxidable, plásticos y aleaciones especiales que alarguen la vida útil de una estructura. Los materiales a ser utilizados en recipientes a presión deben ser seleccionados a partir de las especificaciones de material aprobadas por el Código ASME. Este requerimiento no es un problema ya que está disponible un extenso catálogo de tablas enlistando materiales aceptables. Los factores que necesitan ser considerados para elegir una tabla apropiada son: costo, condición de servicio (desgaste, corrosión, temperatura de operación), disponibilidad y requerimientos de resistencia.

1.8.5. Pintura en el recipiente

El objetivo principal de la pintura en los recipientes a presión es la preservación de la superficie del material, pues la pintura retarda los efectos de corrosión y previene el contacto de agentes corrosivos.

La pintura que se coloca en los recipientes debe ser resistente a los efectos del medio ambiente como son el calor, impacto, abrasión y acción química.

Al recipiente se lo debe preparar antes de la primera mano de pintura, removiendo el polvo, óxido, suciedad, grasa, aceite o cualquier agente extraño a la superficie.

Se puede considerar como factor económico la selección de la pintura, de acuerdo al presupuesto que se maneje para el mismo, pues el costo para los recipientes es del 25 al 30% menor que para estructuras.

CAPÍTULO II
DISEÑO DE UN DEPURADOR DE LÍQUIDOS

2.1 Metodología del trabajo

La metodología que se aplicará para la elaboración de esta tesis según los criterios de diseño se detalla a continuación:

2.1.1 Programa de consultas al EP PETROECUADOR

Todos los requerimientos necesarios para el desarrollo del proyecto correspondiente serán de fuente confiable ya que los datos serán suministrados ó consultados a EP PETROECUADOR propietario del proyecto.

Los datos de las caracterizaciones del gas (Cromatografía) serán utilizados para realizar cálculos de procesos y cálculos hidráulicos, manteniendo los criterios que aseguren la operación satisfactoria de la planta. Los documentos suministrados por EP PETROECUADOR son diagramas y planos del proceso en curso.

2.1.2 Aplicación de normas

Se realizarán los cálculos basados en la norma API 521 "Pressure relieving and depressuring systems" para dimensionar el recipiente, luego con la información que resulte de este cálculo se tomará en cuenta su dimensión y se utilizará la norma ASME VIII Division 1 "Rules for construction of pressure vessels" para el cálculo de los espesores y selección de materiales de la estructura del recipiente.

2.1.3 Sistema de unidades a utilizar

Se establecen como unidades de medición, las contempladas en el Sistema Internacional, con sus múltiplos y submúltiplos. Sin embargo, en la industria petrolera del Ecuador, para algunas magnitudes, las unidades del Sistema Inglés son mayormente utilizadas, por lo cual para este tipo de unidades (principales del proceso) donde pueda existir confusión por la falta de familiaridad con determinadas unidades, se expresará la magnitud en los dos sistemas, el sistema Inglés como principal con su equivalencia entre paréntesis. Adicionalmente se tendrán en cuenta las unidades de medición recomendadas por EP Petroecuador.

A continuación en la tabla 2.1 se presenta las unidades más utilizadas:

DESCRIPCIÓN	UNIDADES
Flujo líquido	Gpm (galones / minuto)
Flujo gas	MMSCFD
Densidad	lb/pie^3
Presión absoluta, Presión manométrica	psia , psig
Temperatura	°F
Viscosidad	cP
Masa	Lb
Diámetro	Pulg
Tiempo	Segundos, minutos, horas, días
Longitud	Pies

Tabla 2.1. Sistema de unidades a utilizar

Fuente: Verónica Tapia C.

2.2 Parámetros iniciales de diseño

Los datos presentados en la tabla 2.2 corresponden a los antecedentes iniciales del proceso proporcionados por EP Petroecuador, los cuales serán esenciales para los cálculos del depurador de líquidos, bajo normas indicadas.

Uno de los objetivos en este proyecto, es la fabricación bajo los requerimientos del cliente, para esto es necesario calcular el diámetro tomando en cuenta su capacidad, con respecto al volumen que va a almacenar, como nos recomienda la norma ASME.

Para calcular el tamaño óptimo del recipiente la norma ASME requiere calcular un factor F con la ecuación 2.1, el cual determina el valor de D (diámetro).

$$F = \frac{P}{CSE} \qquad \text{Ec. 2.1}$$

Donde:

P: Presión de diseño (50 Psig)

C: Corrosión máxima permitida (0,125 pulg)

S: Valor del esfuerzo del material (17500 psig)

E: Eficiencia de soldadura (1)

$$F = \frac{50}{0{,}125 * 17500 * 1}$$

$$F = 0{,}033$$

Una vez determinado el valor de F y con el volumen del recipiente (V=53 pies^3) proporcionado por Ep Petroecuador, se procede a ir a la figura 2.1, donde se recorre de manera horizontal el valor de V hasta encontrar la línea que representa el valor de F, de esta intersección se avanza en forma vertical para determinar el diámetro óptimo para el recipiente.

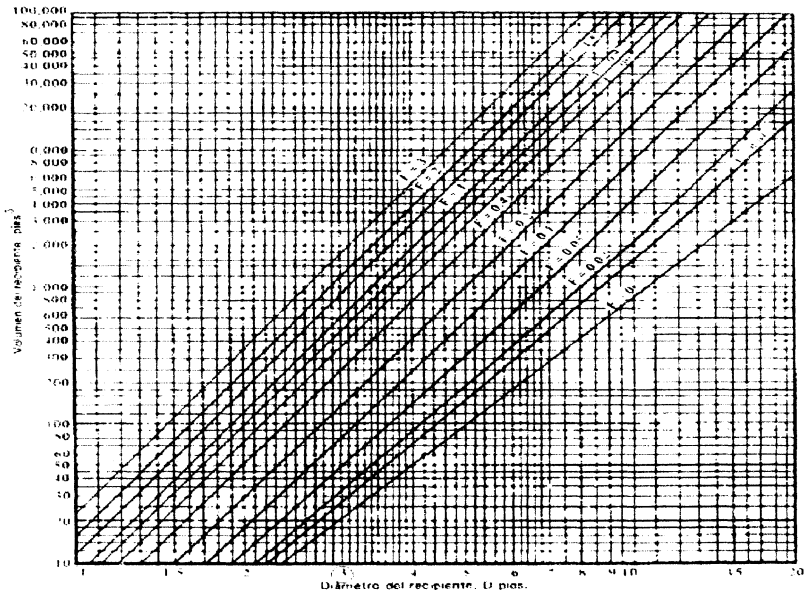


Figura 2.1. Tamaño óptimo del recipiente

Fuente: Manual de Recipientes a Presión

Donde D= 3 pies o 36 pulg

Por requerimiento de EP Petroecuador para el diseño del depurador se deberá considerar el 50% del flujo de gas, a fin de disminuir los costos asociados a infraestructura de un sistema intermitente como se explicó en el capítulo anterior, en la tabla 2.2 se pueden ver los datos de proceso iniciales.

PARÁMETROS	**Símbolo**	**Valor**	**Unidad**
Temperatura de Operación	To	270	°F
Presión de Operación	Po	19,70	psig
Flujo Másico Total Monteverde	F_m	28471	Lb/h
Tamaño de la partícula para el diseño (gota GLP)	D	600	micrones
GAS			
Flujo Másico al 50%	F_{mg}	14236	Lb/h
PARÁMETROS	**Símbolo**	**Valor**	**Unidad**
Viscosidad	μ_g	$1,28*10^{-2}$	cP
Factor Compresibilidad	z	0,96	
LÍQUIDO			
Flujo Másico 5% del flujo másico del gas	F_{ml}	711,80	Lb/h
Densidad del Líquido	ρ_l	62,50	lb/pies^3
Viscosidad del Líquido	μ_l	1	cP
Composición Base		**%Volumen**	**%Peso**
Propano		72,51	69,88
Butano		27,49	30,12

Tabla 2.2. Datos de proceso

Fuente: EP Petroecuador

2.3 Criterios de diseño

El diseño del depurador de líquidos se realiza mediante un proceso iterativo, para esto se calcula una longitud mínima requerida, asumiendo un diámetro para el recipiente, que para este caso será de 36 pulgadas, con el cual se realizarán todos los cálculos y posteriormente se ejecutará la corrección de éste con la relación L/D, la cual debe estar entre 2,5 y 4. El diámetro de la gota es de 600 micrones, donde, si las gotas son muy grandes puede dar lugar a una combustión incompleta de acuerdo norma API-521.

El tiempo mínimo de retención del líquido será de 30 minutos y el tiempo de residencia para calcular las distancias de las boquillas debe ser de 2 a 3 minutos, para separación bifásica, según norma API 521 para el diseño del depurador.

En la selección adecuada de la distancia mínima entre el nivel alto- alto del líquido y el tope del depurador se debe elegir el mayor valor entre 12 pulgadas y el 20% del diámetro del recipiente, además para el nivel bajo del líquido se considerará como mínimo nivel 9 pulgadas o el mayor valor entre este y el diámetro calculado de la boquilla de salida de líquido, esto en base a la Norma MPD 03_S_03 de la empresa PDVSA (Petróleos de Venezuela Sociedad Anónima).

Para definir el área de flujo dentro del depurador se debe calcular el área del mismo por la cual circulará el gas, como se puede observar en la figura 2.2.

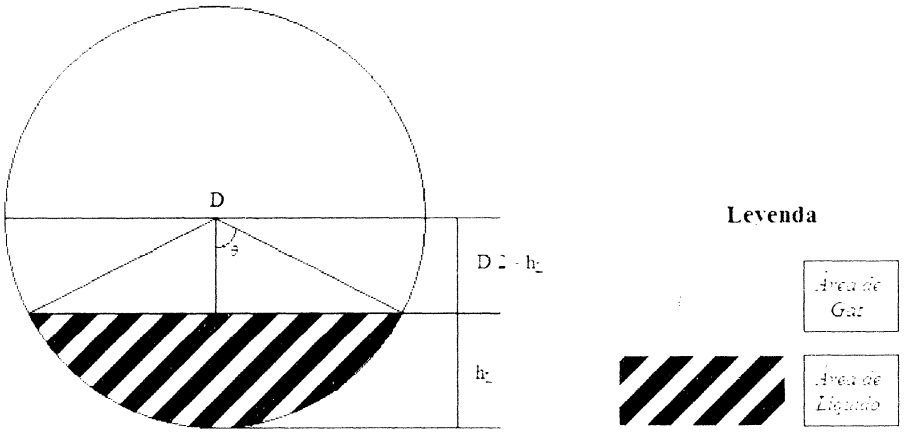


Figura 2.2. Área transversal del depurador de líquidos

Fuente: Dimensionamiento equipos de procesos[2]

2.4 Dimensionamiento hidráulico

Este cálculo se realiza mediante la norma API 521., basados en los datos de proceso proporcionados en la tabla 2.2.

[2] Proyecto Operaciones Centralizadas Campo Santa Elena-El Toco

2.4.1 Cálculo de la densidad del gas

Para el cálculo de la densidad del gas se utilizó la ecuación 2.2 tomada de la norma API 521.

$$\rho_g = \frac{P * M}{Z * R * T} \qquad \text{Ec. 2.2}$$

Donde:

ρ_g: Densidad del Gas (lb/pie^3)

P: Presión de Operación (19,70 psig)

M: Peso Molecular (lb/lbmol)

Z: Factor de Compresibilidad (0,96)

R: Constante de los Gases (10,73 pie^3·psia/ lbmol·°R)

T: Temperatura de Operación (270 °F) (729,67 °R)

Para calcular la densidad del gas se debe obtener el peso molecular de acuerdo a la fórmula química del propano y butano, los respectivos pesos moleculares del carbono e hidrógeno, como se muestra en la tabla 2.3:

Donde:

Carbono (C) 12,0107

Hidrógeno (H) 1,00797

		a	b	
Hidrocarburo	**Fórmula Química**	**% Volumétrico a 25° C**	**Peso Molecular (g/mol)**	**a*b/100 (g/mol)**
Propano	C3H8	72,51	44,09	31,97
n-Butano	C4H10	27,49	58,12	15,97
			TOTAL	**47,95**

Tabla 2.3. Determinación del peso molecular del gas

Fuente: Verónica Tapia

$$\rho_g = \frac{19{,}70 * 47{,}95}{0{,}96 * 10{,}73 * 729{,}67}$$

$$\rho_g = 0{,}1247 \text{ lb/pie}^3$$

2.4.2 Determinación del coeficiente de arrastre C

Para el cálculo del coeficiente de arrastre la norma API 521 proporciona la ecuación 2.3, la cual es básica para todas las formas de separación de arrastre.

$$C(Re)^2 = \frac{0{,}95 * 10^8 * \rho_g * Dp^3 * (\rho_l - \rho_g)}{\mu_g{}^2} \qquad \text{Ec. 2.3}$$

Donde:

$C(Re)^2$: Coeficiente de arrastre

D_p: Diámetro de partícula ($1{,}96*10^{-3}$ pies) (600 micrones)

ρ_l : Densidad del líquido (62,50 lb/pies^3)

ρ_g: Densidad del gas (0,1247 lb/pies^3)

μ_g: Viscosidad del gas (0,0128 cP)

$$C(Re)^2 = \frac{(0{,}95 * 10^8) * 0{,}1247 * (1{,}96 * 10^{-3})^{\,3} * (62{,}50 - 0{,}1247)}{0{,}0128^2}$$

$$C(Re)^2 = 34402{,}44$$

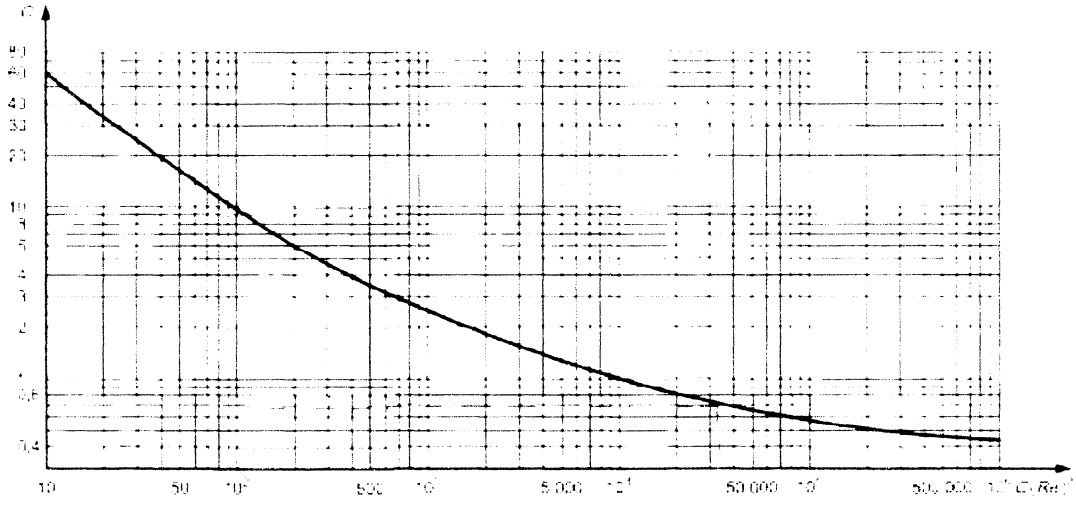


Figura 2.3. Determinación del coeficiente de arrastre.

Fuente: API Std. 521.

Con el valor determinado en la ecuación anterior y la Figura 2.3 tomada de la Norma API-521 se obtiene el Coeficiente de Arrastre C.

C → 0,69

2.4.3 Determinación de la velocidad de caída de la gota

Para la velocidad de caída de la gota se utilizará la ecuación 2.4 recomendada por la Norma API 521.

$$U_c = 1{,}15 * \sqrt{\frac{g * D_p * (\rho_l - \rho_g)}{\rho_g * C}} \qquad \text{Ec. 2.4}$$

Donde:

U_c: Velocidad de caída de la gota (pies/s).

g: Aceleración de gravedad (32,2 pies/s^2)

D_p: Diámetro de la gota ($1{,}96*10^{-3}$ pies)

ρ_l: Densidad del líquido (62,50 lb/$pies^3$)

ρ_g: Densidad del gas (0,1247 lb/$pies^3$)

C: Coeficiente de arrastre (0,69)

$$U_c = 1{,}15 * \sqrt{\frac{32{,}2 * 1{,}96 * 10^{-3} * (62{,}50 - 0{,}1247)}{0{,}1247 * 0{,}69}}$$

$$U_c = 7{,}7955 \text{ pies/s}$$

2.4.4 Determinación de los diámetros de boquillas

Para el diámetro de las boquillas primero se debe determinar la densidad de la mezcla.

$$\rho_m = \frac{W_l + W_g}{Q_l + Q_g} \qquad \text{Ec. 2.5}^3$$

Donde:

ρ_m: Densidad de la mezcla (lb/pie^3)

W_l: Peso del líquido (711,80 lb/h)

W_g: Peso del gas (14236 lb/h)

Q_l: Flujo volumétrico del líquido (pie^3/h)

Q_g: Flujo volumétrico del gas (pie^3/h)

---

[3] Proyecto operaciones centralizadas Campo Santa Ana-El Toco

Para determinar la densidad de la mezcla se debe calcular el flujo volumétrico del líquido y del gas respectivamente.

Cálculo del flujo volumétrico del líquido

$$Q_l = \frac{F_m}{\rho_l} \qquad \text{Ec. 2.6}$$

Donde:

Q_l: flujo volumétrico del líquido (pie³/h)

F_m: flujo másico del líquido (711,80 lb/h)

ρ_l: densidad del líquido (62,50 lb/pie³)

$$\mathbf{Q_l} = \frac{711{,}80}{62{,}50}$$

$$Q_l = 11{,}3888 \text{ pie}^3/\text{h}$$

Cálculo del flujo volumétrico del gas

$$Q_g = \frac{F_m}{\rho_g} \qquad \text{Ec. 2.7}$$

Donde:

Q_g: flujo volumétrico del gas (pie³/h)

F_m: flujo másico del gas (14236 lb/h)

ρ_g: densidad del gas (0,1247 lb/ pie³)

$$\mathbf{Q_g} = \frac{14236}{0{,}1247}$$

$$Q_g = 114161{,}98 \text{ pie}^3/\text{h}$$

Así, la densidad de la mezcla es igual a:

$$\rho_m = \frac{14948{,}03}{114173{,}37}$$

$$\rho_m = 0{,}13 \text{ lb/pie}^3$$

2.4.4.1 Boquilla de entrada

El diámetro de la boquilla de entrada del depurador se determinó mediante las ecuaciones 2.8 y 2.9:

La velocidad máxima a la entrada será

$$Vm_e = \frac{60}{\sqrt{\rho_m}} = \qquad \text{Ec. 2.8}^4$$

$$= 165{,}82 \text{ pies/s}$$

Por lo tanto el diámetro requerido a la entrada será:

$$D_e = \sqrt{\frac{4}{\pi} * \left(\frac{Q_\epsilon}{Vm_\epsilon}\right)} \qquad \text{Ec. 2.9}^5$$

$$D_e = \sqrt{\frac{4}{\pi} * \left(\frac{114173{,}37}{165{,}82}\right)}$$

Donde: $Q_\epsilon = Q_g + Q_l$

$$D_e = 0{,}4935 \text{ pies} = 5{,}92 \text{ pulg}$$

Por lo tanto se tomará $D_\epsilon = 6$ pulg

2.4.4.2 Determinación de boquillas de salida de gas

El diámetro de la boquilla de salida de gas del depurador se determinó mediante las ecuaciones 2.10 y 2.11:

La velocidad máxima a la salida de gas será:

$$Vm_g = \frac{60}{\sqrt{\rho_g}} = \qquad \text{Ec. 2.10}$$

---

[4] Proyecto "Operaciones Centralizadas Campo Santa Ana-el Toco"
[5] Proyecto "Operaciones Centralizadas Campo Santa Ana-el Toco"

=169,92 pies/s

Por lo tanto el diámetro requerido será:

$$D_g = \sqrt{\frac{4}{\pi} * \left(\frac{Q_g}{Vm_g}\right)} \qquad \text{Ec. 2.11}$$

$$D_g = \sqrt{\frac{4}{\pi} * \left(\frac{31,71166}{169,92}\right)}$$

$$D_g = 0,4874 \text{ pies} = 5,8488 \text{ pulg}$$

Por lo tanto se tomará $D_g = 6$ pulg

2.4.4.3 Determinación de boquillas de salida de líquido

Se considera que la velocidad máxima a la salida de líquido será de 4 pies/s, como criterio según norma API 521.

El diámetro de la boquilla de salida de líquido del depurador se determinó mediante la ecuación 2.12:

$$D_L = \sqrt{\frac{4}{\pi}\left(\frac{Q_{SL}}{Vm_L}\right)} = \qquad \text{Ec. 2.12}$$

$$D_l = \sqrt{\frac{4}{\pi} * \frac{3,16}{4}}$$

Por lo tanto se tomará $D_l = 2$ pulg

2.4.5 Determinación de los niveles

En la siguiente gráfica se muestra la ubicación de los niveles requeridos para el diseño:

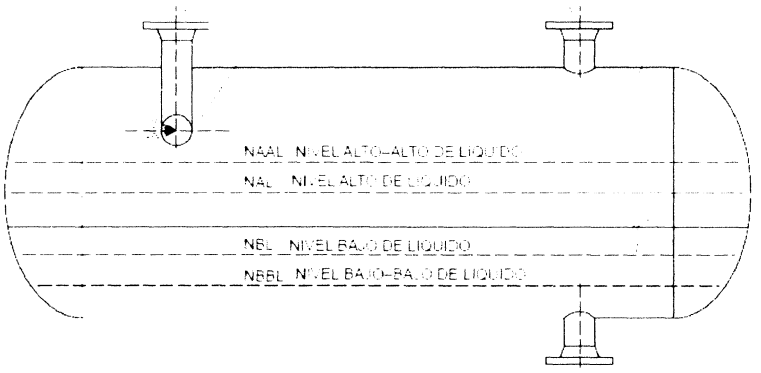


Figura 2.4. Altura de los niveles

Fuente: Norma MPD 03_S_01

Según norma MPD 03_S_03 se considera como nivel mínimo del líquido 9 pulg, si el valor calculado del diámetro de la boquilla de salida de líquido resultare menor que este.

$$h_{HL-Fondo} = 9 \text{ pulg}$$

El área que ocupa el líquido en el depurador hasta el nivel bajo es según norma MPD 03_S_03:

Donde:

h_L: Altura de líquido (pies)

D: Diámetro del recipiente (pulg)

$$A_{LL\text{-}Fondo} = \cos^{-1}\left(\frac{\frac{D}{2} - h_L}{\frac{D}{2}}\right) * \left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2} - h_L\right) * \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2} - h_L\right)^2}$$

$$A_{LL\text{-}Fondo} = \cos^{-1}\left(\frac{\frac{36}{2} - 9}{\frac{36}{2}}\right) * \left(\frac{36}{2}\right)^2 - \left(\frac{36}{2} - 9\right) * \sqrt{\left(\frac{36}{2}\right)^2 - \left(\frac{36}{2} - 9\right)^2}$$

$$A_{LL\text{-}Fondo} = 1{,}3819 \text{ pies}^2$$

El volumen ocupado por el líquido entre el Nivel Bajo Alto en función del tiempo de residencia que deberán ser en recipientes bifásicos de 2 a 3 min según norma API 521:

$$V_{LL-HL} = \frac{W_L * t_{res}}{\rho_L * 60} \qquad \text{Ec. 2.13}^{6}$$

Donde:

w_L= Peso del líquido (711,80 lb/h)

t_{res}= Tiempo de residencia (2-3 min)

$$V_{LL-HL} = 5{,}694 \text{ pies}^3$$

El área ocupada por el líquido entre el nivel bajo y el nivel alto será

$$A_{LL-HL} = \frac{V_{LL-HL}}{L} \qquad \text{Ec. 2.14}^{7}$$

Donde:

L: Longitud propuesta (2,5*3)

$$A_{LL-HL} = 0{,}759 \text{ pie}^2$$

El nivel alto se determina por resolución numérica (método iterativo) de la ecuación:

$$A_{HL\text{-}LL} = \left[\cos^{-1}\left(\frac{\frac{D}{2} - h_{HL-Fondo}}{\frac{D}{2}}\right) * \left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2} - h_{L-Fondo}\right) * \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2} - h_{L-Fondo}\right)^2}\right] - A_{LL-Fondo}$$

$$h_{HL} = 12{,}33 \text{ pulg}$$

Se toma el mayor valor entre el calculado y 24 pulg de esta manera se tiene como se indica en la norma MDP_03_S_03.

$$h_{HL} = 24 \text{ pulg}$$

---

[6] PDVSA MDP_03_S_03

[7] PDVSA MDP_03_S_03

Luego se recalcula el área y el volumen entre el nivel bajo y el nivel alto

$$A_{HL-LL} = \left[\cos^{-1}\left(\frac{\frac{D}{2} - h_{HL-Fondo}}{\frac{D}{2}}\right) * \left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2} - h_{L-Fondo}\right) * \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2} - h_{L-Fondo}\right)^2}\right] - A_{LL-Fondo}$$

$$A_{HL-LL} = 3{,}624 \text{ pies}^2$$

$$V_{LL-HL} = A_{LL-HL} * L \qquad \text{Ec. 2.15}$$

$$V_{LL-HL} = 27{,}181 \text{ pies}^3$$

En la tabla 2.3 se puede observar el resumen de los niveles calculados anteriormente.

Zonas	Volumen ($pies^3$)	Área ($pies^2$)	Altura (pulg)	Nivel (pulg)	% de Nivel
Nivel alto - tope	15,47	2,06	12,00	36,00	100,00
Nivel bajo – nivel alto	27,18	3,62	15,00	24,00	66,70
Fondo – nivel bajo	10,36	1,38	9,00	9,00	25,00

Tabla 2.4. Resumen de los niveles

Fuente: Verónica Tapia C.

2.4.6 Determinación de la longitud mínima del depurador

Para el cálculo de la longitud mínima del depurador, requerida por el gas para que la gota caiga se obtiene mediante las siguientes ecuaciones tomadas de la norma API 521.

$$L_{min} = V_g * \theta * N \qquad \text{Ec. 2.16}$$

Donde:

Lmin: Longitud del recipiente mínima requerida (pies)

Vg: Velocidad del gas (pies/s)

Θ: Tiempo de caída de la gota (s)

N: Número de veces que pasa el vapor (en nuestro caso N=1)

2.4.7 Determinación del tiempo de caída de la gota

El cálculo de la caída de la gota se calcula con la ecuación 2.17 recomendada por la norma API 521.

$$\theta = \left(\frac{h_v}{U_c}\right) \qquad \text{Ec. 2.17}$$

Donde

Θ: Tiempo de caída de la gota (s)

hv: Altura vertical de caída de la gota (pulg)

U_c: Velocidad de caída de la gota (7,79 pies/s)

La altura vertical de la caída de la gota será:

$$h_v = D - h_{HL} \qquad \text{Ec. 2.18}$$

$$h_v = 36 - 24 \text{ (pulg)}$$

$$h_v = 1 \text{ pie}$$

El tiempo de caída de la gota será:

$$\theta = \left(\frac{1}{7{,}79}\right)$$

$$\theta = 0{,}13 \text{ s}$$

2.4.8 Determinación del área de la sección transversal del gas

El área de la sección transversal está definida por la ecuación 2.19 recomendada por la norma API 521.

$$A_t = \frac{\pi}{4} * (D_i)^2 \qquad \text{Ec. 2.19}$$

Donde:

At: Área total de la sección transversal del depurador (pies^2)

Di: Diámetro interno del depurador

Av: Área de la sección transversal por donde pasa el gas

$$A_v = A_t - (A_{HL-LL} + A_{LL-Fondo}) \qquad \text{Ec. 2.20}^8$$

$$A_v = 2{,}06 \text{ pie}^2$$

Flujo volumétrico de gas por boquilla es

$$Q_g = \frac{Q_{gtotal}}{N° \text{ Boquillas}} \qquad \text{Ec. 2.21}^9$$

$$Q_g = \frac{31{,}71}{1}$$

$$Q_g = 31{,}71 \text{ pies}^3/s$$

2.4.9 Determinación de la velocidad del flujo de gas

La velocidad de flujo de gas a través del depurador se determina con la ecuación 2.22 recomendada por la norma API 521.

$$V_g = \frac{Q_g}{A_v} \qquad \text{Ec. 2.22}$$

Donde:

Qg: Flujo volumétrico de gas (31,71 MPCSH) (Miles Pies Cúbicos Estándar Hora)

Av: Área ocupada por el gas (2,06 pies^2)

Vg: Velocidad del gas (pies/s)

---

[8] API Std. 521
[9] API Std. 521

$$V_g = \frac{31,71}{2,06}$$

$$V_g = 15,37 \text{ pies/s}$$

La longitud mínima requerida del depurador de líquidos para permitir la caída de la gota será:

$$L_{min} = \theta * V_g$$

$$L_{min} = 1,96 \text{ pies}$$

Longitud mínima seleccionada será el mayor valor entre la longitud mínima calculada o 2,5*D

$$L_{min} = 7,5 \text{ pies}$$

2.5 Dimensionamiento mecánico

Un recipiente a presión se considera a cualquier depósito que sea capaz de almacenar un fluido a presión manométrica, independientemente de su forma y dimensiones. El recipiente objetivo de este proyecto se diseña como cilindro de pared delgada.

En su gran mayoría la norma ASME, Sección VIII, División 1, es utilizada para el diseño, construcción y prueba de separadores en el área petrolera. Esta norma está destinada exclusivamente para trabajos de recipientes de hasta 3000 psia y un factor de seguridad mayor de 2; por este motivo esta norma se aplica para este proyecto.

2.5.1 Presión de operación (Po)

Se la conoce como la presión de trabajo y es la presión manométrica que un equipo se somete en condiciones de operación normal.

2.5.2 Presión de diseño (P)

Este valor debe ser utilizado en las ecuaciones para el cálculo de las partes fundamentales del separador sometido a presión y su valor será tomado de acuerdo al siguiente criterio:

Si Po > 300 lb/pulg^2 entonces P = 1,1 Po

$$\text{Si } Po < 30 \text{ lb/pulg}^2 \quad \text{entonces} \quad P = Po + 30 \text{ lb/pulg}^2$$

Donde P es la presión de diseño, Po es la presión de operación.

2.5.3 Presión de prueba (Pp)

Es la presión hidrostática de prueba y se pondera por medio de la siguiente ecuación:

$$Pp = P\,(1{,}5)\,Sta/Std$$

Donde:

P: Presión de diseño

Sta: Esfuerzo a la tensión del material a la temperatura ambiente

Std: Esfuerzo a la tensión del material a la temperatura de diseño

2.5.4 Presión de trabajo máxima permisible

En condiciones de operación es la máxima presión a la que se somete un recipiente, cuando se encuentra de la siguiente forma:

- En condiciones después de haber sido corroído
- Bajo los efectos de la temperatura de diseño
- En la posición normal de operación
- Cuando se encuentra otras cargas como fuerza debida al viento, presión hidrostática, etc., donde cuyos efectos se deben agregar por la presión interna.

En el diseño se limita la presión de trabajo máxima permisible por la resistencia del cuerpo o las tapas y no por elementos como bridas, boquillas, etc.

Despejando P de las ecuaciones que determinan los espesores y las tapas se obtiene el valor de la presión de trabajo máxima permisible.

2.6 Cálculo del diseño de un depurador de líquidos para el sistema de alivio y venteo de GLP para el campo Monteverde

Según la norma ASME los cálculos con los que se debe hacer nuestro diseño son:

- Espesores de pared del cuerpo y de las cabezas del recipiente
- Espesores de boca
- Esfuerzos en las soldaduras de las bocas

Las fórmulas usadas serán exclusivamente cuando la carga principal sea la presión interna del recipiente.

Para comenzar con los cálculos mecánicos se deben tomar en cuenta algunas consideraciones:

El acero SA516 Gr70 es el material seleccionado para el cuerpo y las tapas que son de forma elíptica, según la norma ASME, esta se puede verificar en la Tabla UCS-23 de la misma.

2.6.1 Cálculo del cuerpo

En la tabla 2.5 se reflejarán los datos que ayudarán con el cálculo del cuerpo:

PARÁMETROS INICIALES	SÍMBOLO	Valor	Unidad
Presión de diseño	P	50	psi
Presión de operación	Po	5	psi
Temperatura de Operación	To	270	°F
Temperatura de Diseño (To + 50)	Td	320	°F
DATOS CALCULADOS			
Diámetro externo del recipiente	DE	36	pulg
Longitud del recipiente	L	90	pulg
Altura de la columna del líquido	HCL	36	pulg
DATOS DE TABLA (NORMA ASME)			
Modulo de elasticidad del material	E	$2{,}90 * 10^{7}$	psi
Corrosión admisible	CA	$1{,}25 * 10^{-1}$	pulg
Esfuerzo resistencia a la fluencia	S	17500	psi
Eficiencia de la junta longitudinal	Efl	1	
Eficiencia de la junta circunferencial	Efc	1	
Eficiencia de la junta cuerpo-cabeza	Efca	1	

Tabla 2.5. Datos para el diseño del cuerpo

Fuente: EP Petroecuador

2.6.2 Espesor del cuerpo

Para el cálculo de espesores para paredes delgadas en cuerpos cilíndricos, el mínimo espesor requerido o la máxima presión de trabajo en el cuerpo, debe ser seleccionado entre el mayor espesor resultante o la mínima presión calculada, de acuerdo al siguiente procedimiento.

2.6.2.1 Esfuerzo circunferencial o radial (Juntas longitudinales)

Las ecuaciones 2.23 y 2.24 se aplican cuando el espesor t no excede la mitad del radio interno o cuando la presión P no exceda de 0,385*S*E:

$$t = \frac{P * (R)}{S * E - 0{,}6 * P} \qquad \text{Ec. 2.23}^{10}$$

Donde:

P: Presión de diseño o presión máxima de trabajo (50 psi)

S: Valor del esfuerzo permisible del material (17500 psi)

E: Eficiencia de la junta (1)

R: Radio interior (18 pulg)

t: Espesor de pared (pulg)

CA: Margen por corrosión (0,1250 pulg)

$$t = \frac{50 \text{ psi} * 18 \text{ pulg}}{17500 \text{ psi} * 1 - 0{,}6 * 50 \text{ psi}}$$

$$t = 0{,}05 \text{ pulg}$$

Al espesor calculado anteriormente como indica la norma ASME se le suma el valor de la corrosión admisible (CA), y con el nuevo espesor se calcula la presión que soportará el separador al ser construido.

$$t = t + CA$$

$$t = 0{,}05 \text{ pulg} + 0{,}125 \text{ pulg}$$

$$t = 0{,}175 \text{ pulg}$$

---

[10] ASME, Sección VIII, División 1

Después de obtener el valor del espesor calculado se deberá escoger el valor de la placa más utilizada en el mercado para este tipo de recipientes.

Para este diseño se deberá usar de 5/16 pulg., según tablas comerciales de planchas, con el fin de no necesitar refuerzos en las bocas de diámetro nominal, que se comprobará más adelante con los cálculos respectivos.

De esta manera se calcula la máxima presión de trabajo permitida con el espesor escogido, utilizando la ecuación 2.24:

$$P = \frac{S * E * t}{R + 0{,}6 * t} \qquad \text{Ec. 2.24}^{11}$$

$$P = \frac{17500 * 1 * 0{,}31}{18 + 0{,}6 * 0{,}31}$$

$$P = 298{,}30 \text{ psi}$$

2.6.2.2 Esfuerzo longitudinal o axial (Juntas circunferenciales)

Las fórmulas que se utilizan son las siguientes cuando el espesor t no exceda la mitad del radio interno o cuando la presión P no exceda 1,25*S*E.

$$t = \frac{P * R}{2 * S * E + 0{,}4 * P} \qquad \text{Ec. 2.25}^{12}$$

$$t = \frac{50 \text{ psi} * 18 \text{ pulg}}{2 * 17500 \text{ psi} * 1 + 0{,}4 * 50 \text{ psi}}$$

$$t = 0{,}02 \text{ pulg}$$

$$t = t + CA$$

$$t = 0{,}145 \text{ pulg}$$

Con el factor de seguridad se comprueba el valor real de la placa escogido anteriormente con la ecuación detallada a continuación:

---

[11] ASME, Sección VIII, División 1
[12] ASME, Sección VIII, División 1

$$t = \sqrt{\left(\frac{4 * P * n_s}{\pi * S}\right)}$$

$$t = \sqrt{\left(\frac{4 * 298{,}30 * 4}{\pi * 17500}\right)}$$

$$t = 0{,}294 \text{ pulg}$$

Donde:

n_s: Factor de seguridad (Código de la construcción, según zona sísmica).

Así se escoge la placa de 5/16 pulg que se deberá usar.

$$P = \frac{2 * S * E * t}{R - 0{,}4 * t} \qquad \text{Ec. 2.26}^{13}$$

$$P = \frac{2 * 17500 * 1 * 0{,}31}{18 - 0{,}4 * 0{,}31}$$

$$P = 606.95 \text{ psi}$$

Espesor requerido, es el de mayor valor calculado para que resista el esfuerzo que actúan por la presión que soportan.

2.6.3 Cálculo de la cabeza elipsoidal 2:1

El diseño de este tipo de cabezas parte desde la relación que existe entre el eje mayor y el eje menor, es así que el eje menor es la mitad del eje mayor como se indica en la figura 2.5. De ahí su denominación semielípticas de relación 2:1

Un cabezal elíptico 2:1 cumple la siguiente igualdad:

$$H = \frac{D}{4} \qquad \text{Ec. 2.27}$$

Donde:

H: es la profundidad interna del cabezal sin faldón, mitad del eje menor de la elipse.

D: es el diámetro interno del cabezal.

---

[13] ASME, Sección VIII, División 1

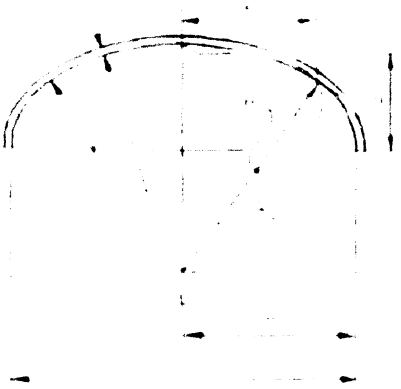


Figura 2.5. Cabeza elipsoidal

Fuente: ASME, sección VIII, división 1

El espesor requerido para un cabezal elíptico en el punto más delgado, después de conformado, viene dado por:

$$t = \frac{P * D}{2 * S * E - 0{,}2 * P} \qquad \text{Ec. 2.28}^{14}$$

Donde:

E: es la eficiencia más baja de junta. Si el cabezal es fabricado sin costura E = 1.

$$t = \frac{50 * 36}{2 * 17500 * 1 - 0{,}2 * 50}$$

$$t = 0{,}05 \text{ pulg}$$

Se suma el espesor de corrosión admisible al espesor calculado y con este valor se calcula la presión que soportará el separador al ser construido.

$$t = 0{,}05 + CA$$

$$t = 0{,}05 + 0{,}125$$

$$t = 0{,}175 \text{ pulg}$$

Se deberá usar la placa de 5/16 pulg.

[14] ASME, Sección VIII, División 1

La máxima presión de trabajo permitida en psig, debe ser menor a la presión calculada por la ecuación 2.29:

$$P = \frac{2 * S * E * t}{R + 0{,}2 * t} \qquad \text{Ec. 2.29}^{15}$$

$$P = \frac{2 * 17500 * 1 * 0{,}31}{18 + 0{,}2 * 0{,}31}$$

$$P = 600{,}71 \text{ psi}$$

Para las cabezas elipsoidales cuya relación del eje mayor al eje menor sea diferente de 2:1 se recomienda ver al Apéndice Obligatorio 1-4 (c) del Código en la Norma ASME VIII, División 1, este tipo de cabezal se utiliza preferiblemente en recipientes con una presión de diseño mayor a 100 psi, y recipientes de diámetro menor a 180 pulgadas.

2.6.4 Diseño de aberturas

Para diseñar las aberturas en los recipientes se debe tomar en cuenta lo que especifica la norma ASME, según se requiera y en algunos casos se pondrá un refuerzo que compense el tramo del recipiente retirado.

Las diferentes aberturas que se pueden encontrar son en partes cilíndricas o cónicas donde de preferencia son circulares. Para recipientes donde se colocan tubos circulares no perpendiculares a las superficies del recipiente es mejor aberturas elípticas.

El tamaño de las aberturas con refuerzos tiene algunas especificaciones que seguir para su diseño como se menciona en la Norma ASME sección VIII, división 1:

Cuando el recipiente tiene un diámetro interno menor o igual a 60 pulgadas las aberturas no deben exceder un diámetro mayor a la mitad del diámetro del recipiente; y para recipientes de diámetro interno mayor a 60 pulgadas las aberturas serán un diámetro menor a 1/3 del diámetro del recipiente sin exceder 40 pulg.

---

[15] ASME, Sección VIII, División 1

Se debe tomar en cuenta que cuando la abertura en cabeza de un recipiente cilíndrico es mayor que la mitad del diámetro interior de la misma se deben usar secciones de reducción del cuerpo en lugar de cabeza.

En este diseño serán aberturas sin refuerzo que más adelante será demostrado, según los cálculos realizados y con las siguientes especificaciones:

Aberturas con conexiones soldadas o empernadas de diámetro menor a 3-1/2 pulg en los cuerpos o cabeza de los recipientes de 3/8 de pulg o menor espesor.

Conexiones soldadas o empernadas de diámetro menor a 2-3/8 pulg en los cuerpos o cabezas de 3/8 pulg o menor espesor;

Conexiones empernadas o roscadas donde el corte del agujero en el cuerpo o la cabeza no sea mayor que 2-3/8 pulg de diámetro.

Si existen dos agujeros adyacentes deben estar separados a una distancia no menor a la suma de sus diámetros.

2.6.5 Cálculo de pesos y volúmenes del recipiente

Para realizar los siguientes cálculos se debe tomar en cuenta el espesor de la plancha calculado anteriormente y cual comercialmente se podrá elegir, para el diseño que se realizará, el más adecuado será la plancha de 5/16 pulg.

2.6.5.1 Peso del cuerpo cilíndrico

Con ayuda de la tabla mostrada en el anexo 4 se podrá escoger el peso del recipiente adecuado para nuestro diseño.

El peso en la tabla se localiza con el diámetro calculado anteriormente que es de 36 pulg y el espesor de la plancha antes mencionado. Se presentan dos opciones a elegir cuando se usa el diámetro interior (DI) o diámetro exterior (DE) según sea el caso. De esta manera se obtiene el peso que se encuentra en lb/pie.

El peso del cuerpo del recipiente se debe multiplicar el valor por la longitud del tanque en pies.

D.I. = 36 pulg

t = 5/16 pulg

Dato obtenido de tabla W = 121 lb/pie

Wcuerpo = W* L

= 121*7,5

= 907,5 lb

= 412,5 kg

2.6.5.2 Peso de las cabezas

Se debe tomar los espesores de cabeza de la tabla del Anexo 4 con los mismos datos, ubicados en la columna de cabeza semielípticas.

W_{cabeza} = 160 lb

2.6.5.3 Peso total del recipiente

El peso total del recipiente es igual a la suma del peso del cuerpo y la cabeza, al cual se le debe aumentar el 6% de la suma total por el peso estimado de la soldadura.

Wrecipiente = (Wcuerpo +2* Wcabeza) * 1,06

= (907,5 + 2*160) * 1,06

= 1301,15 lb

= 591,43 kg

2.6.5.4 Peso del contenido

Se debe considerar al recipiente lleno en su totalidad para calcular el peso según la norma. Según tabla del anexo 5 se debe obtener con los valores del diámetro de 36 pulg.

Volumen del cuerpo

V = 7,1 $pies^3$

Vcuerpo = 7,1* 7,5

$= 53{,}25$ pies^3

Volumen cabezas

V $= 3{,}5$ pies^3

Vcabezas $= 3{,}5 * 2$

$= 7$ pies^3

Volumen del recipiente

Vrecipiente = Vcuerpo + Vcabeza

$= 60{,}25$ pies^3

$= 1{,}71$ m^3

Peso del contenido

$m_{agua} = 1000$ kg/m^3 * $1{,}706$ m^3

$= 1706{,}09$ kg

W contenido = 3753,39 lb

2.6.6 Diseño de las silletas

En la figura 2.6 se detallan las partes más sobresalientes del diseño de una silla.

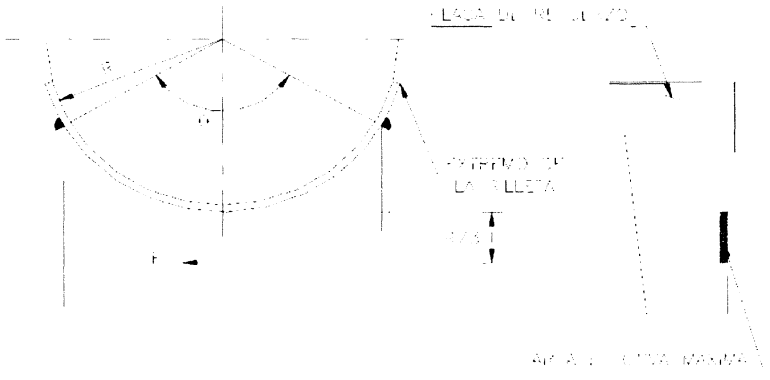


Figura 2.6. Detalle de silleta

Fuente: Pressure Vessel Handbook

En un recipiente horizontal, montado sobre silletas, este actúa como viga, así como lo señala el método de diseño presentado por "Pressure Vessel and Piping, Design and Analysis" recomendado por la ASME con las siguientes características:

- Las condiciones de carga son diferentes para un recipiente total y parcialmente lleno.
- Los esfuerzos sobre el recipiente varían según el ángulo formado por las silletas.
- La carga del recipiente solo se combina con las demás cargas.

Para el análisis de estabilidad de las cargas en estos recipientes se debe tomar en cuenta:

- Reacción de las silletas, con una carga completa de agua como recomienda la norma ASME.
- Presión interna.
- Carga de viento, en los recipientes largos con relaciones pequeñas de t/r (espesor/radio) están sujetos a deformación, por presión del viento.
- Cargas de impacto.

- Para los recipientes con diámetros grandes y paredes delgadas, las silletas se las ubica cerca de las cabeceras, y así aprovechar el efecto atiesador de las cabezas.
- El soporte contribuido según el código ASME para las silletas debe extenderse por lo menos 1/3 de la circunferencia del cuerpo del recipiente. Esto indica, que el mínimo ángulo de contacto entre el cuerpo y la silleta es de 120° y el mayor ángulo es de 180°.

2.6.7 Análisis de esfuerzos en recipientes cilíndricos horizontales con dos sillas

Para realizar el cálculo de los esfuerzos se deducirá el peso total (W_{Total}) del recipiente.

$$W_{Total} = \frac{Wrecipiente + Wcontenido}{2}$$

$$W_{Total} = \frac{1301,15 + 1706,09}{2}$$

$$W_{Total} = 1503,62 \text{ lb}$$

Para calcular las sillas se deberá tomar en cuenta los valores A, H, b y Θ como se indican en la figura 2.7.

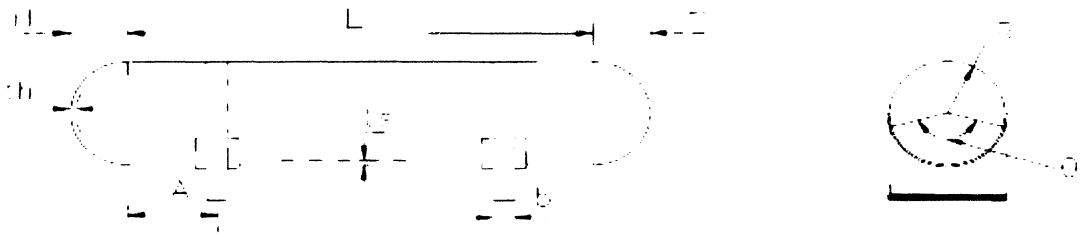


Figura 2.7. Distancias para cálculos de esfuerzos.

Fuente: Pressure Vessel Handbook

A: 0,2D ≤ A ≤0,2L (Distancia óptima para colocar las silletas)

H: D/4 (Altura de la cabeza) (9 pulg)

b: Ancho de las silletas (5,118 pulg)

Θ: Ángulo de contacto (130°)

Para la resolución de los esfuerzos se debe tomar en cuenta los siguientes datos calculados anteriormente:

ts : Espesor de la pared del cuerpo (0,313 pulg)

th : Espesor de la pared de la cabeza (0,313 pulg)

L: Longitud de recipiente (36 pulg)

R: Radio interno del recipiente (18 pulg)

S = Esfuerzo resistencia a la fluencia del material (17500 psi)

E = Eficiencia de la junta (1)

2.6.7.1 Esfuerzo flexionante longitudinal

El máximo esfuerzo longitudinal S_1 puede ser de tensión o compresión, al calcular el esfuerzo a la tensión de S_1 se debe usar el valor de K_1, tomado del anexo 3.

Al calcular el esfuerzo a compresión en la ecuación de S_1 se debe usar K_2.

Cuando se usen anillos atiesadores en el cuerpo, el valor de K será igual a 3,14 en la ecuación para S_1.

La relación t/R sea mayor o igual a 0,005 en un recipiente de acero, el esfuerzo de compresión no se deberá tomar en consideración y el recipiente será diseñado para trabajo solamente a presión interna.

Si el valor del esfuerzo máximo permisible es excedido por el valor de S1, se deberán usar anillos atiesadores en el cilindro del recipiente.

Los esfuerzos reales están dados por las siguientes ecuaciones:

Esfuerzos en las silletas, dada por la ecuación 2.30.

$$S_{1A} = \frac{Q * A\left[1 - \frac{1 - \frac{A}{L} + \frac{R^2 - H^2}{2 * A * L}}{1 + \frac{4 * H}{3 * L}}\right]}{K_{1*}R^2 * t_s} \qquad \text{Ec. 2.30}^{16}$$

$$S_{1A} = \frac{1503{,}62 * 17{,}52\left[1 - \frac{1 - \frac{17{,}52}{90} + \frac{18^2 - 9^2}{2 * 17{,}52 * 90}}{1 + \frac{4 * 9}{3 * 90}}\right]}{0.387 * 18^2 * 0{,}313}$$

$$S_{1A} = 265{,}83 \text{ psi}$$

[16] ASME, Sección VIII, División 1

Esfuerzos en la mitad del recipiente, dado por la ecuación 2.31.

$$S_{1B} = \pm \frac{\frac{Q * L}{4}\left[\frac{1 - 2\frac{R^2 - H^2}{L^2}}{1 + \frac{4 * H}{3 * L}} - \frac{4 * A}{L}\right]}{\pi_* R^2 * t_s} \qquad \text{Ec. 2.31}^{17}$$

$$S_{1B} = \pm \frac{\frac{1503{,}62 * 90}{4}\left[\frac{1 - 2\frac{18^2 - 9^2}{90^2}}{1 + \frac{4 * 9}{3 * 90}} - \frac{4 * 17{,}52}{90}\right]}{\pi_* 18^2 * 0{,}313}$$

$$S_{1B} = 189{,}92 \text{ psi}$$

Esfuerzo producido por la presión interna, dado por la ecuación 2.32.

$$S = \frac{P * R}{2 * t_s} \qquad \text{Ec. 2.32}^{18}$$

$$S = \frac{50 * 18}{2 * 0{,}175}$$

$$S = 2571{,}42 \text{ psi}$$

Se suman los esfuerzos sobre las silletas y este valor no debe sobrepasar el esfuerzo en la costura circunferencial, de esta manera se demuestra que el recipiente soporta los esfuerzos flexionantes:

$$S + S_{1A} + S_{1B} \leq E * S_{Admisible}$$

$$S + S_{1A} + S_{1B} \leq 1 * 17500$$

$$3027{,}17 \leq 17500$$

Por esta razón, no es necesario utilizar atiesadores en nuestro diseño.

---

[17] ASME, Sección VIII, División 1
[18] ASME, Sección VIII, División 1

2.6.7.2 Esfuerzos máximos permisibles

Se utiliza la siguiente fórmula cuando está a tensión:

$$S_1 + \frac{P * R}{2t_s} < S * E$$

Se utiliza la siguiente fórmula cuando está a compresión:

$$-S_1 - \frac{P * R}{2t_s} \geq 0{,}5 * \sigma_{FLUENCIA}$$

$$S \leq \frac{E}{29}\left(\frac{t}{R}\right)\left[2 - \left(\frac{2}{3}\right) * 100 * \left(\frac{t}{R}\right)\right]$$

2.6.7.3 Esfuerzo cortante tangencial

En recipientes sin anillos atiesadores, el máximo esfuerzo cortante se presenta en la parte superior de las silletas. Cuando la tapa es usada como anillo atiesador, colocando las silletas cerca de las tapas, el esfuerzo de corte tangencial puede causar un esfuerzo adicional en las tapas S_3. Este esfuerzo debe considerarse sumándolo al causado por la presión interna.

En este caso el recipiente es sin anillos atiesadores, el esfuerzo máximo cortante ocurre en el cuerpo de la silleta y su fórmula es:

$$S_2 = \frac{K_2 * Q}{R * t_s}\left(\frac{L - 2 * A}{L + \frac{4}{3} * H}\right) \qquad \text{Ec. 2.33}^{19}$$

$$S_2 = \frac{1.022 * 1503{,}62}{18 * 0{,}313}\left(\frac{90 - 2 * 17{,}52}{90 + \frac{4}{3} * 9}\right)$$

$$S_2 = 262{,}85 \text{ psi}$$

[19] ASME, Sección VIII, División 1

El esfuerzo S2 máximo permitido no debe exceder a más de 0,8 veces el esfuerzo máximo permitido del material del recipiente a la temperatura de diseño para que este pueda resistir los esfuerzos:

$$S_2 < 0{,}8 * S$$

$$262{,}85 < 14000$$

Si la distancia desde el eje de la silleta hasta la línea tangente de la cabeza es menor que la mitad del radio del cuerpo A< $R/2$, los esfuerzos cortantes deben ser analizados en el recipiente en la cabeza y en el cuerpo.

En nuestro diseño se tiene los siguientes datos: A= 17,52 y R= 36

Donde la relación anterior sería:

$$17{,}52 < 18$$

Para este caso se debe considerar un esfuerzo cortante que se genera sobre la cabeza, por tener las silletas tan cercanas a las mismas.

Esfuerzo cortante tangencial en el cuerpo del recipiente

$$S_2 = \frac{K_4 * Q}{R * t_s} \qquad \text{Ec. 2.34}^{20}$$

$$S_2 = \frac{0{,}722 * 1503{,}62}{18 * 0{,}313}$$

Esfuerzo cortante tangencial sobre las cabezas

$$S_2 = \frac{K_4 * Q}{R * t_h}$$

$$S_2 = 344{,}63 \text{ psi}$$

[20] ASME, Sección VIII. División 1

2.6.7.4 Esfuerzo circunferencial

Es el esfuerzo que se genera por el contacto entre el recipiente y las silletas. Se localiza en la parte inferior del cuerpo y de la silleta.

En nuestro diseño el recipiente no usa anillos atiesadores, por esta razón se utilizarán las siguientes fórmulas:

Cuando $L < 8 * R$ y el recipiente esta sin atiesar: L= 90 y R= 18

$$90 < 144$$

$$S_4 = \frac{Q}{4 * t_s\left(b + 1{,}56\sqrt{R * t_s}\right)} - \frac{12K_6 * Q * R}{L * t_s^{\,2}} \qquad \text{Ec. 2.35}^{21}$$

$$S_4 = \frac{1503{,}62}{4 * 0{,}313\left(44 + 1{,}56\sqrt{18 * 0{,}313}\right)} - \frac{12 * 0{,}045 * 1503{,}62 * 18}{90 * 0{,}313^2}$$

$$S_4 = -6197{,}66\, psi$$

t_s = es la suma de los cuadrados de los espesores del recipiente y de la placa de desgaste.

El esfuerzo S_4 no debe ser mayor que 1,5 veces el valor del esfuerzo a tensión permitido del material del recipiente, si esto ocurriera se debe usar placas de desgaste.

$$S_4 \text{psi} < 1{,}5 * S_{\text{admisible}}$$

$$6197{,}66 \text{ psi} < 26250 \text{ psi}$$

[21] ASME, Sección VIII, División 1

2.6.8 Diseño orejas de izaje

Para que se facilite el transporte, mantenimiento, etc. del recipiente es recomendable colocar por lo menos dos orejas de izaje, como se indica en la figura 2.8.

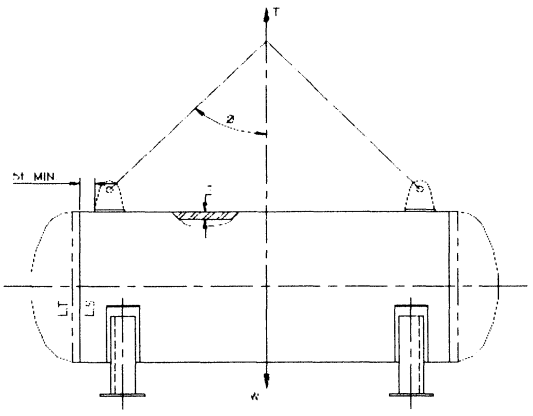


Figura 2.8. Orejas de izaje.

Fuente: Pressure Vessel Handbook

Para lo cual el espesor de estas se calcula de la siguiente manera:

$$t_o = \frac{W}{SD} \qquad \text{Ec. 2.36}^{22}$$

Donde:

t_o: Espesor mínimo requerido en la oreja de izaje (pulg)

W: Peso del equipo vacío (1301,15 lb)

S: Esfuerzo a la tensión del material de la oreja. (Anexo 2)

D: Distancia mostrada en la figura 2.9

[22] ASME, Sección VIII, División 1

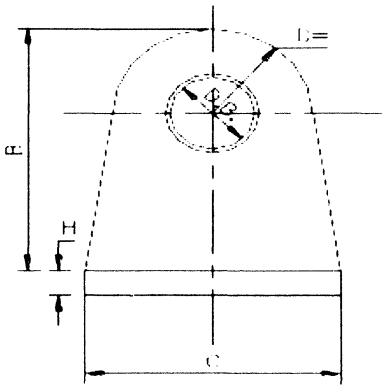


Figura 2.9. Distancias de oreja de izaje.

Fuente: Pressure Vessel Handbook

$$t_o = \frac{1301{,}15\text{lb}}{17500\ \text{psi} * 3\text{pulg}}$$

$$t_o = 0{,}0248\ \text{pulg}$$

Para saber si el espesor del recipiente soportará las fuerzas aplicadas en la oreja de izaje, se verifica el espesor mínimo en el cuerpo o la placa de respaldo con la siguiente ecuación:

$$t_c = \frac{W}{S * (C + t_o) * 2} \qquad \text{Ec. 2.37}^{23}$$

Donde:

t_c: Espesor mínimo requerido en la placa de respaldo o en el cuerpo (pulg)

C: Longitud exterior (3 pulg)

$$t_c = \frac{1301{,}15}{17500 * (3 + 0{,}0248) * 2}$$

$$t_c = 0{,}012\ \text{pulg}$$

[23] ASME, Sección VIII, División 1

Para finalizar se debe verificar que la soldadura aplicada para fijar la oreja de izaje sea suficiente, con las siguientes ecuaciones:

$$A_S = 1{,}4142(t_o)C \qquad \text{Ec. 2.38}^{24}$$

$$Ar = \frac{W}{S} \qquad \text{Ec. 2.39}^{25}$$

Donde:

A_s: Área de soldadura aplicada (pulg^2)

Ar: Área mínima de soldadura requerida (pulg^2)

Siempre se deberá cumplir con la condición $A_s \geq A_r$

$$A_S = 0{,}105 \text{ pulg}^2$$

$$A_r = 0{,}074 \text{ pulg}^2$$

$$0{,}105 \geq 0{,}074$$

En la tabla 2.6 se podrá ver muestras de las dimensiones de algunas orejas de izaje recomendadas según el peso del recipiente por la Norma ASME.

OREJAS DE ZAJE

Tabla 2.6. Dimensiones típicas de orejas de izaje

Fuente: Pressure Vessel Handbook

[24] ASME, Sección VIII, División 1
[25] ASME, Sección VIII, División 1

2.6.9 Boquillas en recipientes a presión

Para el diseño de los diferentes tipos de recipientes a presión se debe tomar en cuenta que vienen provistos de boquillas y conexiones de entrada y salida del producto, entrada de hombre, venteo, válvula de seguridad, etc.

Las boquillas más sobresalientes que deben existir en un recipiente a presión son: entrada de producto, salida de producto, drenaje, venteo, entrada de hombre, conexión para válvula de seguridad, conexión para manómetro, conexión para termómetro y conexiones para indicadores y control de nivel.

A continuación se mostrará, la distribución de las boquillas que se utilizarán para las conexiones de las tuberías en nuestro diseño, como se muestra en la figura 2.10.

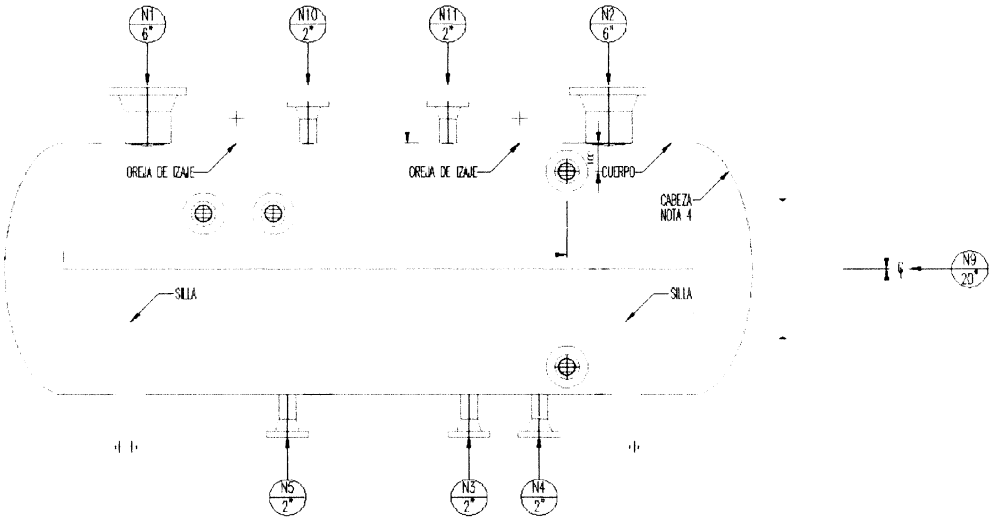


Figura 2.10. Distribución de boquillas.

Fuente: Verónica Tapia

2.6.9.1 Cálculo de espesores de las boquillas

Para el cálculo de los espesores de las boquillas se debe tomar en cuenta la presión interna ya que los espesores calculados son muy pequeños, y los diámetros de las boquillas son inapreciables en comparación con el del recipiente.

Un aspecto muy importante que se debe considerar es la tolerancia a la corrosión para elegir las cédulas de las boquillas.

Cuando se diseña un recipiente a presión, a las personas encargadas de los arreglos de las tuberías se recomienda que no transmitan grandes fuerzas y momentos a los recipientes.

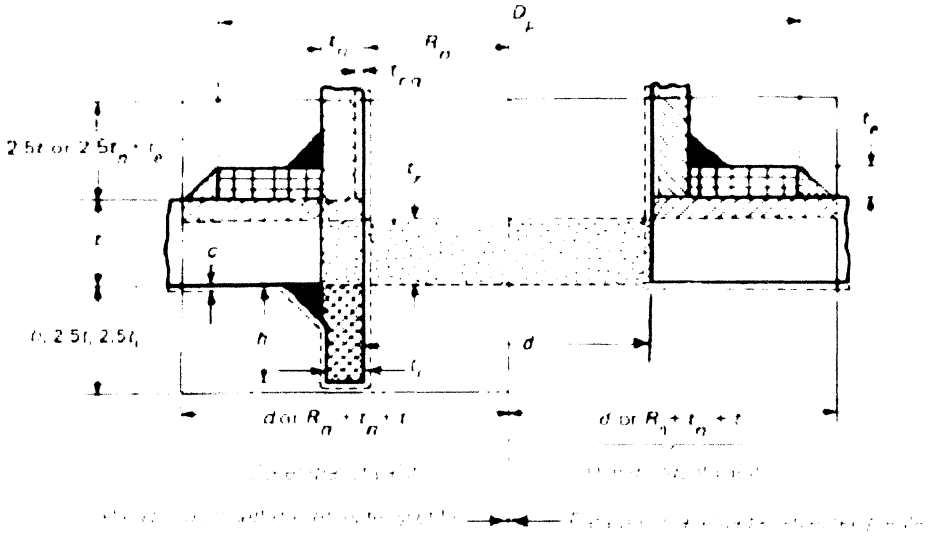


Figura 2.11. Espesores de boquillas

Fuente: ASME, Sección VIII, División 1

Las siguientes ecuaciones enlistadas a continuación se utilizarán para el cálculo sin elemento de refuerzo, recomendadas por la norma ASME, código UG37:

Área requerida

$$A = d * t_r * F + 2(t_n - CA) * t_r * F(1 - f_{r1})$$ Ec. 2.40

Área disponible en el cuerpo, usar mayor valor

$$A_1 = d(E_1 * t - F * t_r) - 2t_n(E_1 * t - F * t_r)(1 - f_{r1})$$ Ec. 2.41

$$A_1 = 2(t + t_n)(E_1 * t - F * t_r) - 2t_n(E_1 * t - F * t_r)(1 - f_{r1})$$ Ec. 2.42

Área disponible en la boca en la parte exterior, usar menor valor

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) * f_{r2} * t$$ Ec. 2.43

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) * f_{r2} * t_n$$ Ec. 2.44

Área disponible en la parte interna de la boca, menor valor

$$A_3 = 2(t_n - CA) * f_{r2} * h \qquad \text{Ec. 2.45}$$

$$A_3 = 5(t_n - CA)^2 * f_{r2} \qquad \text{Ec. 2.46}$$

Área total disponible en la soldadura externa

$$A_{41} = (leg_{41})^2 * f_{r2} \qquad \text{Ec. 2.47}$$

Área total disponible en la soldadura interna

$$A_{43} = (leg_{43})^2 * f_{r2} \qquad \text{Ec. 2.48}$$

Si cumple con la siguiente ecuación la abertura está bien reforzada

$A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} \geq A$, si no se cumple se añade un elemento de refuerzo.

Ec. 2.49

Donde:

A: Área requerida (pulg^2)

A_p: Área de la placa de refuerzo (pulg^2)

A_1: Área en exceso, cuerpo de la cabeza (pulg^2)

A_2: Área disponible en la proyección externa de la boca (pulg^2)

A_3: Área disponible en la proyección interna de la boca (pulg^2)

A_{41}: Área disponible en la soldadura exterior de la boca (pulg^2)

A_{43}: Área disponible en la soldadura interior de la boca (pulg^2)

f_{r1}: Se usa en bocas asentadas en el recipiente (psi)

$f_{r2} = S_n/S_v$ (S_v esfuerzo admisible en el recipiente)

t: Espesor actual del cuerpo (pulg)

t_e: Espesor del refuerzo (pulg)

t_r: Espesor calculado del cuerpo y cabeza (pulg)

t_n: Espesor actual de la pared de la boca (pulg)

t_{rm}: espesor calculado de la pared de la boca (pulg)

E: Eficiencia de soldadura (1)

CA: Corrosión admisible (pulg)

F: Factor de corrosión por variación del esfuerzo generado por la presión

Material de las boquillas A-106 GrB

S_n: Esfuerzo permisible de la boca (15000 psi)

En la tabla 2.7 se muestran datos básicos para la resolución de las ecuaciones mencionadas:

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
P	Presión de Diseño	50	PSI
T	Temperatura de Diseño	320	°F
CA	Corrosión Admisible	0,125	pulg
S_s o S_h	Esfuerzo Perm. (Cuerpo y Cabeza)	17500	psi
t_s	Espesor del cuerpo	0,313	pulg
E_n	Exanimación Bocas	100	%
E	Exanimación Cabeza	100	%
E	Exanimación del cuerpo	100	%
D	Diámetro Interno recipiente	36	pulg
t_h	Espesor de la Cabeza	0,313	pulg

Tabla 2.7. Datos de ingreso para calcular boquillas

Fuente: Manual de Recipientes a Presión.

Para tener claro que boquillas son las que se calcularán para el recipiente, a continuación en la tabla 2.8 se podrá ver su denominación y su uso:

BOQUILLA	TAMAÑO (pulg)	RATING	CONEXION	SERVICIO
N1	6	150#	BRIDA RF	ENTRADA GAS
N2	6	150#	BRIDA RF	SALIDA GAS
N3	2	150#	BRIDA RF	SALIDA LIQUIDO
N4	2	150#	BRIDA RF	DRENAJE
N5	2	150#	BRIDA RF	DRENAJE
N6A	2	150#	BRIDA RF	LG (VISOR DE NIVEL)
N6B	2	150#	BRIDA RF	LG (VISOR DE NIVEL)
N7	2	150#	BRIDA RF	TIT (TRANSM. TEMP.)
N8	2	150#	BRIDA RF	TI (INDICADOR TEMP.)
N9	20	150#	BRIDA RF	MANHOLE
N10	2	150#	BRIDA RF	PI (INDICADOR PRES.)
N11	2	150#	BRIDA RF	PIT (TRANSM. PRES.)

Tabla 2.8. Denominación de boquillas

Fuente: Bases y criterios de diseño

2.6.9.2 Cálculo boquilla N9

Para los cálculos de la boquilla de diámetro nominal 20 pulg., se recomienda según la norma ASME que la distancia saliente del tubo sea de 10 pulg. como se puede ver en el anexo 6.

Datos:

d: Diámetro (20 pulg)

f_{r2}: 0,85

t_{hr} : 0,023 pulg

t_n: 0,375 pulg

E_1: 1

Área requerida

$$A = d * t_r * F + 2(t_n - CA) * t_r * F(1 - f_{r1})$$

$$A = 20 * 0{,}023 * 1 + 2(0{,}375 - 0{,}175) * 0{,}023 * 1(1 - 0{,}085)$$

$$A = 0{,}44 \text{ pulg}^2$$

Área disponible en el cuerpo, usar el mayor

$$A_1 = d(E_1 * t - F * t_r) - 2t_n(E_1 * t - F * t_r)(1 - f_{r1})$$

$$A_1 = 20(1 * 0{,}313 - 1 * 0{,}023) - 2 * 0{,}375(1 * 0{,}313 - 1 * 0{,}023)(1 - 0{,}85)$$

$$A_1 = 3{,}202 \text{ pulg}^2$$

$$A_1 = 2(t + t_n)(E_1 * t - F * t_r) - 2t_n(E_1 * t - F * t_r)(1 - f_{r1})$$

$$A_1 = 2(0{,}313 + 0{,}375)(1 * 0{,}313 - 1 * 0{,}023) - 2 * 0{,}375(1 * 0{,}313 - 1 * 0{,}023)(1 - 0{,}85)$$

$$A_1 = 0{,}132 \text{ pulg}^2$$

Así, el valor escogido es $A_1 = 3{,}202 \text{ pulg}^2$

Área disponible en la boca en la parte exterior, usar menor valor

$$t_{rn} = \frac{P * R_n}{S * E - 0{,}6 * P} \qquad \text{Ec. 2.50}$$

$$t_{rn} = \frac{50 * 10}{17100 * 1 - 0{,}6 * 50}$$

$$t_{rn} = 0{,}029 \text{ pulg}$$

$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) * f_{r2} * t$

$A_2 = 5(0{,}375 - 0{,}029) * 0{,}85 * 0{,}313$

$A_2 = 0{,}18 \text{ pulg}^2$

$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) * f_{r2} * t_n$

$A_2 = 5(0{,}375 - 0{,}029) * 0{,}85 * 0{,}375$

$A_2 = 0{,}24 \text{ pulg}^2$

Así, el valor escogido es $A_2 = 0{,}18 \text{ pulg}^2$

Área disponible en la parte interna de la boca, h = d = 3,0625 (Ver Anexo 8, distancia de penetración de la boquilla en el cuerpo)

$A_3 = 2(t_n - CA) * f_{r2} * h$

$A_3 = 2(0{,}375 - 0{,}175) * 0{,}85 * 3{,}0625$

$A_3 = 0{,}52 \text{ pulg}^2$

Área total disponible en la soldadura externa

$A_{41} = (leg_{41})^2 * f_{r2}$

$A_{41} = (0{,}375)^2 * 0{,}85$

$A_{41} = 0{,}12$

Área total disponible en la soldadura interna

$A_{43} = (leg_{43})^2 * f_{r2}$

$A_{41} = (0{,}375)^2 * 0{,}85$

$A_{41} = 0{,}120$

Área Total

$$A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} = 3{,}62$$

$$A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} \geq A$$

$$3{,}620 \geq 0{,}44$$

La suma de las áreas cumple con la ecuación, es decir, boca reforzada adecuadamente. No es necesario colocar elemento de refuerzo.

2.6.9.3 Cálculo boquilla N1 Y N2 Entrada y Salida de gas

Las dos boquillas son de 6 pulgadas y la distancia saliente del tubo debe ser de 8 pulg.

Datos:

d: Diámetro nominal (6 pulg)

t_r: 0,05 pulg

t_n : 0,28 pulg

E_1: 1

Área requerida

$$A = d * t_r * F + 2(t_n - CA) * t_r * F(1 - f_{r1})$$

$$A = 6 * 0{,}05 * 1 + 2(0{,}28 - 0{,}125) * 0{,}05 * F(1 - 0{,}85)$$

$$A = 0{,}28 \text{ pulg}^2$$

Área disponible en el cuerpo, usar mayor valor

$$A_1 = d(E_1 * t - F * t_r) - 2t_n(E_1 * t - F * t_r)(1 - f_{r1})$$

$$A_1 = 6(1 * 0{,}31 - 1 * 0{,}05) - 2 * 0{,}28(1 * 0{,}31 - 1 * 0{,}05)(1 - 0{,}85)$$

$$A_1 = 0{,}89 \text{ pulg}^2$$

$$A_1 = 2(t + t_n)(E_1 * t - F * t_r) - 2t_n(E_1 * t - F * t_r)(1 - f_{r1})$$

$$A_1 = 2(0{,}31 + 0{,}28)(1 * 0{,}31 - 1 * 0{,}05) - 2 * 0{,}28(1 * 0{,}31 - 1 * 0{,}05)(1 - 0{,}85)$$

$$A_1 = 0{,}091 \text{ pulg}^2$$

Así, el valor escogido es $A_1 = 0{,}89$ pulg²

Área disponible en la boca en la parte exterior, usar menor valor

$$t_{rn} = \frac{P * R}{S * E + 0{,}4 * P}$$

$$t_{rn} = 0{,}01 \text{ pulg}$$

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) * f_{r2} * t$$

$$A_2 = 5(0{,}28 - 0{,}01) * 0{,}85 * 0{,}31$$

$$A_2 = 0{,}12 \text{ pulg}^2$$

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) * f_{r2} * t_n$$

$$A_2 = 5(0{,}28 - 0{,}01) * 0{,}85 * 0{,}28$$

$$A_2 = 0{,}096 \text{ pulg}^2$$

Así, el valor escogido es $A_2 = 0{,}096$ pulg²

Área disponible en la parte interna de la boca, h =d= 0,3125 (Ver Anexo 7, distancia de penetración de la boquilla en el cuerpo)

$$A_3 = 2(t_n - CA) * f_{r2} * h$$

$$A_3 = 2(0{,}28 - 0{,}13) * 0{,}85 * 0{,}31$$

$$A_3 = 0{,}04 \text{ pulg}^2$$

Área total disponible en la soldadura externa

$$A_{41} = (leg_{41})^2 * f_{r2}$$

$$A_{41} = (0{,}28)^2 * 0{,}85$$

$$A_{41} = 0{,}067 \text{ pulg}^2$$

Área total disponible en la soldadura interna

$$A_{43} = (leg_{43})^2 * f_{r2}$$

$$A_{43} = (0{,}28)^2 * 0{,}85$$

$$A_{43} = 0{,}067 \text{ pulg}^2$$

Área Total

$$A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} = 1{,}12$$

$$A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} \geq A$$

$$1{,}12 \geq 0{,}28$$

La suma de las áreas cumple con la ecuación, es decir, las bocas de entrada y salida del gas no necesitan refuerzo.

2.6.9.4 Cálculo boquillas N3, N4, N5, N6A, N6B, N7 y N8

Todas las boquillas son del mismo diámetro 2 pulg y la distancia saliente del tubo es de 6 pulg.

Datos:

d: Diámetro nominal (2 pulg)

t_r : 0,045 pulg

t_n: 0,154 pulg

Área requerida

$$A = d * t_r * F + 2(t_n - CA) * t_r * F(1 - f_{r1})$$

$$A = 2 * 0{,}05 * 1 + 2(0{,}15 - 0{,}125) * 0{,}05 * F(1 - 0{,}85)$$

$$A = 0{,}11 \text{ pulg}^2$$

Área disponible en el cuerpo, usar mayor valor

$$A_1 = d(E_1 * t - F * t_r) - 2t_n(E_1 * t - F * t_r)(1 - f_{r1})$$

$$A_1 = 2(1 * 0{,}31 - 1 * 0{,}05) - 2 * 0{,}28(1 * 0{,}31 - 1 * 0{,}05)(1 - 0{,}85)$$

$$A_1 = 0{,}33 \text{ pulg}^2$$

$$A_1 = 2(t + t_n)(E_1 * t - F * t_r) - 2t_n(E_1 * t - F * t_r)(1 - f_{r1})$$

$$A_1 = 2(0{,}31 + 0{,}154)(1 * 0{,}31 - 1 * 0{,}05) - 2 * 0{,}15(1 * 0{,}31 - 1 * 0{,}05)(1 - 0{,}85)$$

$$A_1 = 0{,}06 \text{ pulg}^2$$

Así, el valor escogido es $A_1 = 0{,}33 \text{ pulg}^2$

Área disponible en la boca en la parte exterior, usar menor valor

$$t_{rn} = \frac{P * R}{S * E + 0{,}4 * P}$$

$$t_{rn} = 3 * 10^{-3} \text{ pulg}$$

$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) * f_{r2} * t$

$A_2 = 5(0{,}154 - 0{,}003) * 0{,}85 * 0{,}31$

$A_2 = 0{,}02 \text{ pulg}^2$

$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) * f_{r2} * t_n$

$A_2 = 5(0{,}15 - 0{,}003) * 0{,}85 * 0{,}15$

$A_2 = 3 * 10^{-3} \text{ pulg}^2$

Así, el valor escogido es $A_2 = 3 * 10^{-3} \text{ pulg}^2$

Área disponible en la parte interna de la boca, h =d= 0,0625 (Ver Anexo 7, distancia de penetración de la boquilla en el cuerpo)

$A_3 = 2(t_n - CA) * f_{r2} * h$

$A_3 = 2(0{,}15 - 0{,}125) * 0{,}85 * 0{,}06$

$A_3 = 1 * 10^{-4} \text{ pulg}^2$

Área total disponible en la soldadura externa

$A_{41} = (leg_{41})^2 * f_{r2}$

$A_{41} = (0{,}15)^2 * 0{,}85$

$A_{41} = 0{,}02 \text{ pulg}^2$

Área total disponible en la soldadura interna

$$A_{43} = (leg_{43})^2 * f_{r2}$$

$$A_{43} = (0{,}02)^2 * 0{,}85$$

$$A_{43} = 0{,}07 \text{ pulg}^2$$

Área Total

$$A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} = 0{,}37$$

$$A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} \geq A$$

$$0{,}37 \geq 0{,}11$$

La suma de las áreas cumple con la ecuación, es decir, las bocas de diámetro nominal de 2 pulg no necesitan refuerzo.

2.7 Relación de diseño con el método clásico

Siempre es una pregunta del por qué se utilizan para algunos tipos de diseño, normas o códigos que guían en el proceso, a los ingenieros que se dedican exclusivamente a esta actividad.

La manera en la que la estructura del diseño empieza su curso, es el mismo en ambas condiciones, donde se encuentra diferencias muy específicas que en el caso generen, en el diseñador criterios que le permitan tomar decisiones a tiempo.

Las normas como significado se dice que son un conjunto de especificaciones para partes, materiales o procesos establecidos a fin de lograr uniformidad, eficiencia y cantidades específicas.

Un código es un conjunto de especificaciones para analizar, diseñar, manufacturar y construir algo, en donde cada una de ellas busca un fin diferente con respecto a los diseños que no se rigen a normas, estos son:

Uno de los propósitos importantes de la norma es poner un límite al número de variaciones que puedan surgir al crear arbitrariamente una pieza, material o proceso; el propósito del código consiste en lograr un grado específico de seguridad, eficiencia y desempeño o calidad. Donde estos no implican seguridad absoluta, pues esto es imposible de obtener como se menciona en el libro, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 2008.

2.7.1 Factor de seguridad

Como una de las principales diferencias en estos tipos de diseño se puede mencionar el factor de seguridad, pues en la actualidad según las normas se establecen factores que estén relacionados con los sitios sísmicos de cada una de las zonas donde se van a realizar los proyectos, sustentados en el Código de la Construcción y el riesgo que conlleva realizarlos en diferentes espacios y los aspectos ambientales que sufre cada uno de los diseños realizados.

Cuando el diseño se lo realiza por el método clásico, se encuentra ecuaciones fundamentales para cada una de las necesidades, que despejen las dudas de valores calculados versus los reales.

A continuación se presenta algunos ejemplos de fórmulas clásicas tomadas del libro de Diseño de Shigley que permite identificar las diferencias y semejanzas con el diseño bajo normas explicadas en este documento.

En este caso se presenta la fórmula 2.51 que permite el cálculo del factor de diseño (n_d), en donde intervienen valores calculados con métodos iguales en ambas formas:

$$n_s = \frac{\text{esfuerzo normal permisible}}{\text{esfuerzo normal de diseño}} = \frac{\sigma_{per}}{\sigma_d} \qquad \text{Ec. 2.51}$$

Donde:

n_s: Factor de seguridad

Según este método se debe analizar que n_s mayor a 1 el diseño es adecuado, en donde si mayor es el valor n_s más seguro será el proyecto y el diseño real puede cambiar

como resultado de modificaciones como el redondeo a un tamaño estándar de una sección transversal.

De esta manera los términos esfuerzo y resistencia de la ecuación deben ser del mismo tipo y aplicarse a la misma ubicación crítica en la parte.

De esta manera con la fórmula 2.52 se calcula el factor de diseño por el método clásico:

$$n_s = \frac{\pi * S * t^2}{4P} \qquad \text{Ec. 2.52}$$

$$n_s = \frac{\pi * 17500 * t0.3125^2}{4 * 241{,}05}$$

$$n_s = 5{,}57 \rightarrow 6$$

Como resultado de esta ecuación se puede ver una diferencia con el factor de seguridad según la norma que es de 4, donde esta toma precauciones de corrosión y esfuerzos en cada una de las ecuaciones dadas.

2.7.2 Recipientes de pared delgada método clásico

Se puede considerar varias formas de resolver bajo criterios de recipientes de pared delgada, como se presenta el diseño mecánico clásico dice:

"Cuando el espesor de la pared delgada de un recipiente cilíndrico a presión se acerca a un décimo de su radio o menos, el esfuerzo radial que resulta de la presurización del recipiente es muy pequeño comparado con el esfuerzo tangencial" (Nisbett & Shigley, 2008, pág. 111)

$$(\sigma_t)máx = \frac{p(d_i + t)}{2t} \qquad \text{Ec. 2.53}$$ [26]

Donde:

$(\sigma_t)_{máx}$: Esfuerzo tangencial promedio

[26] Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, novena edición, 2008

$d_i + t$: Diámetro promedio

p: Presión interna ejercida sobre la pared

t: espesor de la pared

d_i: Diámetro interior (36 pulg)

Para saber si la teoría para recipientes de pared delgada se cumple, se debe realizar la siguiente relación t/r_i, donde r_i es el $d_i/2$.

$$\frac{t}{r_i} = \frac{0,32}{18} = 0,018$$ [27]

Donde, si se cumple que es menor que 0,1 se aplica la fórmula 2.54 para obtener la presión permisible.

$$p = \frac{2t * (\sigma_t)}{d_i + t}$$ Ec. 2.54[28]

$$p = \frac{2 * 0,32 * 17500}{36 + 0,32}$$

$$p = 308,37 \text{ psi}$$

Como resultado de esto se ve una diferencia sobre el valor obtenido de 298,30 psi con las fórmulas que la norma ASME propone para el diseño de este tipo de recipientes, la misma que incluye factores tales como corrosión admisible y eficiencias de juntas.

2.7.3 Distribuciones del esfuerzo en soldadura

En este tipo de diseño se ve la coincidencia en la forma de soldar las partes del recipiente, tienen las mismas características en forma limitada para cada uno de las piezas que se suelden, en este caso, para el cuerpo y las cabezas la soldadura es a tope, así como en el cuerpo la lámina se corta en cuatro partes iguales y la unión se

[27] Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, novena edición, 2008
[28] Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, novena edición, 2008

realiza en forma traslapada, con el fin de soportar la carga cortante y no la tensionante, y la unión se torne más fuerte.

El análisis más simple de las uniones traslapadas sugiere que la carga aplicada se distribuya de manera uniforme sobre el área de la unión, como se menciona en el libro Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.

CAPÍTULO III
SIMULACIÓN DEL DEPURADOR DE LÍQUIDOS PARA EL SISTEMA DE ALIVIO Y VENTEO DE GLP PARA EP PETROECUADOR

Para realizar el estudio de la simulación el programa utilizado es PV Elite versión 2009.

Este programa es una solución de software completa para diseño, análisis y evaluación de recipientes e intercambiadores de calor, proporciona la captura significativa de datos, verificación de errores, diseño de silletas y facilita la definición de condiciones de presión.

Al arrancar el programa la pantalla de presentación es la siguiente:

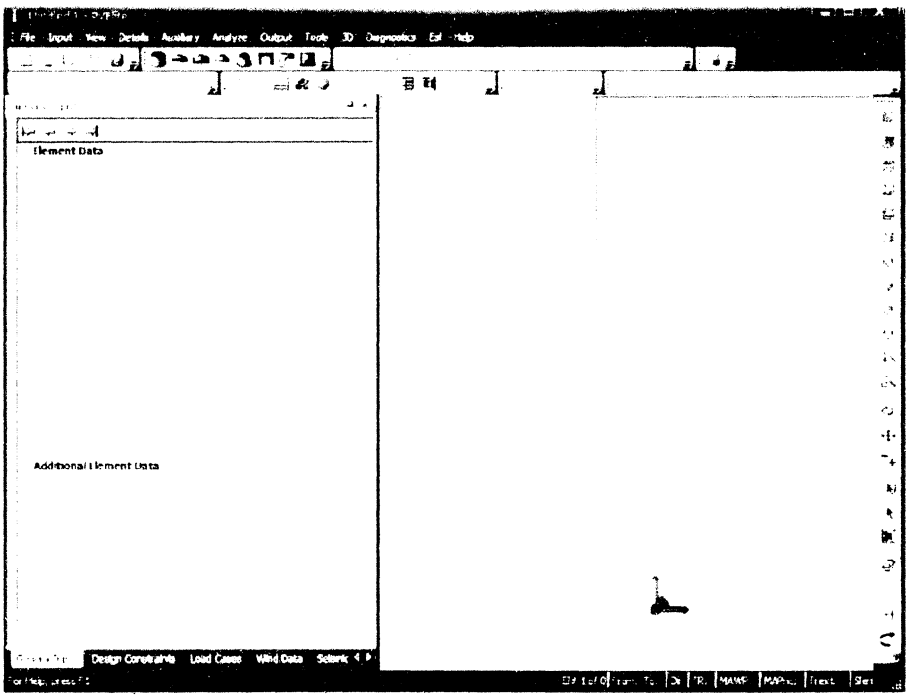


Figura 0.1. Pantalla inicial para los datos.

Se puede observar dos modelos de pantalla, en donde a la izquierda se tiene un modelo en 2D y en el lado derecho un modelo 3D, además al mover la ventana del divisor ajustable, puede ampliar o reducir para visualizar de mejor manera en cualquiera de las dos pantallas.

La facilidad que nos presenta este software, es la comprobación de los resultados calculados con anterioridad de acuerdo a la norma ASME y de manera segura visualizar las características de cada elemento en el recipiente.

Para la simulación estructural, el programa trabaja según las especificaciones de los siguientes códigos de diseño:

ASME Sección VIII, División 1

ASME Sección VIII, División 2

Código británica PD 5500

Código europeo EN 13445

Para el diseño del depurador de líquidos se trabajó con las especificaciones requeridas para el mismo, en este caso, el código ASME Sección VIII, División 1, además, las unidades en las que se va a trabajar son las inglesas, por ser las más utilizadas en el campo petrolero en el Ecuador, como estos son dos parámetros iniciales importantes, que guiarán en la construcción del recipiente, la elección se lo realiza desde el inicio.

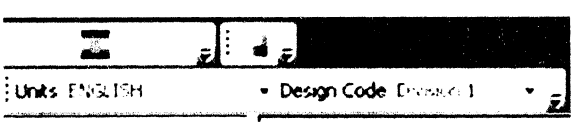


Figura 3.2. Selección de parámetros iniciales

Para empezar a construir el recipiente horizontal se debe cambiar la posición de los ejes, tomando en cuenta que son diferentes los parámetros para cada uno de los modelos.

Figura 3.3. Selección de posición del recipiente

3.1 Elementos básicos

PV Elite tiene los siguientes elementos básicos que pueden ser seleccionados:

- Los depósitos cilíndricos
- Cabezas planas, elípticas, esféricas, torisféricas
- Las secciones cónicas (incluyendo los nudillos)
- Bridas en el cuerpo
- Las faldas con detalles

Y los siguientes elementos pueden fijarse en los elementos básicos:

- Boquillas
- Peso propio y cargas aplicadas
- Plataforma
- Bandejas y embalaje
- Silletas, piernas y agarraderas
- Fluido
- Aislamiento y revestimiento

3.2 Ingreso de datos

Los primeros datos que se ingresan son los de diseño, de acuerdo a la figura 3.4, entre los cuales se tiene:

- Presión interna: 50 psi
- Presión externa: 14,7 psi (atmosférica)
- Temperatura interna de diseño: (320 °F) (160 °C)
- Temperatura externa de diseño: (108 °F) (42,22 °C)

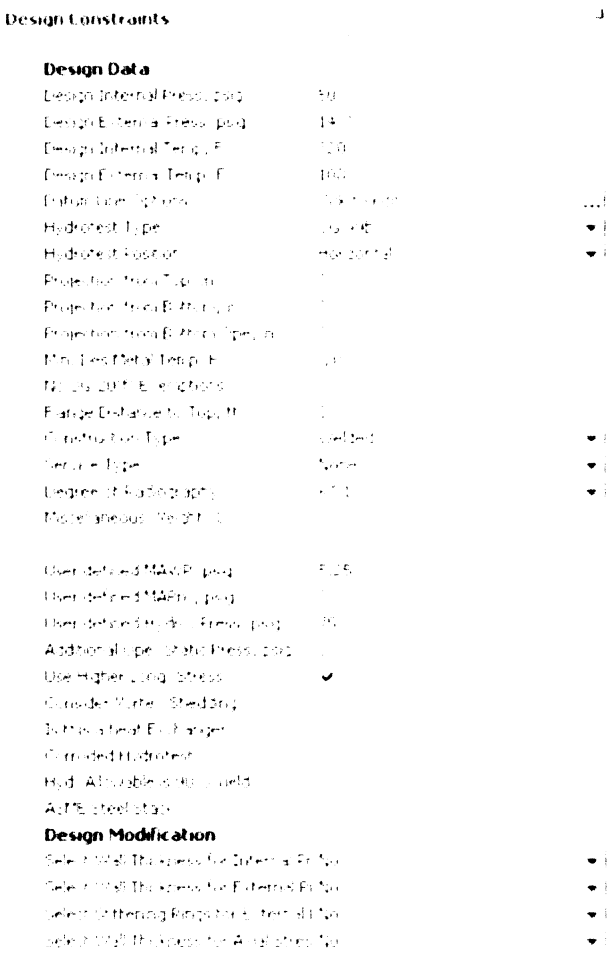


Figura 3.4. Datos de diseño

3.3 Patrones de carga

Los patrones de carga que se presentan en este diseño son: sismo y viento

Según el código Ecuatoriano de Construcción la zona sísmica a la que pertenece Santa Elena es la número cuatro como se indica en la página 22 del mismo, de ahí su factor de seguridad. Los códigos escogidos para ambas cargas de diseño siempre deben ser los actualizados a la fecha.

En la figura 3.5 se ingresan los datos de sismo:

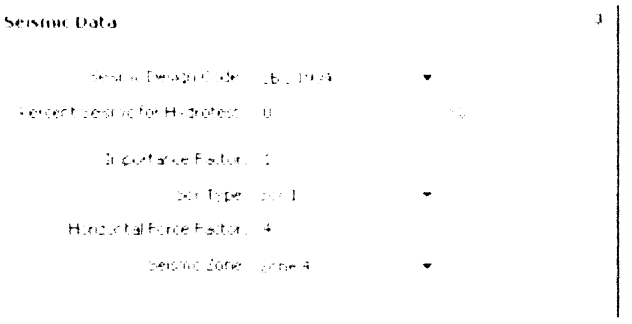


Figura 3.5. Datos de diseño, sismo

De acuerdo a las condiciones meteorológicas que presenta en esta zona la velocidad del viento para el diseño se indicó en el capítulo 1, tabla 1.2.

En la figura 3.6 se ingresan los datos de viento:

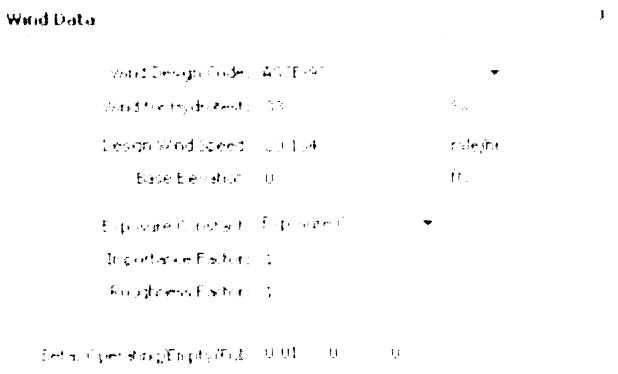


Figura 3.6. Datos de diseño, viento

Ingresar los datos de las cabezas y del cuerpo de acuerdo a la figura 3.7 y 3.8 calculados en el capítulo II:

- Diámetro interior: 36 pulg
- Longitud: 7,5 pulg
- Grueso acabado: 0,31 pulg
- Corrosión interna: 0,125 pulg
- Corrosión externa: 0
- Presión interna: 50 psi
- Presión externa: 14,7 psi
- Temperatura: (320 °F) (160 °C)
- Relación de la cabezas semielípticas: 2

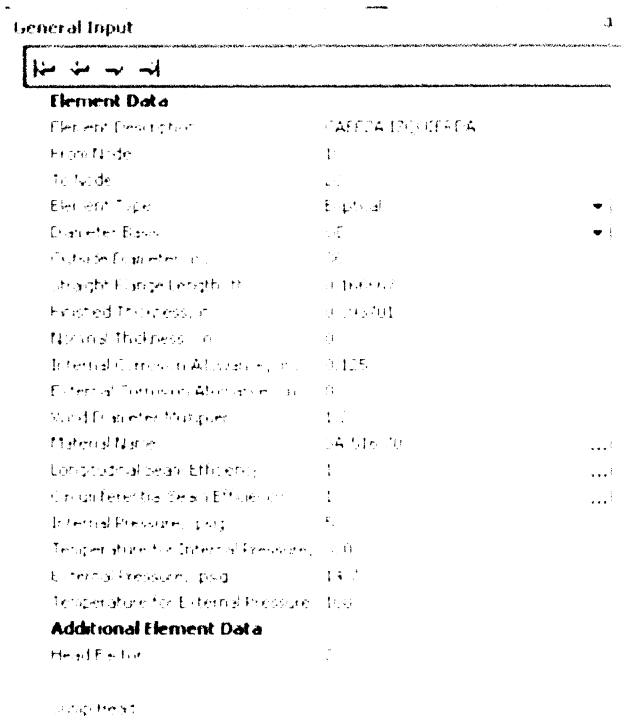


Figura 3.7. Datos de diseño de cabeza

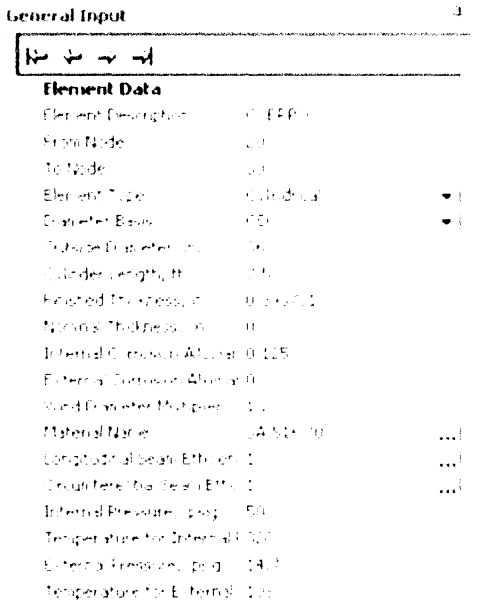


Figura 3.8. Datos de diseño del cuerpo

Se empieza a trabajar de izquierda a derecha, añadiendo la carcasa y la cabeza hasta tener el recipiente. Como se había indicado en el capítulo II la cabeza es semielípticas, así de esta manera se va a colocar cada una de sus partes, como se muestra en la figura 3.9 con el tipo de cabeza.

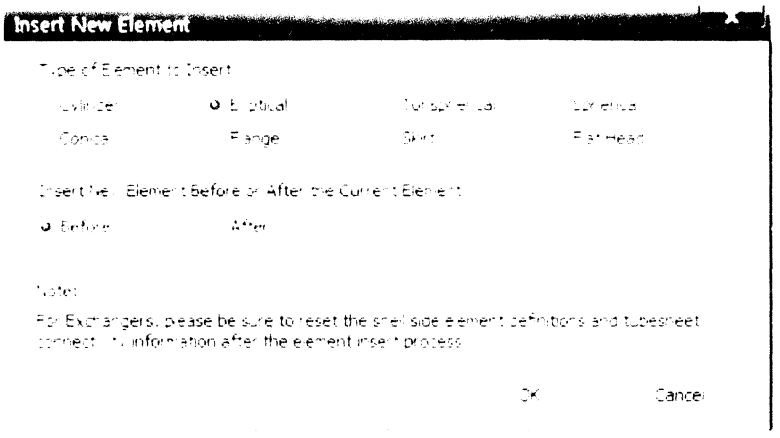


Figura 3.9. Selección tipo de cabezas para el diseño.

3.4 Selección del material

En la pantalla de la figura 3.7 se puede visualizar la opción Material Name de la cual se despliega una ventana, en donde el programa permite seleccionar el tipo de material de una lista diversa.

La recomendación de la Norma ASME según las especificaciones adecuadas para el diseño es elegir, el material SA-516 70, por sus propiedades, como se muestra en la figura 3.10.

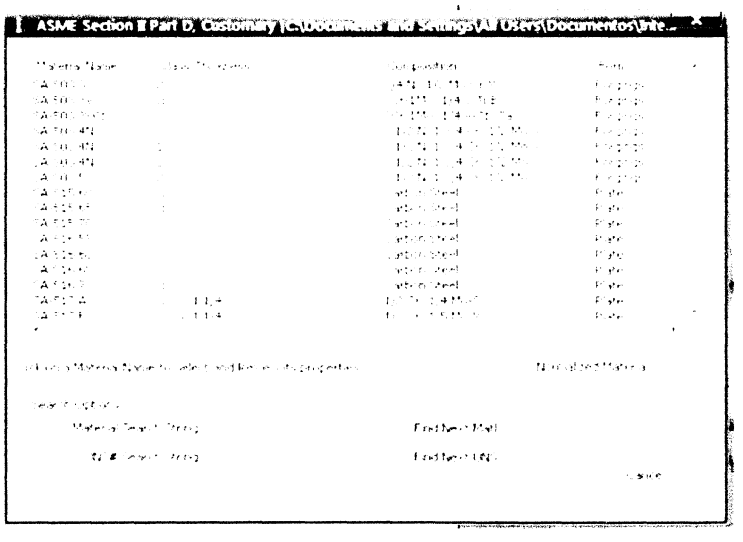


Figura 3.10. Selección de material

3.5 Ubicación de las boquillas

Se despliega una ventana como se muestra en la figura 3.11, donde se ingresan los datos de cada una de las boquillas, en el cual es importante seleccionar el diámetro

nominal y posición dentro del recipiente, como se muestra en la tabla 3.1. indicando además el nombre de boquilla, rating, tipo de conexión y el servicio.

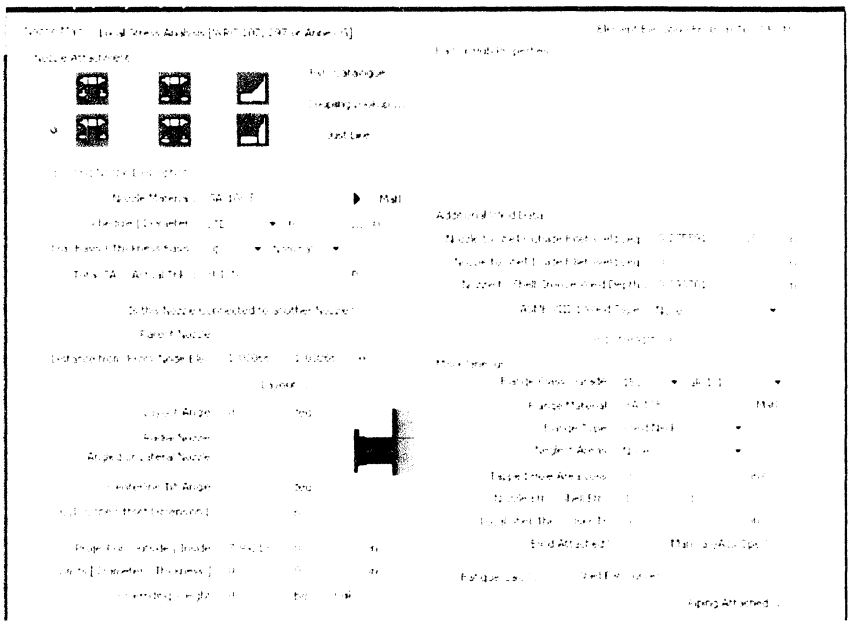


Figura 3.11. Pantalla para ingresar datos de boquillas

BOQUILLA	DIÁMETRO NOMINAL Pulg	RATING	CONEXIÓN	SERVICIO	COORDENADAS mm (x,y)
N1	6	150#	BRIDA RF	ENTRADA GAS	(305,0)
N2	6	150#	BRIDA RF	SALIDA GAS	(1981,0)
N3	2	150#	BRIDA RF	SALIDA LIQUIDO	(1473,914)
N4	2	150#	BRIDA RF	DRENAJE	(1698,914)
N5	2	150#	BRIDA RF	DRENAJE	(813,914)
N6A	2	150#	BRIDA RF	LG (VISOR DE NIVEL)	(1829,102)
N6B	2	150#	BRIDA RF	LG (VISOR DE NIVEL)	(1829,813)
N7	2	150#	BRIDA RF	TIT (TRANSM. TEMP.)	(508,253)
N8	2	150#	BRIDA RF	TI (INDICADOR TEMP.)	(762,253)
N9	20	150#	BRIDA RF	MANHOLE	(2503,457
N10	2	150#	BRIDA RF	PI (INDICADOR PRES.)	(889,0)
N11	2	150#	BRIDA RF	PIT (TRANSM. PRES.)	(1397,0)

Tabla 3.1. Datos de boquillas

El cálculo de cada una de las boquillas se realizó en el capítulo anterior, con los cuales se puede ir insertando en el recipiente. Una vez colocadas todas las boquillas en el programa, se puede examinar el diseño en 2D.

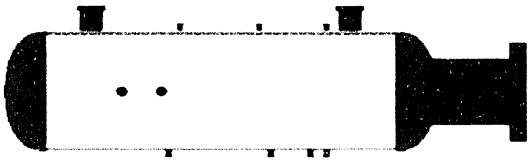


Figura 3.12. Diagrama 2D

Una vez terminado el diseño se manda a correr y el programa nos da una lista donde se puede ver los errores o aciertos de los datos ingresados.

3.6 Determinación de errores

En la barra que se encuentra en la parte inferior de la imagen del recipiente terminado, que se presenta a continuación, se puede observar las dimensiones marcadas de color negro, esto muestra que el análisis del recipiente que se ha originado está de acuerdo con las especificaciones.

Los campos mostrados de izquierda a derecha son:

El# 2 of 3 Es el número de la pieza de 2 de 3 componentes.

Fr: 0.00 to: 7.50 ft. Es la distancia desde la línea de referencia.

Right Elemento de orientación.

Tr: 0.1875 Espesor calculado de la presión interna.

Pmax: 299.1 Presión máxima para este elemento.

MAPnc: 441.3 Máxima presión permisible nueva y frío.

Text: 0.301 Espesor calculado de la presión externa.

Sben: 22.2 ft. Longitud sin apoyo máximo para la presión externa.

Si se encuentra cualquiera de estos resultados de color rojo, el programa está dando una alerta que el valor es incorrecto, y de esta manera proceder a corregir en cada uno de los campos donde existiera errores.

Con todos los valores correctos, el diseño termina como se muestra en la figura 3.13 y de esta manera se procede con el análisis del mismo, el cual genera un informe final de cada uno de los elementos del recipiente, que se desea incluir.

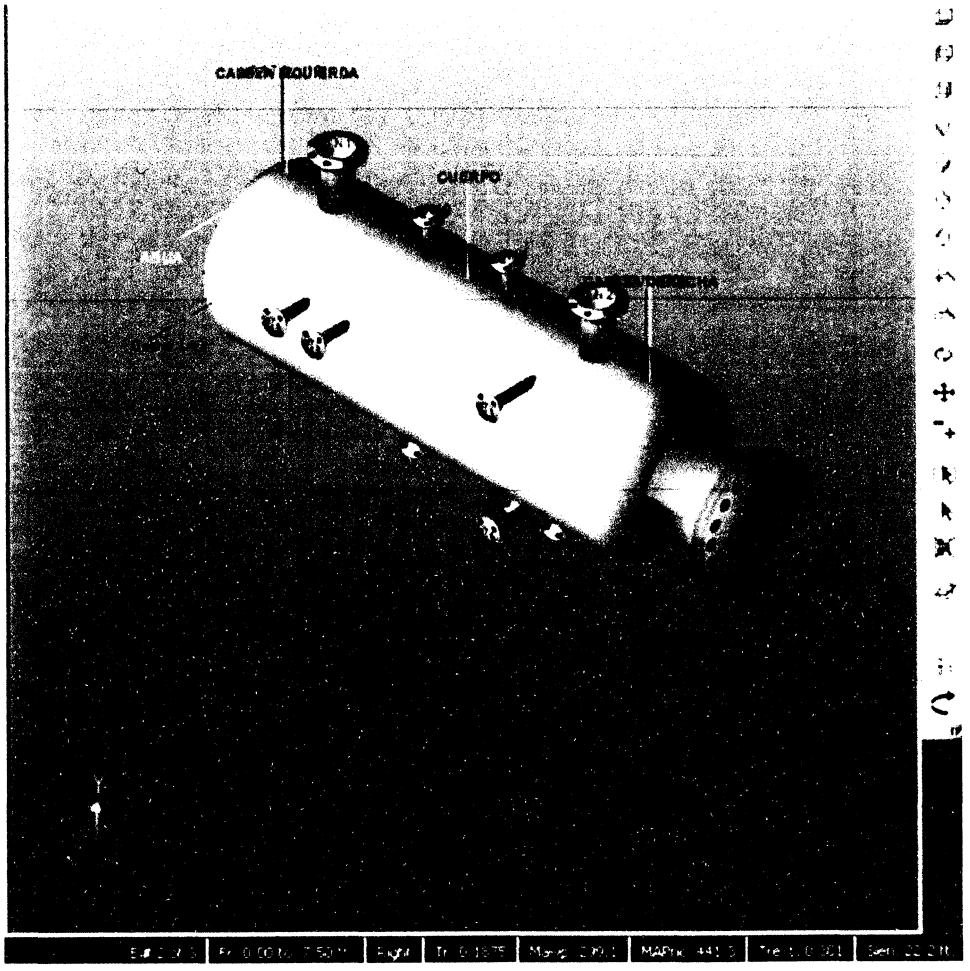


Figura 3.13. Resultados finales correctos del recipiente.

3.7 Resultados obtenidos

Digitando la opción "Analize" del programa, se obtiene el estudio del recipiente y de esta manera se genera el reporte con los siguientes datos:

Design Code: ASME Code Section VIII Division 1, 2010

Diameter Spec : 36.000 in. OD		
Vessel Design Length, Tangent to Tangent	7.33	ft.
Specified Datum Line Distance	1.17	ft.
Shell Material Specification	SA-516 70	
Nozzle Material Specification	SA-106 B	
Re-Pad Material Specification	SA-516 70	
Internal Design Temperature	300	F
Internal Design Pressure	51.000	psig
External Design Temperature	100	F
External Design Pressure	14.700	psig
Maximum Allowable Working Pressure	5.251	psig
External Max. Allowable Working Pressure	18.149	psig
Hydrostatic Test Pressure	75.000	psig
Required Minimum Design Metal Temperature	-20	F
Warmest Computed Minimum Design Metal Temperature	-155	F
Wind Design Code		ASCE-98
Earthquake Design Code		UBC-94

Element Pressures and MAWP: psig

Element Desc	Design Pres. + Stat. head	External Pressure	M.A.W.P	Corrosion Allowance
CABEZA IZQUIERDA	51.276	14.700	299.146	0.1250
CUERPO	51.276	14.700	299.146	0.1250
CABEZA DERECHA	51.276	14.700	299.146	0.1250

Liquid Level: 2.93 ft. Dens.: 62.400 lb. ft³ Sp. Gr.: 1.000

Element Type	"To" Elev ft.	Length ft.	Element Thk in.	Req'd Thk Int.	Req'd Thk Ext.	Joint Eff Long	Joint Eff Circ
Ellipse	0.00	0.167	0.315	0.133	0.217	1.00	1.00
Cylinder	7.50	7.500	0.315	0.133	0.301	1.00	1.00
Ellipse	7.67	0.167	0.315	0.133	0.217	1.00	1.00

[illegible]

Weights:

Fabricated	- Bare W/O Removable Internals	1860.7	lbm
Shop Test	- Fabricated + Water (Full)	5614.3	lbm
Shipping	- Fab. + Rem. Intls.+ Shipping App.	1861.7	lbm
Erected	- Fab. + Rem. Intls.+ Insul. etc)	1860.7	lbm
Empty	- Fab. + Intls. + Details + Wghts.	1860.7	lbm
Operating	- Empty + Operating Liquid (No CA)	5612.7	lbm
Field Test	- Empty Weight + Water (Full)	5614.3	lbm

Figura 3.14. Análisis de resultados cabeza y cuerpo

Nozzle

Description	Nominal Size in.	Flange Type	Nozz. Dia in.	Wall Thk in.	Pad Dia in.	Pad Thick in.	Cut Length in.
N3	[illegible]	WNF	[illegible]	[illegible]	-	-	[illegible]
N4	[illegible]	WNF	[illegible]	[illegible]	-	-	[illegible]
N5	[illegible]	WNF	[illegible]	[illegible]	-	-	[illegible]
N6A	[illegible]	WNF	[illegible]	[illegible]	-	-	[illegible]
N6B	[illegible]	WNF	[illegible]	[illegible]			[illegible]
N7	[illegible]	WNF	[illegible]	[illegible]			[illegible]
N8	[illegible]	WNF	[illegible]	[illegible]			[illegible]
N10	[illegible]	WNF	[illegible]	[illegible]			[illegible]
N11	[illegible]	WNF	[illegible]	[illegible]			[illegible]
N1	[illegible]	WNF	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
N2	[illegible]	WNF	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
N9	[illegible]	WNF	[illegible]	[illegible]	-	-	[illegible]

Nozzle Material and Weld Fillet Leg Size Details:

Nozzle	Material	Shl Crvm Weld in.	Noz Shl Weld in.	Pad Pad OD Weld in.	Pad Crvm Weld in.	Inside Weld in.
N3	SA-106 B	[illegible]	[illegible]	-	-	-
N4	SA-106 B	[illegible]	[illegible]	-	-	-
N5	SA-106 B	[illegible]	[illegible]	-	-	-
N6A	SA-106 B	[illegible]	[illegible]	-	-	-
N6B	SA-106 B	[illegible]	[illegible]	-	-	-
N7	SA-106 B	[illegible]	[illegible]	-	-	-
N8	SA-106 B	[illegible]	[illegible]	-	-	-
N10	SA-106 B	[illegible]	[illegible]	-	-	-
N11	SA-106 B	[illegible]	[illegible]	-	-	-
N1	SA-106 B	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-
N2	SA-106 B	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-
N9	SA-106 B	[illegible]	[illegible]	-	-	-

Nozzle Miscellaneous Data:

Nozzle	Elevation Distance From Datum ft.	Layout Angle deg.	Projection Outside in.	Projection Inside in.	Installed In Component
N3	4.833	180.00	5.98	1.00	DUERPO
N4	5.669	180.00	5.98	1.00	DUERPO
N5	2.667	180.00	5.98	1.00	DUERPO
N6A	6.000	88.86	8.27	1.00	DUERPO
N6B	6.000	141.14	8.27	1.00	DUERPO
N7	2.500	68.64	5.71	1.00	DUERPO
N8	1.667	68.64	5.71	1.00	DUERPO
N10	2.917	0.00	5.98	1.00	DUERPO
N11	4.833	0.00	5.98	1.00	DUERPO
N1	1.000	0.00	7.99	0.00	DUERPO
N2	6.499	0.00	7.99	0.00	DUERPO
N9		0.00	10.00	0.00	CABEZA DERRO

Figura 3.15. Análisis de resultados boquillas

3.8 Análisis de resultados con relación a los cálculos

La simulación comprueba que el diseño realizado manualmente es correcto con respecto a lo que la norma requiere y sus condiciones. La diferencia que se puede encontrar es el dato del esfuerzo de resistencia a la fluencia del material, ya que en tablas se encontró un valor de 17500 psi, y de 20000 psi según el programa, como dato único variable.

La máxima presión admisible está de acuerdo con lo que específica la norma ASME, en el programa el valor del mismo es igual a 299,69 psi y en los cálculos la M.A.W.P. es igual 298,30 psi, debido al valor del esfuerzo a la fluencia del material mencionado anteriormente.

De esta manera el análisis de resultados básicamente se resume en una sola idea, comprobar que el espesor requerido, dimensiones de boquillas y soportes son los adecuados para el diseño, así como el material en cada una de estas partes, debido a que cumplen con todos los parámetros y restricciones impuestos por la norma ASME, Sección VIII, División 1.

CAPITULO IV
PRESUPUESTO ESTIMADO PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DEPURADOR DE LÍQUIDOS

4.1 Presupuesto general

Para realizar el diseño y construcción del depurador de líquidos, en la parte de ingeniería se pueden encontrar costos directos e indirectos que afecte al presupuesto del mismo.

En la tabla 4.1 se encuentra el desglose de los costos directos del proyecto, en donde incluye la elaboración de la ingeniería de detalle del mismo, documentos, obra mecánica, equipos, adquisición, corte, montaje y soldadura de materiales, pruebas e inspección, sandblasting y pintura.

En la tabla 4.1 se realiza la cuantificación de los precios mencionados anteriormente, considerando la ejecución exclusivamente del depurador de líquidos.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
1	**Ingeniería**				
1.1	Gerente de Proyecto	90	día	118,88	10699,20
1.2	Coordinador de Ingeniería	75	día	93,33	6999,75
1.3	Control de Proyectos	90	día	73,33	6599,70
1.4	Administrador de Documentos	75	día	60,00	4500,00
1.5	Líder de Procesos	30	día	83,33	2499,90
1.6	Dibujante	60	día	50,00	3000,00
1.7	Líder Mecánico	45	día	83,33	3749,85
1.8	Ingeniero Inspector	90	día	90,00	8100,00
				Sub Total	**46148,40**

2 Obra Mecánica

2.1	**Mano de Obra Directa**				
2.1.1	Sandblasteador	7	día	87,50	612,50
2.1.2	Pintor	10	día	66,66	666,60
2.1.3	Soldador certificado	8	día	163,33	1306,64

2.1.4	Ayudante de soldador	8	día	43,75	350,00
2.1.5	Esmerilador	8	día	80,51	644,08
2.1.6	Ayudante de esmerilador	8	día	43,75	350,00
2.1.7	Operador de equipos pesados	4	día	150,00	600,00
2.1.8	Chofer	1	día	26,66	26,66
2.1.9	Bodeguero	60	día	26,66	1599,60
				Sub Total	**6156,08**

2.2 **Equipos**

2.2.1	Moto Soldadora	8	día	62,56	500,48
2.2.2	Electro soldadora	5	día	4,64	23,20
2.2.3	Equipo de sandblasting	7	día	25,92	181,44
2.2.4	Grúa	4	día	672,00	2688,00
2.2.5	Equipo de oxicorte	8	día	27,80	222,40
2.2.6	Equipo de radiografía	2	día	144,00	288,00
2.2.7	Herramienta menor	60	día	13,44	806,40
				Sub Total	**4709,92**

2.3 **Adquisición, Corte, Montaje y Soldadura**

2.3.1	Planchas del cuerpo e= 8mm, SA-516 Gr70, corte, barolado, montaje y soldadura de las planchas en taller	412,83	kg	12,00	4953,96
2.3.2	Cabezas e = 8mm SA-516 Gr70, montaje y soldadura	116,38	kg	12,00	1396,56
2.3.3	Manhole de 20 pulg. En el campo	1	u	2230,00	2230,00
2.3.4	Brida, boquillas de 6 pulg.	2	u	126,00	252,00
2.3.5	Brida, boquillas de 2 pulg.	9	u	22,00	198,00
2.3.6	Sillas SA-36 montaje y soldadura	61,88	kg	1,05	64,97
2.3.7	Oreja de izaje SA-515 Gr70 adquisición, montaje y soldadura	2,44	kg	11,85	28,91
2.3.8	Tubería boquilla 6 pulg.	0,114	u	89,00	10,15
2.3.9	Tubería boquilla 2 pulg.	0,088	m	23,00	2,02
2.3.10	Gasket 20 pulg. 150 RF, Th 1/8 pulg. 304 SS spiral wound, filled material flexible graphite, with 316SS outer ring	1	u	28,00	28,00
2.3.11	Barra SA-36 5/8 pulg. adquisición, corte, doblado roscado y soldado	2	m	1,05	2,10

2.3.12	Placa SA-36 adquisición, corte, montaje y soldado	0,18	kg	1,05	0,19
				Sub Total	**9166,87**

3 Pruebas e Inspección

3.1	Prueba Hidrostática incluido personal, equipos, bombas y cabezal	1	día	1900,00	1900,00
3.2	Inspección y certificación de equipos	1	Global	948,00	948,00
3.4	Inspección radiográfica en juntas soldadas	1	Global	69,41	2000,00
				Sub Total	**4848,00**

4 Sandblasting y pintura

4.1	Aplicación de pintura interna	197,33	m²	33,83	6675,67
4.2	Aplicación de pintura externa	198,48	m²	36,66	7276,28
				Sub Total	**13951,95**

5 Documentos

5.1	Memoria de Cálculo	1	Global	3160,00	3160,00
5.2	Hoja de datos	1			
5.3	Lista de materiales	1			
5.4	Dossier de calidad	1			
				Sub Total	**3160,00**

RESUMEN COSTOS DIRECTOS			
ITEM	**DESCRIPCIÓN**	**UNIDAD**	**TOTAL**
1	Ingeniería	Global	46148,40
2	Obra Mecánica: mano de obra, equipos, adquisición, corte, montaje y soldadura	Global	20032,87
3	Pruebas e Inspección	Global	4848,00
4	Sandblasting y pintura	Global	13951,95
5	Documentos	Global	3160,00
		TOTAL COSTOS DIRECTOS	**88141,22**

Tabla 4.1. Desglose costos directos para ejecución de las obras

Los costos indirectos están dados por varios ítems, en los cuales se puede verificar su porcentaje en el proyecto. Por ejemplo para los impuestos según la Ley del Fondo de Desarrollo de la Provincias de la Región Amazónica, Art. 1 "Establece el tributo de 2,5% sobre el total de la facturación que cobraren a EP Petroecuador o a sus filiales, empresas nacionales, por la prestación de servicios dentro de la jurisdicción de cada provincia amazónica".

En los gastos financieros se toma en cuenta préstamos de entidades financieras considerando que se puede requerir de un capital inicial para realizar el arranque del proyecto, ya que en muchos casos no se entrega un anticipo para la realización del proyecto.

En los gastos administrativos se encuentra la parte de misceláneos, salarios y prestaciones de servicios básicos, transporte, otros gastos no reembolsables, etc.

En los imprevistos del proyecto la empresa, según sea el tamaño del proyecto y el porcentaje de riesgos a futuro, elige una participación adecuada con fines de seguridad.

En la tabla 4.2 se destella los porcentajes de los ítems mencionados anteriormente, considerando la ejecución exclusivamente del depurador de líquidos.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	TOTAL
1	Impuestos 2,5%	Global	2203,53
2	Gastos Financieros 2%	Global	1762,82
3	Gastos Administrativos y dirección de Proyectos 15%	Global	13221,18
4	Imprevistos del proyecto 9%	Global	7932,71
		TOTAL COSTOS INDIRECTOS	**25120,24**

Tabla 4.2. Desglose costos indirectos

En la tabla 4.3 se refleja el valor total de los costos directos e indirectos del diseño y construcción del depurador de líquidos.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	TOTAL
1	Total Costos Directos	Global	88141,22
2	Total Costos Indirectos	Global	25120,24
		TOTAL GENERAL	**113261,46**

Tabla 4.3. Costo general

El gobierno al proponer el proyecto Monteverde, lo hizo con el fin de "ahorrar dinero" y mejorar la calidad de vida de los ecuatorianos como objetivo principal, ya que por más de 30 años el país pagaba sumas grandes a empresas privadas con el fin de cubrir la necesidad de transporte y almacenamiento de GLP para el consumo interno del Ecuador.

Este proyecto tiene un monto de inversión de 650 millones la cual incluye la construcción del puerto y la central de almacenamiento, de esta manera se puede observar que el valor del diseño y construcción de uno de sus equipos de seguridad como es el depurador de líquidos abarca un porcentaje menor al 1%.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Tras la realización de un análisis final, con el cual se daría solución al problema planteado, con visión a optimizar recursos y satisfacer peticiones, se mencionarán las soluciones más importantes.

- El diseño está basado bajo normas específicas, con las cuales se ha trabajado de manera ordenada con el fin de mantener los principios de las mismas, los cuales garantizan el buen funcionamiento del equipo diseñado, ya que utiliza ecuaciones de resistencia de materiales y factores de ajuste de acuerdo a condiciones ambientales.
- Con respecto al tipo de recipiente que se debe utilizar, es importante la composición del fluido, espacio y costos, en este caso, bajo las condiciones anteriores los separadores horizontales son los recomendados.
- En la parte del diseño mecánico la máxima presión permitida es uno de los parámetros más importantes, el cual está relacionado directamente con la temperatura a la que va a trabajar el recipiente y de esta manera permite determinar el mínimo espesor requerido para resistir dicha presión.
- En el proceso de cálculo bajo la norma ASME se debe definir si la carga principal es bajo una presión interna o externa, porque, el proceso se realiza dentro del recipiente y externamente solo se maneja la presión de la atmósfera.
- El programa PV lite utilizado, permite comprobar que los cálculos realizados en el diseño son correctos, de una forma ágil y efectiva ya que proporciona alarmas cuando se tiene errores en el mismo, este software también está basado en la norma ASME sección VIII, división 1 con la que se realizó este trabajo.
- La norma ASME Sección VIII, División 1 se utilizó considerando que se trata de un diseño de un recipiente a presión menor de 3000 PSI.

- Esta clase de equipos se fabrican exclusivamente en un taller certificado ASME, el cual garantice la buena calidad y funcionamiento del equipo, exigencia requerida por el cliente usuario de este proyecto.
- El diseño se realizó en base al 50% de su flujo másico, por encontrarse en un sistema de alivio y venteo en donde su producción es intermitente.
- Los trabajos de mantenimiento en un recipiente horizontal son sencillos y económicos por la posición en la que el recipiente se encuentra, pues en su gran mayoría son de limpieza.
- La confiabilidad de cada uno de los diseños que son realizados por ingenieros en esta rama son responsabilidades legales y se deben cumplir con cada uno de los reglamentos establecidos, por esto es importante que el diseñador y el fabricante conozcan los procesos en los que se están involucrando y se determinen de manera eficiente la distribución de los esfuerzos y de las resistencias.

RECOMENDACIONES

- Tener claras las normas que se deben utilizar para realizar cada una de las investigaciones o consultas con respecto a tanques, recipientes, etc., con el fin de tener mejores resultados.
- Los datos proporcionados por agentes externos deben ser coherentes y específicos, llegando a acuerdos en datos en donde el constructor y el cliente saben las condiciones en las que se encuentra.
- Para la realización de los diferentes recipientes a presión es importante saber la cantidad de flujo másico que va a circular.
- A los fabricantes en el momento de unir las partes del recipiente se recomienda soldar por el lado biselado y remover la raíz con pulidora hasta encontrar metal sano, para luego soldar el segundo lado.
- Para aplicar cualquier tipo de soldadura en recipientes a presión, se recomienda, preparar un procedimiento particular para cada caso, según el tipo y espesor del material.

- En el momento de aplicar la pintura en el recipiente se recomienda la selección de pintura epóxicas y de vinil para contrarrestar la abrasión, por su resistencia a la misma.
- Se recomienda utilizar el programa PV Elite para la comprobación de resultados de los recipientes que se manejen con la norma ASME sección I y II.

BIBLIOGRAFÍA

API Std. 521 Pressure-relieving and Depressuring Systems, fifth edition, 2007.

Código ASME, SecciónVIII, División 1 Rules for Construction of Pressure Vessels, 2010.

MEGYESY, Eugene F., Manual de Recipientes a Presión, Editorial Grupo Noriega Editores, Primera Edición, 1997.

MEGYESY, E. "Pressure Vessel Handbook" Pressure Vessel Publishing Inc. Décima edición (2005).

MOSS, D. "Pressure Vessel Design Manual" Tercera edición. Editorial Gulf Profesional Publishing, 2004.

Norma PDVSA MDP_03_S_03, Manual de Diseño de Procesos, 1995.

SAM-EN-ME-EM-001: Diagrama de flujo de proceso sistema de disposición de gas de alivio y venteo terminal Monteverde.

Proyecto "Operaciones Centralizadas Campo Santa Ana – El Toco".

RICHARD G., B y J. KEITH, N., Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, McGraw-Hill/Interamericana Editores, Novena Edición, 2008.

http://www.eppetroecuador.ec/Empresa/ResenaHistorica/index.htm

http://www.scribd.com/doc/43984768/Estaciones-de-Flujo

http://www.scribd.com/doc/22727998/Separadores-trifasicos

http://es.scribd.com/doc/73406061/Origen-Del-Gas-Licuado

http://expreso.ec/expreso/plantillas/nota_print.aspx?idArt=5269834&tipo=2

ANEXO 1. Certificado de control de calidad de GLP terminal El Salitral

CERTIFICADO DE CONTROL DE CALIDAD DE GLP

TERMINAL EL SALITRAL

CERTIFICADO	FECHA DE MUESTREO	PROCEDENCIA	PARTIDA	HORA DE MUESTREO
	[illegible]	[illegible]		[illegible]

REQUISITOS SEGUN NORMA INEN 675	METODO DE ANALISIS		MAXIMO	UNIDAD	RESULTADOS
	NTE	ASTM			
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

COMPOSICIÓN BASE	METODO	% VOLUMEN	% PESO
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

ANEXO 2. Esfuerzo máximo permisible de diseño a la tensión en 1000 Psi

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

ANEXO 3. Esfuerzos en recipientes horizontales apoyados en dos silletas

ESFUERZOS EN RECIPIENTES HORIZONTALES APOYADOS EN DOS SILLETAS

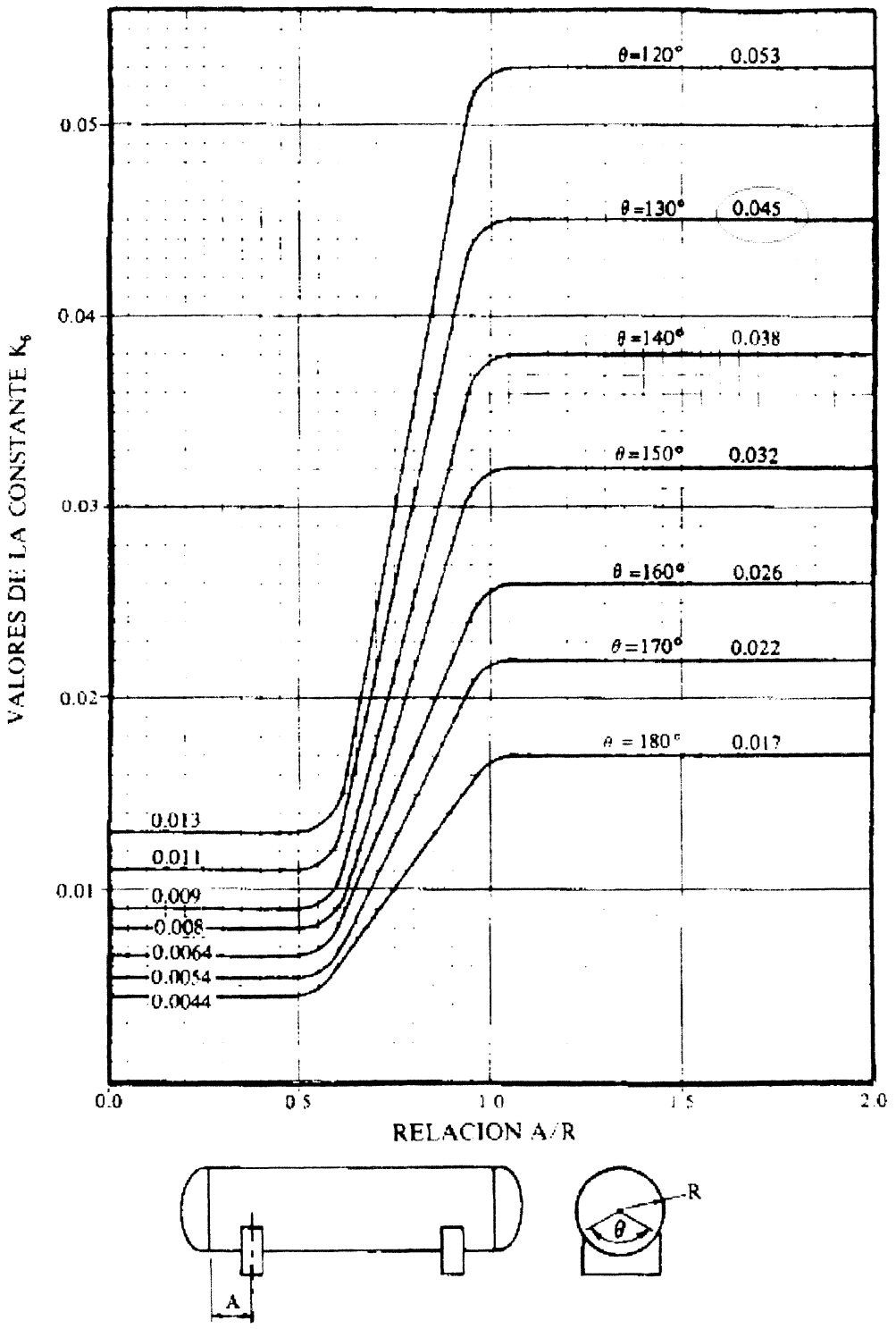
VALORES DE LA CONSTANTE K
(Para valores intermedios es necesario interpolar)

*K_1 = 3.14 si el casco está atiesado por anillo o cabecera (A = R/2)

ANGULO DE CONTACTO θ	K_1*	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8
120	0.335	1.171		0.880	0.401		0.760	0.603
122	0.345	1.139		0.846	0.393		0.753	0.618
124	0.355	1.108		0.813	0.385		0.746	0.634
126	0.366	1.078		0.781	0.377		0.739	0.651
128	0.376	1.050		0.751	0.369		0.732	0.669
130	0.387	1.022		0.722	0.362		0.726	0.689
132	0.398	0.996		0.694	0.355		0.720	0.705
134	0.409	0.971		0.667	0.347		0.714	0.722
136	0.420	0.946		0.641	0.340		0.708	0.740
138	0.432	0.923		0.616	0.334		0.702	0.759
140	0.443	0.900	0.319	0.592	0.327		0.697	0.780
142	0.455	0.879	Para	0.569	0.320	Ver la	0.692	0.796
144	0.467	0.858	cual	0.547	0.313	gráfica	0.687	0.813
146	0.480	0.837	quier	0.526	0.308	de la	0.682	0.831
148	0.492	0.818	ángulo	0.505	0.301	página	0.678	0.853
150	0.505	0.799	de con	0.485	0.295	89	0.673	0.876
152	0.518	0.781	tacto	0.466	0.289		0.669	0.894
154	0.531	0.763	θ	0.448	0.283		0.665	0.913
156	0.544	0.746		0.430	0.278		0.661	0.933
158	0.557	0.729		0.413	0.272		0.657	0.954
160	0.571	0.713		0.396	0.266		0.654	0.976
162	0.585	0.698		0.380	0.261		0.650	0.994
164	0.599	0.683		0.365	0.256		0.647	1.013
166	0.613	0.668		0.350	0.250		0.643	1.033
168	0.627	0.654		0.336	0.245		0.640	1.054
170	0.642	0.640		0.322	0.240		0.637	1.079
172	0.657	0.627		0.309	0.235		0.635	1.097
174	0.672	0.614		0.296	0.230		0.632	1.116
176	0.687	0.601		0.283	0.225		0.629	1.137
178	0.702	0.589		0.271	0.220		0.627	1.158
180	0.718	0.577		0.260	0.216		0.624	1.183

Fuente: MEGYESY, Eugene F., Manual de Recipientes a Presión, Editorial Grupo Noriega Editores, Primera Edición, 1997, pág. 88.

ESFUERZOS EN GRANDES RECIPIENTES HORIZONTALES SOPORTADOS POR DOS SILLETAS. VALORES DE LA CONSTANTE K_6



ANEXO 4. Peso de cascos y cabezas

PESO DE CASCOS Y CABEZAS

DIAM DEL RECIPIENTE	ESPESOR DE PARED									
	1/4"					5/16"				
	CASCO		CABEZA			CASCO		CABEZA		
	D I	D E	ELIP	B Y C	HEMIS	D I	D E	ELIP	B Y C	HEMIS
12	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	20	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	26
14	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
16	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
18	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
20	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
22	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
24	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
26	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
28	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
30	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
34	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
38	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
40	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
42	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
44	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
46	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
48	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
50	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
52	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
54	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
56	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
58	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
60	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
66	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
72	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
78	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
84	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Fuente: MEGYESY, Eugene F., Manual de Recipientes a Presión, Editorial Grupo Noriega Editores, Primera Edición, 1997, pág. 361

ANEXO 5. Volumen de cascos y cabezas

VOLUMEN DE CASCOS Y CABEZAS

D.I. del recipiente, pulg	CASCO cilíndrico, pie lineal				CABEZA ELIP. 2:1*			
	Pies cúbicos	Gal	Barriles	Peso del agua, lb	Pies cúbicos	Gal	Barriles	Peso del agua, lb
12	0.8	5.9	0.14	49	0.1	0.98	0.02	8.17
14	1.1	8.0	0.19	67	0.2	1.55	0.04	12.98
16	1.4	10.4	0.25	87	0.3	2.32	0.06	19.37
18	1.8	13.2	0.31	110	0.4	3.30	0.08	27.58
20	2.2	16.3	0.39	136	0.6	4.53	0.11	37.83
22	2.6	19.7	0.47	165	0.8	6.03	0.14	50.35
24	3.1	23.5	0.56	196	1.0	7.83	0.19	65.37
26	3.7	27.6	0.66	230	1.3	9.96	0.24	83.11
28	4.3	32.0	0.76	267	1.7	12.44	0.30	103.8
30	4.9	36.7	0.87	306	2.0	15.30	0.36	127.7
32	5.6	41.8	0.99	349	2.5	18.57	0.44	155.0
34	6.3	47.2	1.12	394	3.0	22.27	0.53	185.9
36	7.1	52.9	1.26	441	3.5	26.47	0.63	220.1
38	7.9	58.9	1.40	492	4.2	31.09	0.74	259.5
40	8.7	65.3	1.55	545	4.8	36.27	0.86	302.6
42	9.6	72.0	1.71	601	5.6	41.98	1.00	350.4
48	12.6	94.0	2.24	784	8.4	62.67	1.49	523.0
54	15.9	119.0	2.83	993	11.9	89.23	2.12	744.6
60	19.6	146.9	3.50	1226	16.3	122.4	2.91	1021
66	23.8	177.7	4.23	1483	21.8	162.9	3.88	1360
72	28.3	211.5	5.04	1765	28.3	211.5	5.04	1765
78	33.2	248.2	5.91	2071	35.9	268.9	6.40	2244
84	38.5	287.9	6.85	2402	44.9	335.9	8.00	2802
90	44.2	330.5	7.87	2758	55.2	413.1	9.84	3447
96	50.3	376.0	8.95	3138	67.0	501.3	11.94	4184
102	56.7	424.4	10.11	3542	80.3	601.4	14.32	5018
108	63.6	475.9	11.33	3971	95.4	713.8	17.00	5957
114	70.9	530.2	12.62	4425	112.2	839.5	20.00	7006
120	78.5	587.5	13.99	4903	130.9	979.2	23.33	8171
126	86.6	647.7	15.42	5405	151.5	1134	27.00	9459
132	95.0	710.9	16.93	5932	174.2	1303	31.03	10876
138	103.9	777.0	18.50	6484	199.1	1489	35.46	12428
144	113.1	846.0	20.14	7060	226.2	1692	40.29	14120

*No está incluido en volumen comprendido dentro de la línea plana

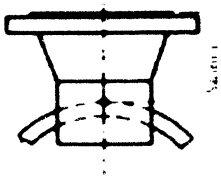
Fuente: MEGYESY, Eugene F., Manual de Recipientes a Presión, Editorial Grupo Noriega Editores, Primera Edición, 1997, pág. 402.

ANEXO 6. Mínima extensión sugerida para los registros

MINIMA EXTENSION SUGERIDA PARA LOS REGISTROS

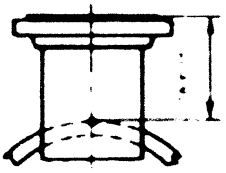
Las tablas dan el saliente mínimo aproximado de los registros. Cuando se use aislante o parche de refuerzo grueso puede ser necesario aumentar estas dimensiones

PARTE SALIENTE USANDO BRIDA DE CUELLO SOLDABLE



[illegible]	PRESION NOMINAL DE LA BRIDA, lb					
	150	300	600	900	1500	2500
2	6	6	6	8	8	8
3	6	6	8	8	8	10
4	6	8	8	8	8	12
6	8	8	8	10	10	14
8	8	8	10	10	12	16
10	8	8	10	12	14	20
12	8	8	10	12	16	22
14	8	10	10	14	16	
16	8	10	10	14	16	
18	10	10	12	14	18	
20	10	10	12	14	18	
24	10	10	12	14	20	

SALIENTE USANDO BRIDA DESLIZABLE, EN PULGADAS

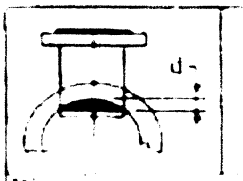


[illegible]	PRESION NOMINAL DE LA BRIDA, lb					
	150	300	600	900	1500	2500
2	6	6	6	8	8	8
3	6	6	8	8	8	10
4	6	8	8	8	10	10
6	8	8	8	10	12	12
8	8	8	10	10	12	12
10	8	8	10	12	12	14
12	8	10	10	12	12	16
14	10	10	10	12		
16	10	10	12	12		
18	10	10	12	12		
20	10	10	12	12		
24	10	12	12	12		

Extensión hacia el interior

Fuente: MEGYESY, Eugene F., Manual de Recipientes a Presión, Editorial Grupo Noriega Editores, Primera Edición, 1997, pág. 104.

ANEXO 7. Distancia de penetración de la boquilla en el casco

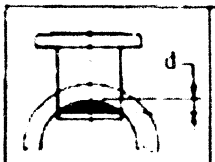


DISTANCIA DE PENETRACION DE LA BOQUILLA EN EL CASCO
(Distancia d, en pulgadas)

Diam. int. del casco	TAMAÑO NOMINAL DEL TUBO, EN PULGADAS									
	1¼	1½	2	2½	3	3½	4	5	6	8
12	0.0625	0.0625	0.1250	0.1875	0.2500	0.3750	0.4375	0.6875	1.0000	1.5625
14	0.0625	0.0625	0.1250	0.1250	0.2500	0.3125	0.3750	0.5625	0.8125	1.5000
16	0.0625	0.0625	0.0625	0.1250	0.1875	0.2500	0.3125	0.5000	0.6875	1.2500
18	0.0625	0.0625	0.0625	0.1250	0.1875	0.2500	0.3125	0.4375	0.6250	1.1250
20	0.0625	0.0625	0.0625	0.1250	0.1250	0.1875	0.2500	0.3750	0.5625	1.0000
22		0.0625	0.0625	0.1250	0.1250	0.1875	0.2501	0.3750	0.5000	0.8750
24		0.0625	0.0625	0.0625	0.1250	0.1875	0.1875	0.3125	0.4375	0.8125
26		0.0625	0.0625	0.0625	0.1250	0.1250	0.1875	0.3125	0.4375	0.7500
28		0.0625	0.0625	0.0625	0.1250	0.1250	0.1875	0.3125	0.3750	0.6875
30			0.0625	0.0625	0.1250	0.1250	0.1875	0.2500	0.3750	0.6250
32			0.0625	0.0625	0.1250	0.1250	0.1250	0.2500	0.3750	0.5625
34			0.0625	0.0625	0.0625	0.1250	0.1250	0.2500	0.3125	0.5625
36			0.0625	0.0625	0.0625	0.1250	0.1250	0.2500	0.3125	0.5000
38			0.0625	0.0625	0.0625	0.1250	0.1250	0.1875	0.3125	0.5000
40			0.0625	0.0625	0.0625	0.1250	0.1250	0.1875	0.2500	0.5000
42			0.0625	0.0625	0.0625	0.1250	0.1250	0.1875	0.2500	0.4375
48				0.0625	0.0625	0.0625	0.1250	0.1875	0.2500	0.3750
54				0.0625	0.0625	0.0625	0.1250	0.1250	0.1875	0.3750
60				0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.1250	0.1875	0.3125
66				0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.1250	0.1875	0.3125
72					0.0625	0.0625	0.0625	0.1250	0.1250	0.2500
78					0.0625	0.0625	0.0625	0.1250	0.1250	0.2500
84					0.0625	0.0625	0.0625	0.1250	0.1250	0.2500
90					0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.1250	0.1875
96					0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.1250	0.1875
102						0.0625	0.0625	0.0625	0.1250	0.1875
108						0.0625	0.0625	0.0625	0.1250	0.1875
114						0.0625	0.0625	0.0625	0.1250	0.1875
120							0.0625	0.0625	0.0625	0.1250
126							0.0625	0.0625	0.0625	0.1250
132							0.0625	0.0625	0.0625	0.1250
138							0.0625	0.0625	0.0625	0.1250
144							0.0625	0.0625	0.0625	0.1250

Fuente: MEGYESY, Eugene F., Manual de Recipientes a Presión, Editorial Grupo Noriega Editores, Primera Edición, 1997, pág. 283.

ANEXO 8. Distancia de penetración de la boquilla en el casco



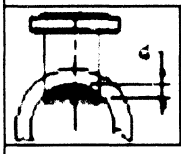
DISTANCIA DE PENETRACION DE LA BOQUILLA EN EL CASCO

(Distancia d, en pulgadas)

Diám. int. del casco	TAMAÑO NOMINAL DEL TUBO, EN PULGADAS									
	10	12	14	16	18	20	22	24	26	30
12	3.0625									
14	2.5000	4.1250	7.000							
16	2.0625	3.1875	4.1250	8.000						
18	1.7500	2.6250	3.3750	4.8750	9.0000					
20	1.5625	2.3125	2.8750	4.0000	5.6250	8.0000				
22	1.3750	2.0625	2.5000	3.4375	4.6875	6.4375	11.0000			
24	1.2500	1.8125	2.2500	3.0625	4.0625	5.3750	7.1875	12.0000		
26	1.1875	1.6875	2.0625	2.7500	3.6250	4.6875	6.0625	8.0000	13.0000	
28	1.0625	1.5000	1.8750	2.5000	3.2500	4.1875	5.3125	6.8125	8.9125	
30	1.0000	1.4375	1.7500	2.3125	3.0000	3.8125	4.8125	6.0000	7.5000	15.0000
32	0.9375	1.3125	1.6250	2.1250	2.7500	3.5000	4.3750	5.4375	6.6875	10.4375
34	0.8750	1.2500	1.5000	2.0000	2.5625	3.2500	4.0625	4.8125	6.0625	9.0000
36	0.8125	0.8125	1.4375	1.8750	2.4375	3.0625	3.7500	4.5625	5.5625	8.1250
38	0.7500	1.1250	1.3125	1.7500	2.2500	2.8750	3.5000	4.2500	5.1250	7.3125
40	0.7500	1.0625	1.2500	1.6875	2.1250	2.6875	3.3125	4.0000	4.8125	6.7500
42	0.6875	1.0000	1.1250	1.5675	2.0000	2.5625	3.1250	3.7500	4.5000	6.3125
48	0.3125	0.875	1.0625	1.1875	1.7500	2.1875	2.6875	3.1875	3.8125	5.2500
54	0.5625	0.7500	0.9375	1.1875	1.5625	1.9375	2.3125	2.8125	3.3125	4.5625
60	0.4375	0.6875	0.8125	1.0625	1.3750	1.6875	2.1250	2.5000	2.9375	4.0000
66	0.4375	0.6250	0.7500	1.0000	1.2500	1.5625	1.8750	2.2500	2.6875	3.6250
72	0.3750	0.5625	0.6875	0.8750	1.1250	1.4375	1.7500	2.0625	2.4375	3.2500
78	0.3750	0.5000	0.6250	0.8125	1.0625	1.3125	1.5625	1.8750	2.2500	3.0000
84	0.3750	0.5000	0.5625	0.7500	1.0000	1.1875	1.4375	1.7500	2.0625	2.7500
90	0.3125	0.4375	0.5625	0.6875	0.4375	1.1250	1.3750	1.8750	1.9375	2.5625
96	0.3125	0.4375	0.5000	0.6875	0.8750	1.0625	1.2500	1.5000	1.8125	2.3750
102	0.3125	0.3750	0.5000	0.6250	0.8125	1.0000	1.1875	1.4375	1.6875	2.2500
108	0.2500	0.3750	0.4375	0.6250	0.7500	0.9375	1.1250	1.3750	1.5625	2.1250
114	0.2500	0.1875	0.4375	0.5625	0.6875	0.8750	1.0625	1.2500	1.5000	2.0000
120	0.2500	0.1875	0.4375	0.5625	0.6875	0.8125	1.0000	1.1875	1.4375	1.8750
126	0.2500	0.3125	0.3750	0.5000	0.6250	0.8125	0.9375	1.1250	1.3750	1.8125
132	0.2500	0.3125	0.3750	0.5000	0.6250	0.7500	0.9375	1.1250	1.3125	1.7500
138	0.1825	0.3125	0.3750	0.4375	0.5625	0.7500	0.8750	1.0625	1.2500	1.6250
144	0.1825	0.3125	0.3125	0.4375	0.5625	0.6875	0.8750	1.0000	1.1875	1.5625

Fuente: MEGYESY, Eugene F., Manual de Recipientes a Presión, Editorial Grupo Noriega Editores, Primera Edición, 1997, pág. 284.

ANEXO 9. Distancia de penetración de la boquilla en el casco



DISTANCIA DE PENETRACION DE LA BOQUILLA EN EL CASCO (in)

[illegible]	TAMAÑO NOMINAL DEL TUBO EN PULGADAS									
	10	12	14	16	18	[illegible]	22	24	26	30
12	3.0625									
14	2.5000	1.1250	5.0000							
16	2.0625	3.1875	1.1250	5.0000						
18	1.7500	2.6250	3.3750	1.5150	9.0000					
20	1.5625	2.5125	2.6750	1.0000	5.6250	10.0000				
22	1.3750	2.0625	2.5000	3.1375	1.6875	6.1375	11.0000			
24	1.2500	1.8125	2.2500	3.0125	1.0625	5.1750	7.2875	12.0000		
26	1.1875	1.6875	2.0625	2.7500	3.6250	4.6875	6.0625	8.0000	13.0000	
28	1.0625	1.5000	1.8750	2.5000	3.2500	4.1875	5.3125	6.8125	8.0125	
30	1.0000	1.4370	1.7500	2.3125	3.0000	3.4125	4.6125	6.0000	7.5000	15.0000
32	0.9375	1.3125	1.6250	2.1250	2.7500	3.5000	4.3750	5.4375	6.6875	10.4375
34	0.8750	1.2500	1.5000	2.0000	2.5625	3.2500	4.0625	4.8125	6.0625	9.0000
36	0.8125	0.8125	1.4375	1.8750	2.4375	3.0625	3.7500	4.5625	5.5625	8.1250
38	0.7500	0.1250	1.3125	1.7500	2.2500	2.8750	3.5000	4.2500	5.1250	7.3125
40	0.7500	1.0625	1.2500	1.6875	2.1250	2.6875	3.3125	4.0000	4.8125	6.7500
42	0.6875	1.0000	1.1250	1.5875	2.0000	2.5625	3.1250	3.7500	4.5000	6.3125
48	0.3125	0.8750	1.0625	1.2875	1.7500	2.1875	2.6875	3.2875	3.8125	5.2500
54	0.5625	0.7500	0.9375	1.1875	1.5625	1.9375	2.3125	2.6125	3.3125	4.5625
60	0.4375	0.6375	0.8125	1.0625	1.3750	1.6875	2.1250	2.5000	2.9375	4.0000
66	0.4370	0.6250	0.7500	1.0000	1.2500	1.5625	1.8750	2.2500	2.6375	3.6250
72	0.3750	0.5625	0.6875	0.8750	1.1250	1.4375	1.7500	2.0625	2.4375	3.2500
78	0.3750	0.5000	0.6250	0.8125	1.0625	1.3125	1.5625	1.8750	2.2500	3.0000
84	0.3750	0.5000	0.5625	0.7500	1.0000	1.2875	1.1875	1.7500	2.0625	2.7500
90	0.3125	0.4375	0.5625	0.6875	0.4375	1.1250	1.3750	1.6750	1.9375	2.5625
96	0.3125	0.4375	0.5000	0.6875	0.8750	1.0625	1.2500	1.5000	1.8125	2.3750

Fuente: MEGYESY, Eugene F., Manual de Recipientes a Presión, Editorial Grupo Noriega Editores, Primera Edición, 1997, pág. 286.

ANEXO 10. Rangos de presión-temperatura

RANGOS DE PRESION — TEMPERATURA

PARA ACCESORIOS BRIDADOS Y BRIDAS PARA TUBERIA DE ACERO

American National Standard ANSI B16.5-1981

CLASE	150 lb.	300 lb.	400 lb.	600 lb.	900 lb.	1500 lb.	2500 lb.
PRESION DE LA PRUEBA HIDROSTATICA, LB/PULG² MAN	450	1125	1500	2225	3350	5575	9275
TEMPERATURA, °F	PRESION MAXIMA PERMITIDA (NO DE IMPACTO), LB/PULG² MAN						
-20 a 100	285	740	990	1480	2220	3705	6170
200	260	675	900	1350	2025	3375	5625
300	230	655	875	1315	1970	3280	5470
400	200	635	845	1270	1900	3170	5280
500	170	600	800	1200	1795	2995	4990
600	140	550	730	1095	1640	2735	4560
650	125	535	715	1075	1610	2685	4475
700	110	535	710	1065	1600	2665	4440
750	95	505	670	1010	1510	2520	4200
800	80	410	550	825	1235	2060	3430
850	65	270	355	535	805	1340	2230
900	50	170	230	345	515	860	1430
950	35	105	140	205	310	515	860
1000	20	50	70	105	155	260	430

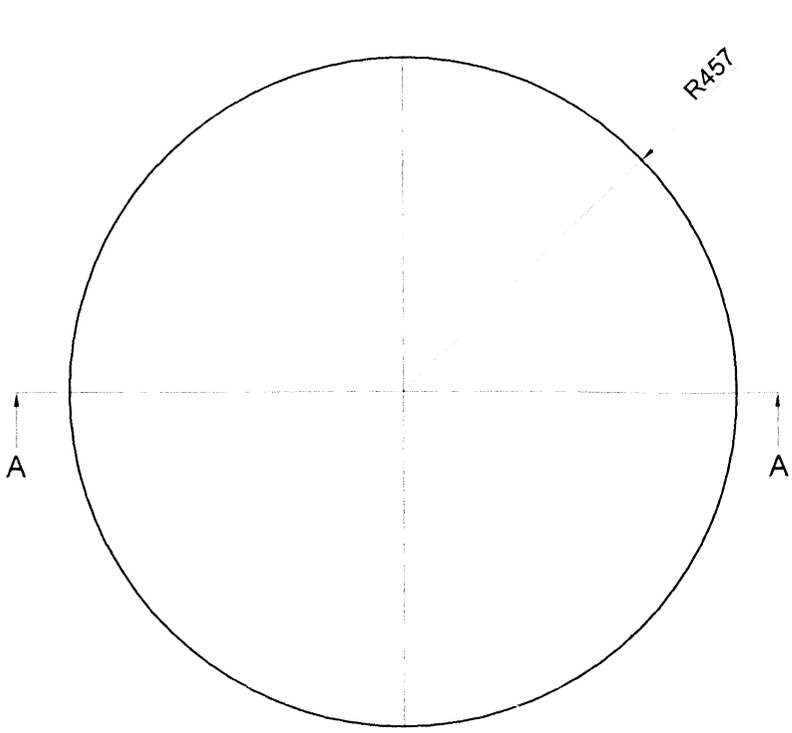
Los rangos nominales se aplican a los materiales:

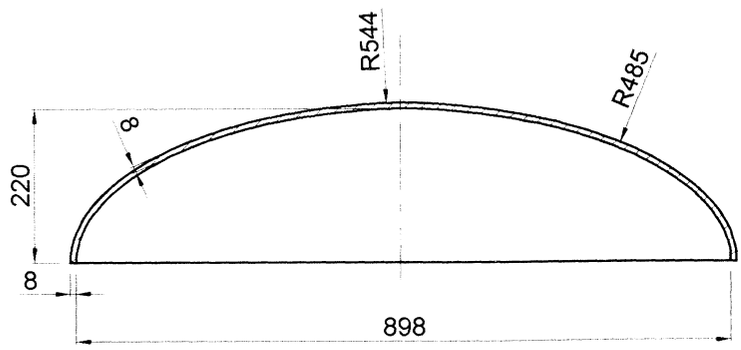
SA-105 SA-515-70 SA-516-70 SA-181-70 SA-350-LF2 SA-537-C1.1 SA-216-WCB

Fuente: MEGYESY, Eugene F., Manual de Recipientes a Presión, Editorial Grupo Noriega Editores, Primera Edición, 1997, pág. 28.

ANEXO 11. Planos de construcción

PLANOS DEL DEPURADOR DE LÍQUIDOS





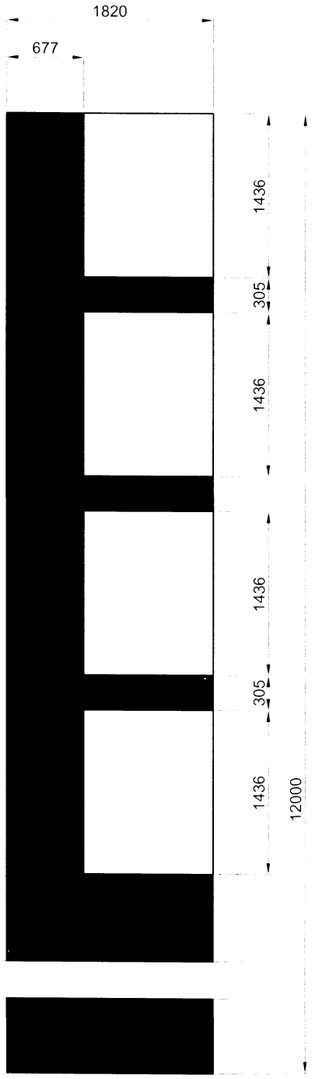
CORTE A-A

TRATAMIENTO TERMICO	N/A	MATERIAL	SA-516 Gr. 70	DIM. BRUTAS 1820 x 1820 x 8
RECUBRIMIENTO	Pintura			

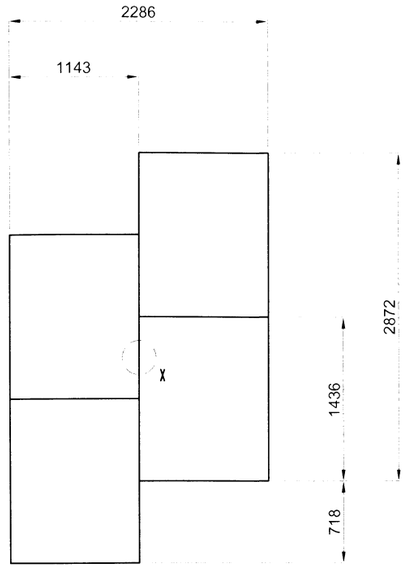
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	U.P.S	Diseñó:	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Dibujó:	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Revisó:	Ing. Patricio Quitiaquez	2014-02-19
CABEZA	Escala: 1:10	Código:	10.1030.000.01	Tol. Gen. ± 1

01

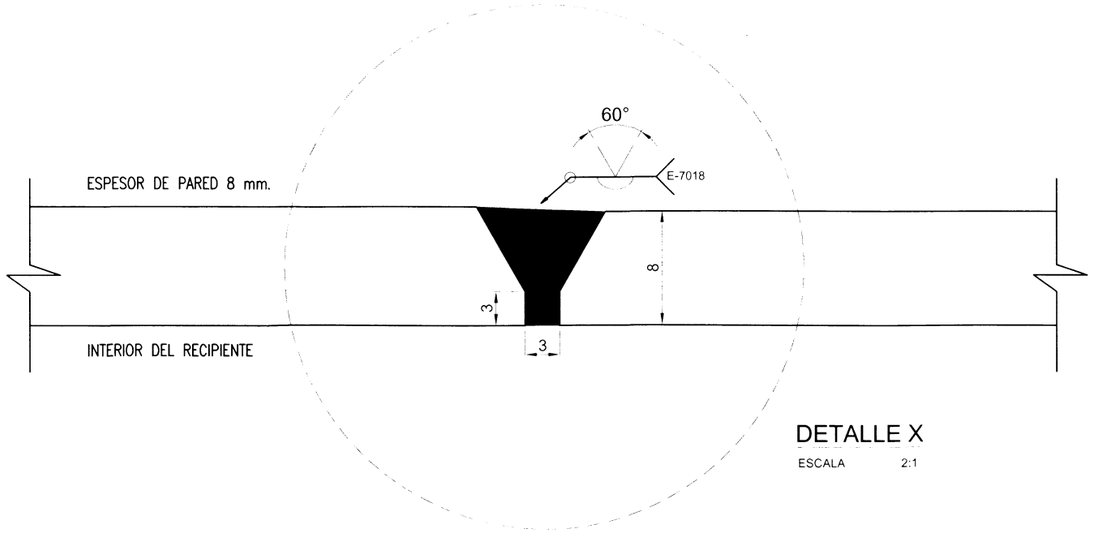
N9



DESARROLLO CORTE



DESARROLLO DE CUERPO

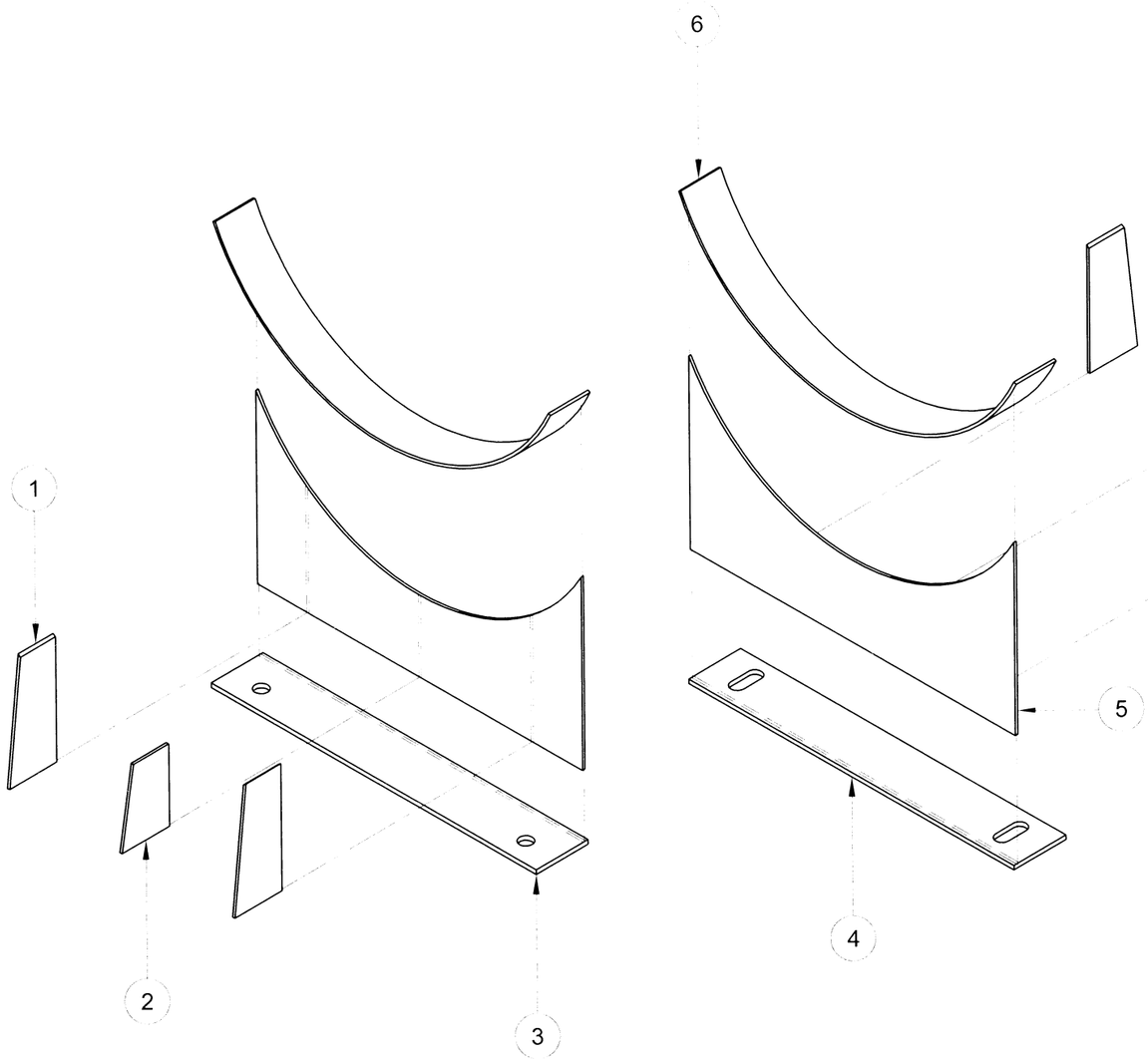


DETALLE X

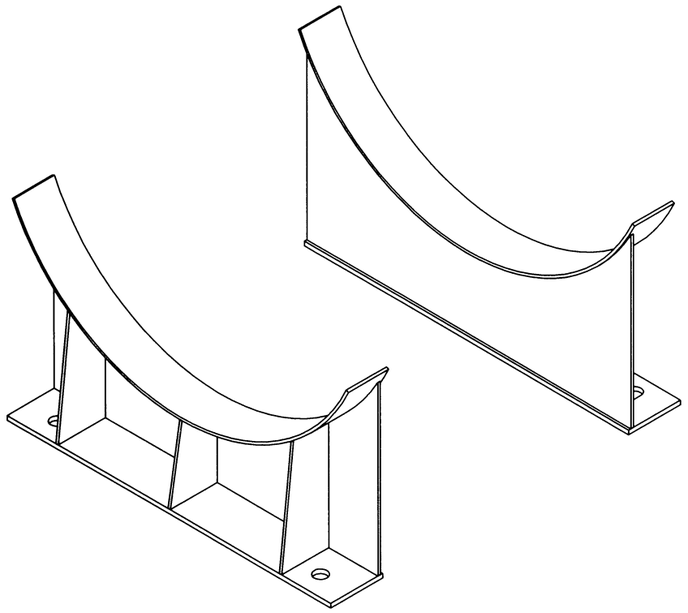
ESCALA 2:1

TRATAMIENTO TERMICO	N/A	MATERIAL	SA-516 Gr 70	DIM. BRUTAS	12000 x 1820 x 8
RECUBRIMIENTO	Pintura				
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA	U.P.S	Diseñó	Verónica Tapia C.	2014-02-10	
		Dibujó	Verónica Tapia C.	2014-02-10	
		Revisó	Ing. Patricio Quitiaquez	2014-02-19	
CUERPO	Escala. 1:50	Código	10.1030.000.03	Tol.Gral. ± 1	

N8



MONTAJE DE PLACAS SILLAS

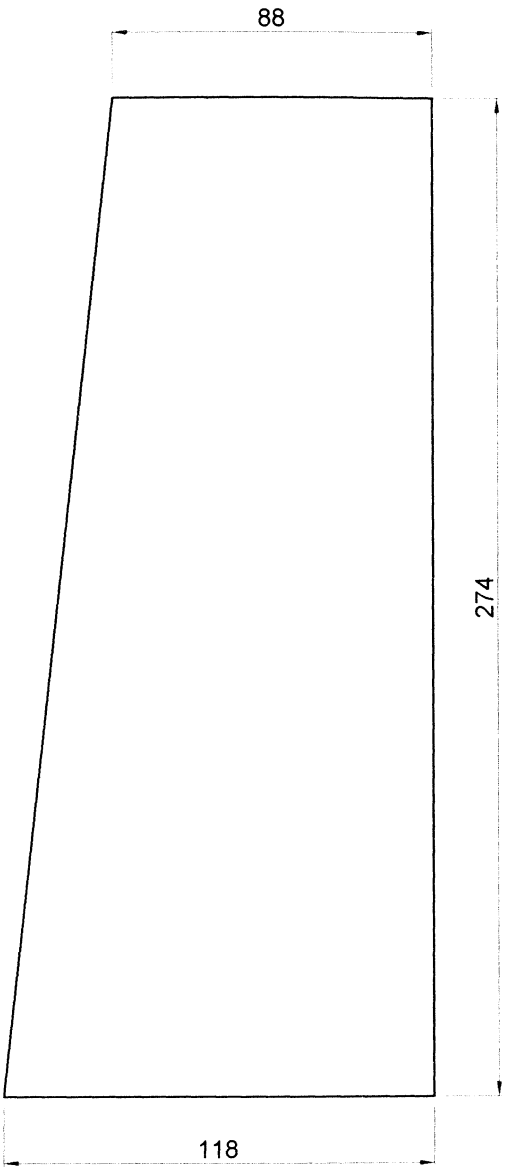


ISOMETRIA SILLAS

Ref.	Denominación.	Cant.	No. Norma.	Material.	Dim. Brutas.	Observaciones.
6	Placa 6	2	10.1030.000.06.06	AISI 10-10	900 x 130 x 6	Pintado
5	Placa 5	2	10.1030.000.06.05	AISI 10-10	850 x 450 x 6	Pintado
4	Placa 4	1	10.1030.000.06.04	AISI 10-10	850 x 150 x 6	Pintado
3	Placa 3	1	10.1030.000.06.03	AISI 10-10	850 x 150 x 6	Pintado
2	Placa 2	2	10.1030.000.06.02	AISI 10-10	200 x 150 x 6	Pintado
1	Placa 1	4	10.1030.000.06.01	AISI 10-10	290 x 130 x 6	Pintado

CARRERA DE INGENIERIA MECANICA	U.P.S	Diseñó	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Dibujó	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Revisó	Ing. Patricio Quitiaquez	2014-02-19
SILLAS	Escala. 1:10	Código	10.1030.000.06	Tol.Gral. ± 1

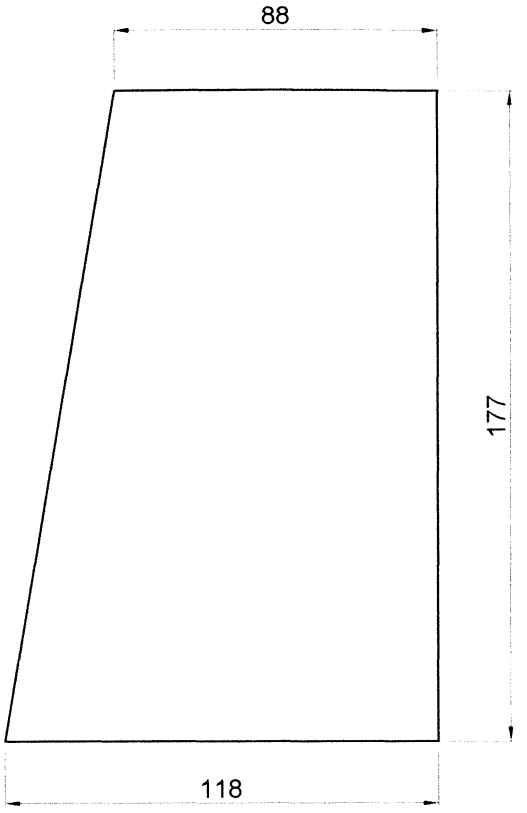
N9



ESPESOR 6 mm.

TRATAMIENTO TERMICO	NINGUNO	MATERIAL	AISI 10-10	DIM. BRUTAS	290 x 130 x 6
RECUBRIMIENTO	Pintura				
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	U.P.S	Diseñó:	Verónica Tapia C.		2014-02-10
		Dibujó:	Verónica Tapia C.		2014-02-10
		Revisó:	Ing. Patricio Quitiaquez		2014-02-19
PLACA 1	Escala: 1:2.5	Código:	10.1030.000.06.01		Tol. Gral. ± 1

N9

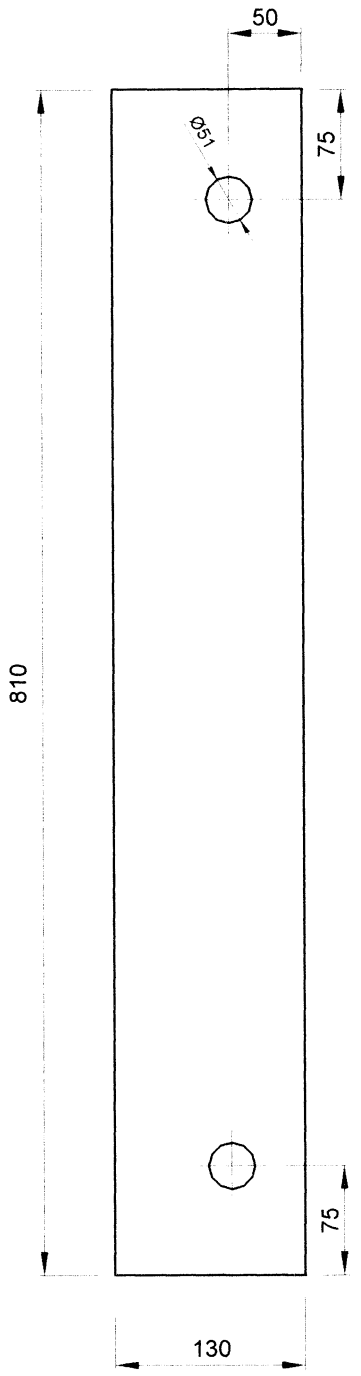


ESPESOR 6 mm.

TRATAMIENTO TERMICO	NINGUNO	MATERIAL	DIM. BRUTAS
RECUBRIMIENTO	Pintura	AISI 10-10	200 x 150 x 6

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	U.P.S	Diseñó:	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Dibujó:	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Revisó:	Ing. Patricio Quitiaquez	2014-02-19
PLACA 2	Escala: 1:2.5	Código:	10.1030.000.06.02	Tol. Gral. ± 1

N7

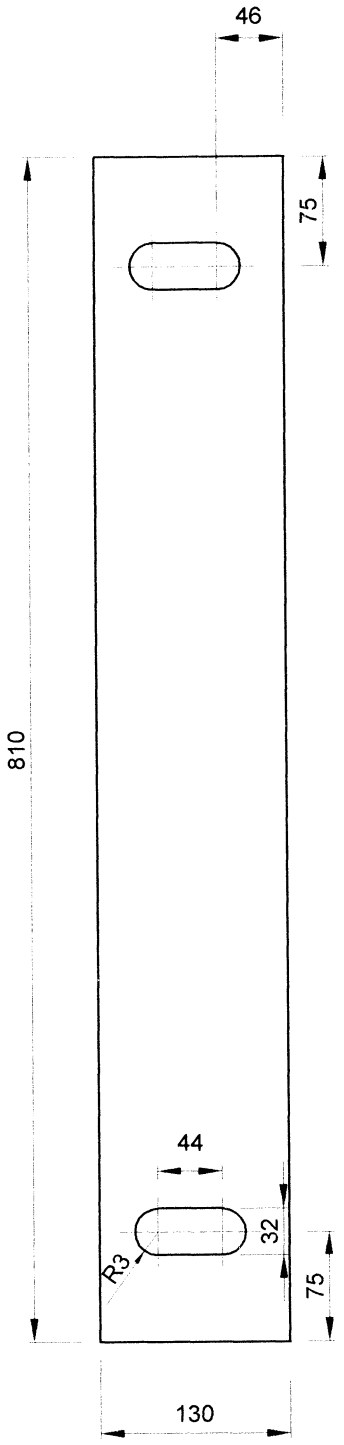


ESPESOR 6 mm.

TRATAMIENTO TERMICO	NINGUNO	MATERIAL	DIM. BRUTAS
RECUBRIMIENTO	Pintura	AISI 10-10	850 x 150 x 6

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	U.P.S	Diseñó:	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Dibujó:	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Revisó:	Ing. Patricio Quitiaquez	2014-02-19
PLACA 3	Escala: 1:2.5	Código:	10.1030.000.06.03	Tol. Gral. ± 1

N7

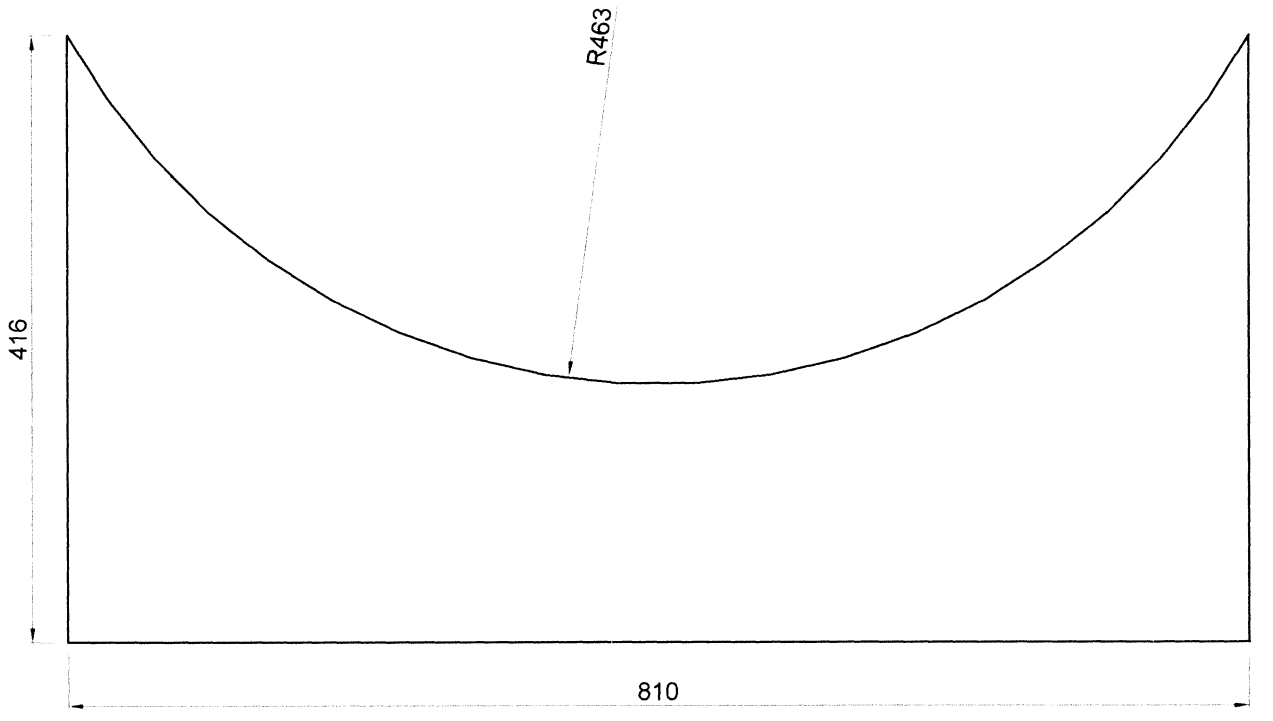


ESPESOR 6 mm.

TRATAMIENTO TERMICO	NINGUNO	MATERIAL AISI 10-10	DIM. BRUTAS 850 x 150 x 6
RECUBRIMIENTO	Pintura		

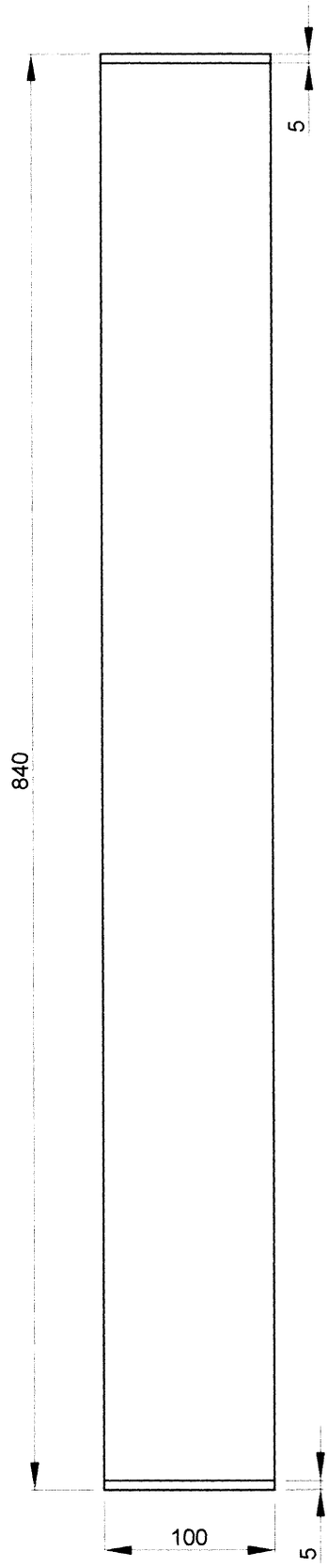
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	U.P.S	Diseñó:	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Dibujó:	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Revisó:	Ing. Patricio Quitiaquez	2014-02-19
PLACA 4	Escala: 1:2.5	Código: 10.1030.000.06.04		Tol. Gral. ± 1

N9



ESPESOR 6 mm.

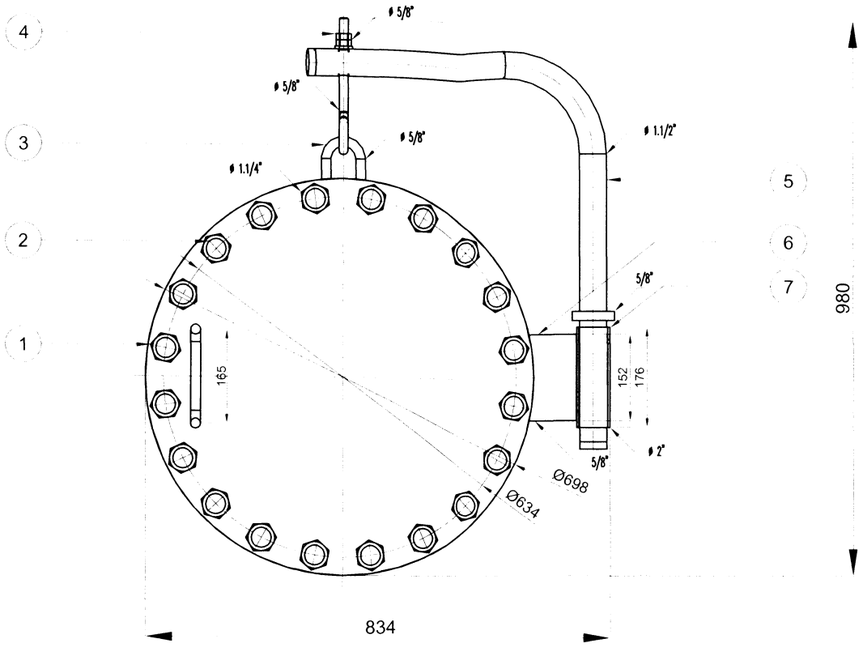
TRATAMIENTO TERMICO	NINGUNO	MATERIAL	AISI 10-10	DIM. BRUTAS 850 x 450 x 6
RECUBRIMIENTO	Pintura			
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	U.P.S	Diseñó:	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Dibujó:	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Revisó:	Ing. Patricio Quitiaquez	2014-02-19
PLACA 5	Escala: 1:5	Código:	10.1030.000.06.05	Tol. Gral. ± 1



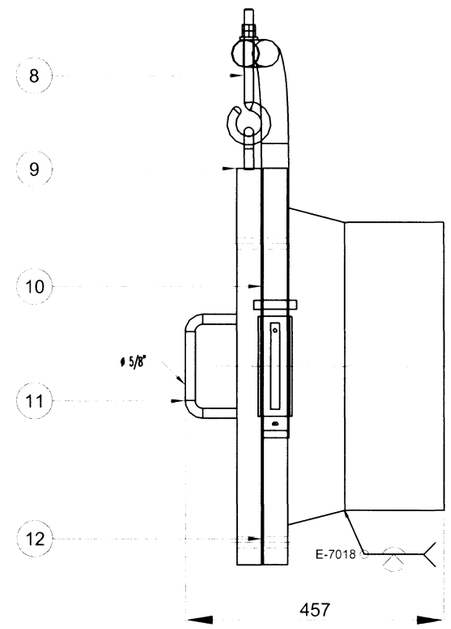
ESPESOR 6 mm.

TRATAMIENTO TERMICO	NINGUNO	MATERIAL	DIM. BRUTAS
RECUBRIMIENTO	Pimtura	AISI 10-10	900 x 130 x 6

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	U.P.S	Diseñó:	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Dibujó:	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Revisó:	Ing. Patricio Quitiaquez	2014-02-19
PLACA 6	Escala: 1:2.5	Código:	10.1030.000.06.06	Tol. Gral. ± 1



VISTA FRONTAL

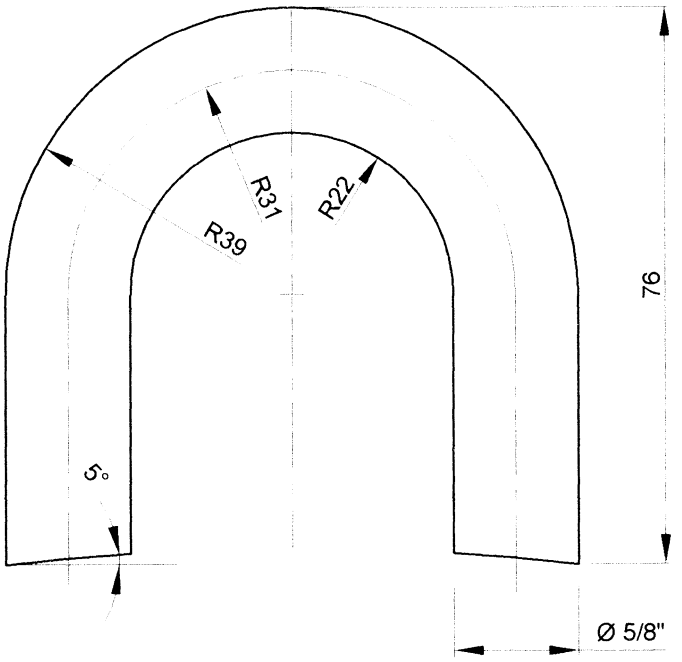


VISTA LATERAL

Ref.	Denominación.	Cant.	No. Norma.	Material.	Dim. Brutas.	Observaciones.
12	Empacadura	1	ASME B16.20	AISI 304		20" RF #150
11	Manija	1	10.10.000.07.11	AISI 10-18	Ø5/8" x 390	
10	Brida	1	ASME B16.5	A-106 GrB		20" WN RF #150
9	Brida ciega	1	ASME B16.5	A-106 GrB		20" #150
8	Perno de ojo	1	10.10.000.07.08	AISI 10-18	Ø5/8" x 337	
7	Casquillo	1	10.10.000.07.07	A-105	Ø 2" x180	
6	Placa	1	10.10.000.07.06	AISI 10-10	170 x 90 x 3	
5	Brazo del Pescante	1	10.10.000.07.05	A-105	Ø 1 1 2" x 1771	
4	Tuercas	2	ASME B16.5		Ø5/8"	
3	Barra en U	1	10.10.000.07.03	AISI 10-18	Ø5/8" x188	
2	Esparragos para bridas	20	ASME B18.2.1	ASTM-A193 GrB7	1 1 4 x 6 1 4	
1	Tuercas para bridas	20	ASME B18.2.2	ASTM-A194 Gr2H	1 1 4	

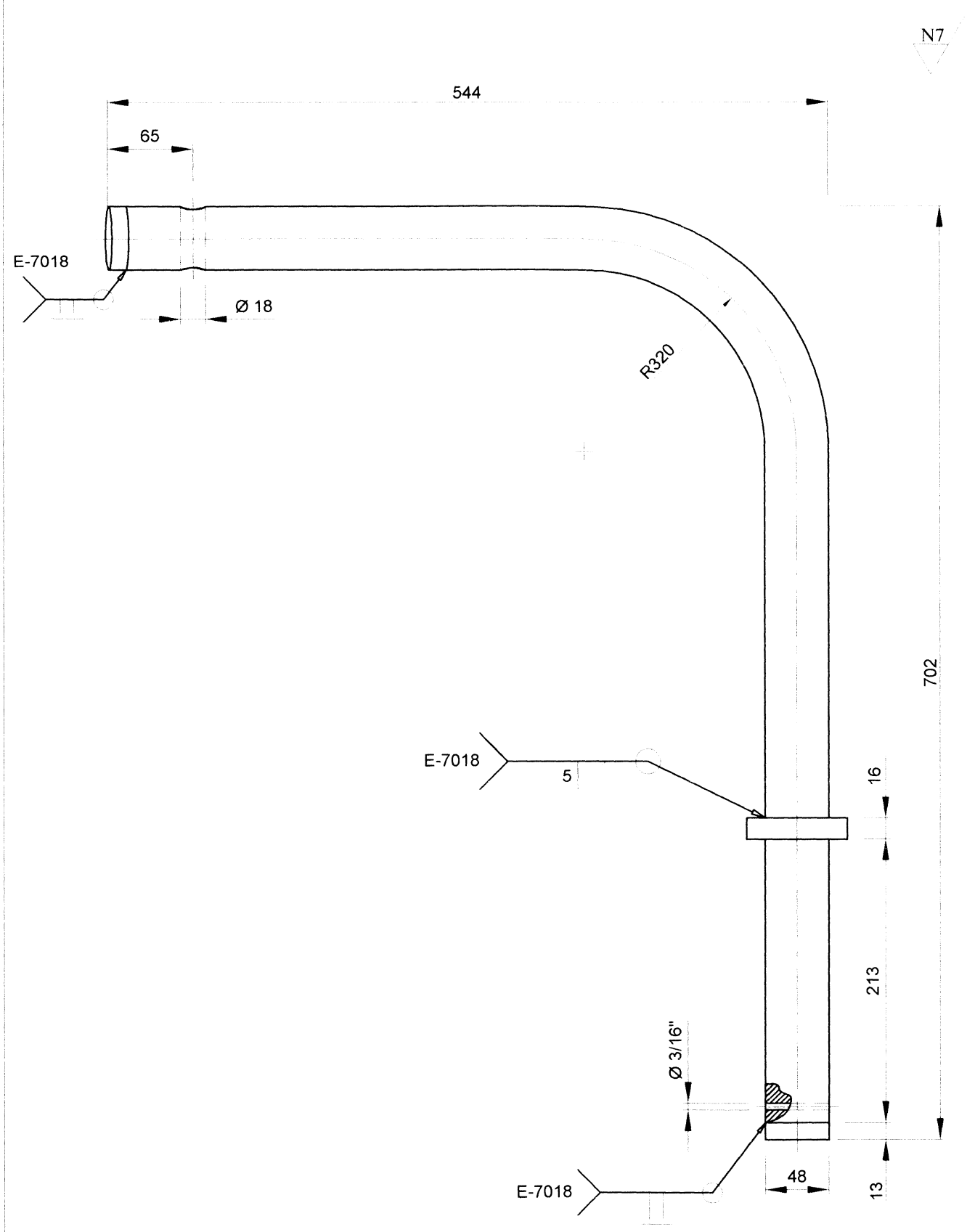
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA	U.P.S	Diseñó	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Dibujó	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Revisó	Ing. Patricio Quitiaquez	2014-02-19
MANHOLE	Escala. 1:10	Código	10.1030.000.07	Tol.Gral. ± 1

N8



TRATAMIENTO TERMICO	NINGUNO	MATERIAL	DIM. BRUTAS
RECUBRIMIENTO	Pintura	AISI 10-18	Ø 5/8 x 188

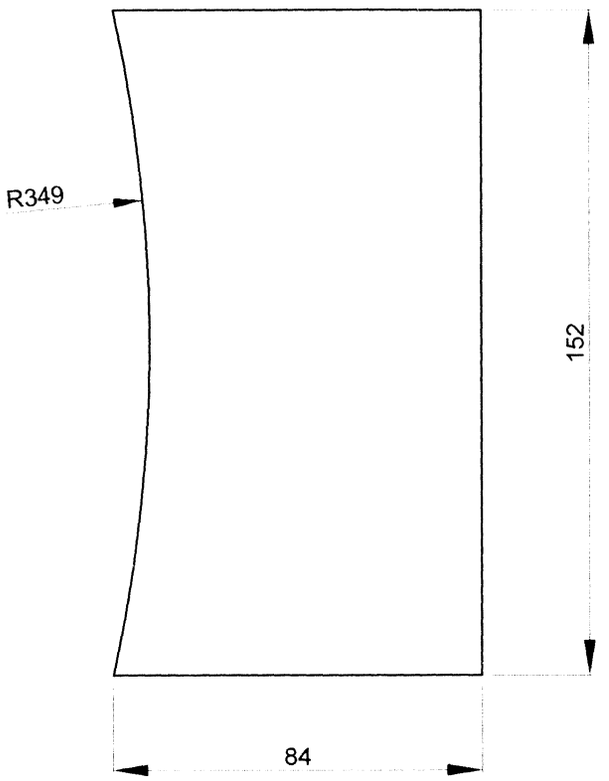
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	U.P.S	Diseñó:	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Dibujó:	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Revisó:	Ing. Patricio Quitiaquez	2014-02-19
BARRA EN U	Escala: 1:1	Código:	10.1030.000.07.03	Tol. Gral. ± 1



TRATAMIENTO TERMICO	NINGUNO	MATERIAL A-105	DIM. BRUTAS Ø 1 1/2" Sch. 40 x 1771
RECUBRIMIENTO	Pintura		

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	U.P.S	Diseñó:	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Dibujó:	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Revisó:	Ing. Patricio Quitiaquez	2014-02-19
BRAZO DEL PESCANTE	Escala: 1:5	Código: 10.1030.000.07.05		Tol. Gral. ± 1

N9

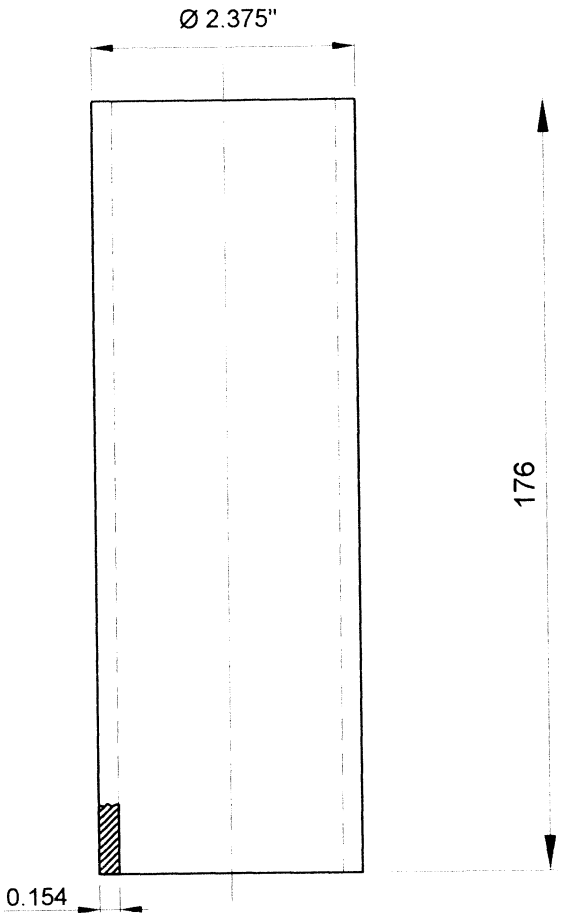


ESPESOR 16 mm

TRATAMIENTO TERMICO	NINGUNO	MATERIAL	DIM. BRUTAS
RECUBRIMIENTO	Pintura	AISI 10-10	170 x 90 x 16

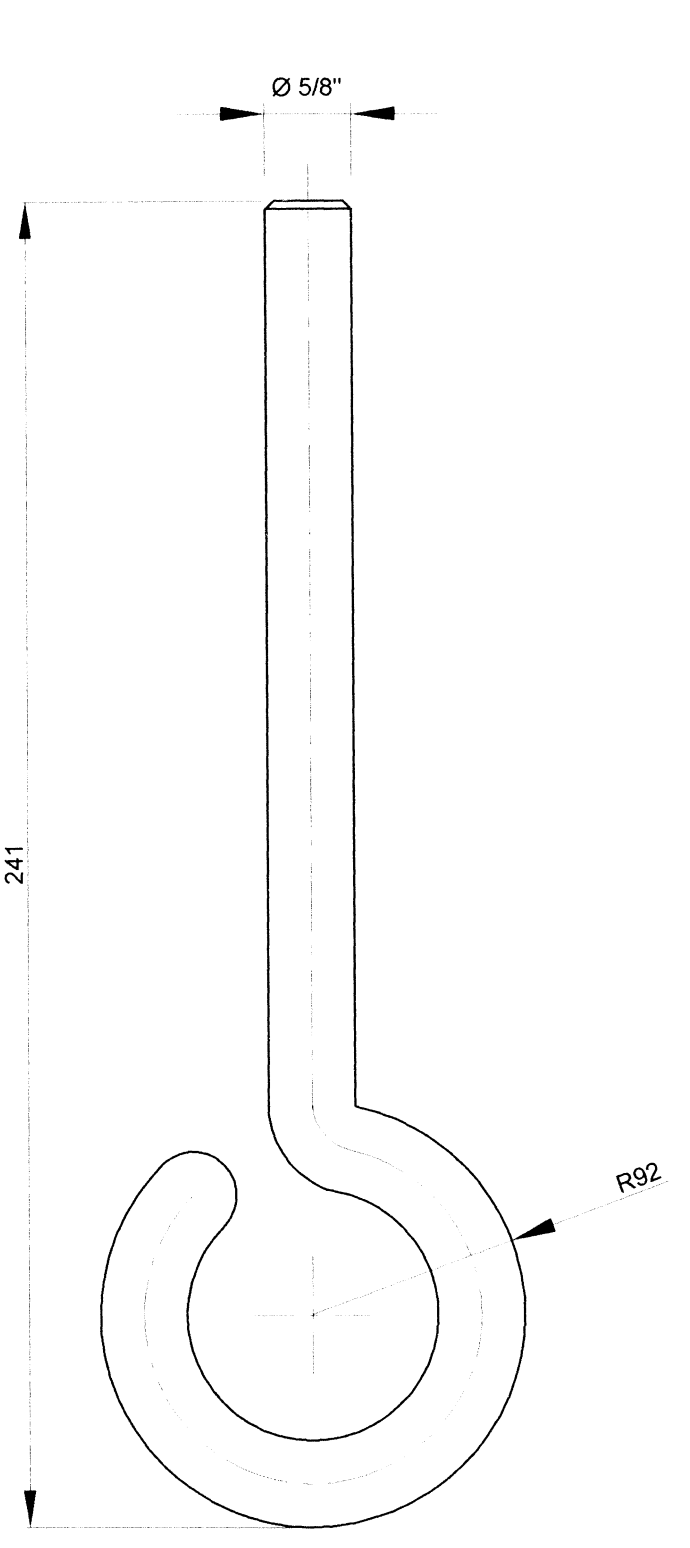
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	U.P.S	Diseñó:	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Dibujó:	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Revisó:	Ing. Patricio Quitiaquez	2014-02-19
PLACA	Escala: 1:1	Código:	10.1030.000.07.06	Tol. Gral. ± 1

N9



TRATAMIENTO TERMICO	NINGUNO	MATERIAL A-105	DIM. BRUTAS Ø 2" Sch 40 x 180
RECUBRIMIENTO	Pintura		

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	U.P.S	Diseñó:	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Dibujó:	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Revisó:	Ing. Patricio Quitiaquez	2014-02-19
CASQUILLO	Escala: 1:1	Código:	10.1030.000.07.07	Tol. Gral. ± 1

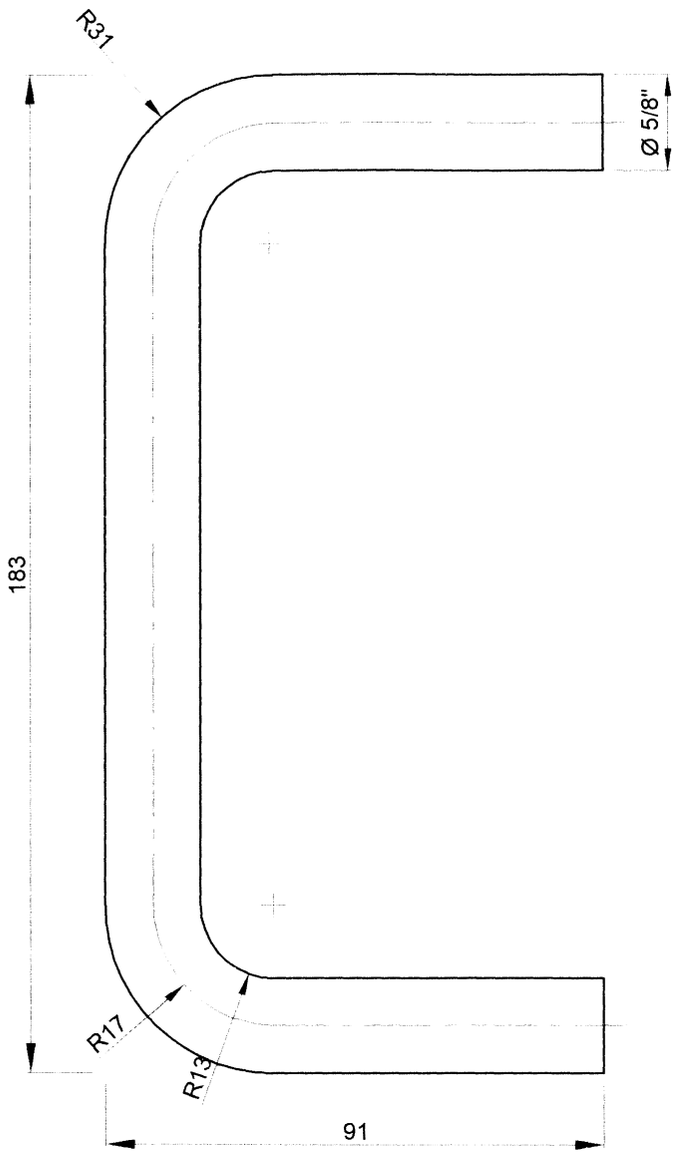


Chaflán 2 x 45°

TRATAMIENTO TERMICO	NINGUNO	MATERIAL	DIM. BRUTAS
RECUBRIMIENTO	Pintura	AISI 10-18	Ø5/8" x 337

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	U.P.S	Diseñó:	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Dibujó:	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Revisó:	Ing. Patricio Quitiaquez	2014-02-19
PERNO DE OJO	Escala: 1:1	Código:	10.1030.000.07.08	Tol. Gral. ± 1

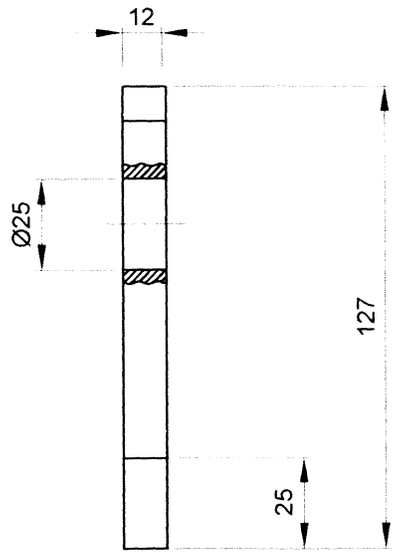
N8



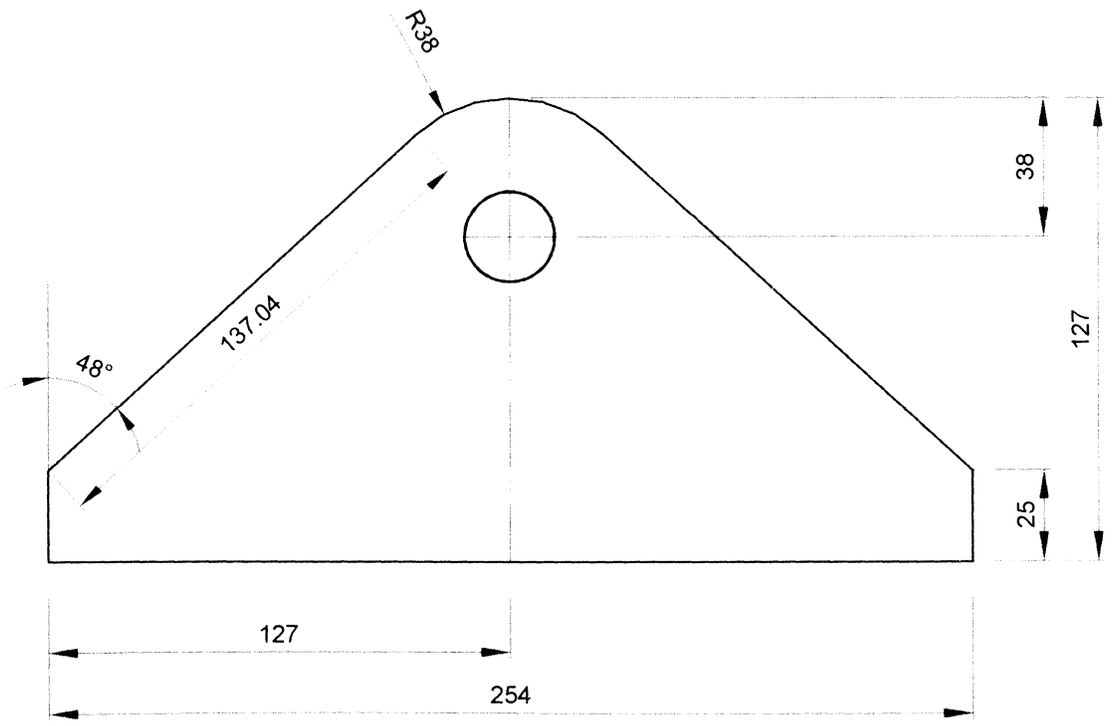
TRATAMIENTO TERMICO	NINGUNO	MATERIAL AISI 10-18	DIM. BRUTAS Ø5/8" x 390
RECUBRIMIENTO	Pintura		

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	U.P.S	Diseñó:	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Dibujó:	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Revisó:	Ing. Patricio Quitiaquez	2014-02-19
MANIJA	Escala: 1:1	Código: 10.1030.000.07.11		Tol. Gral. ± 1

N7



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL

TRATAMIENTO TERMICO	NINGUNO	MATERIAL	DIM. BRUTAS
RECUBRIMIENTO	Pintura	SA-515 Gr70	270 x 140 x 12

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	U.P.S	Diseñó:	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Dibujó:	Verónica Tapia C.	2014-02-10
		Revisó:	Ing. Patricio Quitiaquez	2014-02-19
OREJA DE IZAJE	Escala: 1:2.5	Código:	10.1030.000.09	Tol. Gral. ± 1