

# **ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**QA/QC (ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD & CONTROL DE CALIDAD)  
PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE RECIPIENTES DE  
ALMACENAMIENTO DE DIESEL O GASOLINA DE HASTA 500 BBLs;  
APLICADO A LA CONSTRUCCIÓN DE UN RECIPIENTE DE  
ALMACENAMIENTO DE DIESEL DE 650 GL PARA ABASTECIMIENTO DE  
UN GENERADOR DE 45 KVA**

**PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
MECÁNICO**

**JOSÉ XAVIER LATORRE PESANTES**

**SANGOLQUÍ, 24 DE ABRIL DEL 2006**

## **CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto "QA/QC (ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y CONTROL DE CALIDAD) PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE RECIPIENTES DE ALMACENAMIENTO DE DIESEL O GASOLINA DE HASTA 500 BBLs, APLICADO A LA CONSTRUCCIÓN DE UN RECIPIENTE DE ALMACENAMIENTO DE DIESEL DE 650 GL PARA ABASTECIMIENTO DE UN GENERADOR DE 45 KVA", fue realizado en su totalidad por el señor José Xavier Latorre Pesantes, como requerimiento parcial para la obtención de título de Ingeniero Mecánico.

Ing. Carlos Naranjo  
DIRECTOR

Ing. Juan Pablo Alcoser  
CODIRECTOR

## **LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO**

"QA/QC (ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y CONTROL DE CALIDAD)  
PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE RECIPIENTES DE  
ALMACENAMIENTO DE DIESEL O GASOLINA DE HASTA 500 BBLs,  
APLICADO A LA CONSTRUCCIÓN DE UN RECIPIENTE DE  
ALMACENAMIENTO DE DIESEL DE 650 GL PARA ABASTECIMIENTO DE  
UN GENERADOR DE 45 KVA"

ELABORADO POR:

---

José Xavier Latorre Pesantes

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

---

Myr. Ing. Edgar Pazmiño

## DEDICATORIA

El presente trabajo esta dedicado a mis padres los cuales han creído en mis capacidades y me han apoyado de manera incondicional en todo momento en el cumplimiento de mis metas; y especialmente a mi esposa por ser mi mayor motivación para culminar con este proyecto.

José Xavier

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi agradecimiento a Dios, a la Virgen Dolorosa, a mis padres y especialmente a mi esposa, por ser mi apoyo y la principal razón para seguir adelante.

A mis profesores a lo largo de mi carrera y especialmente a mis directores de tesis que han sido una guía primordial para el desarrollo de este proyecto.

A la empresa PROCOPET SA por haber auspiciado y financiado este proyecto.

# INDICE DE CONTENIDOS

	<b>PÁGINA</b>
PORTADA	0
CERTIFICACION DEL DIRECTOR Y CODIRECTOR	I
HOJA DE LEGALIZACION DE FIRMAS	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
INDICE	V
LISTADO DE CUADROS Y TABLAS	VIII
LISTADO DE FIGURAS	IX
LISTADO DE ANEXOS	X
RESUMEN	XII
BIBLIOGRAFÍA	XIII
INTRODUCCIÓN	XIV

## **CAPÍTULO I: GENERALIDADES**

1.1	Presentación	1
1.2	Definición del Problema	3
1.3	Objetivo General	3
1.4	Objetivos específicos	4
1.5	Justificación	4
1.6	Meta del Proyecto	5
1.7	Alcance	6

## **CAPÍTULO II: PARÁMETROS DE DISEÑO DEL TANQUE Y QA/QC**

2.1	Criterios para el Diseño del Recipiente	7
2.1.1	Normas y Códigos para Construcción	7
2.1.2	Características de los Combustibles	8
2.1.3	Presión y Temperatura de diseño	9
2.1.4	Condiciones de trabajo	10

2.2	Montaje del Recipiente	10
2.3	Preparación de formatos de QA/QC:	11
2.3.1	Calificación de los procedimientos de soldadura	11
2.3.2	Especificación de los Procedimientos de Soldadura (WPS)	12
2.3.3	Registro de la Calificación del Procedimiento (PQR)	13
2.3.4	Registro de la Calificación de Soldadores (WPQ)	14
2.3.5	Ensayos no destructivos	16
2.3.5.1	Radiografía	17
2.3.5.2	Inspección Visual	18
2.3.5.3	Niveles de Calificación de Inspectores	18
2.3.6	Registro de Soldadores Calificados	18
2.3.7	Registro Soldadores Calificados	19

### **CAPÍTULO III: INGENIERÍA**

3.1	Nomenclatura	20
3.2	Diseño de acuerdo al ASME Sección VIII, Div. 1	21
3.2.1	Diseño de planchas	21
3.2.1.1	Cuerpo Cilíndrico	22
3.2.1.2	Cabezas Toriesféricas	26
3.3	Diseño de acuerdo al ASME, Sección XII	28
3.3.1	Diseño de Planchas	28
3.3.1.1	Cuerpo Cilíndrico	29
3.3.1.2	Cabezas Toriesféricas	29
3.4	Diseño de conexiones (purgas y venteos)	31
3.5	Cargas	35
3.6	Diseño de sillas	39
3.7	Diseño de cimientos de hormigón	41
3.8	Listado de materiales (MTO)	42

### **CAPÍTULO IV: PREFABRICACIÓN MONTAJE Y ACABADO**

4.1	Prefabricación	43
4.1.1	Corte mediante oxicorte	43

4.1.2	Rolado del Cuerpo	44
4.1.3	Conformado de Cabezas	45
4.1.4	Biselado	46
4.2	Diagrama de Montaje	47
4.2.1	Soldadura	49
4.3	Ensayos no Destructivos	51
4.3.1	Requerimientos para Radiografía	51
4.3.2	Requerimientos para Pruebas de Presión	52
4.4	Acabado	54
4.4.1	Sandblasting	54
4.4.2	Pintura	58
4.5	Salud y Seguridad del Ambiente de Trabajo (HES)	59
4.5.1	Introducción sobre el Trabajo y Salud	59
4.5.2	Condiciones de Trabajo	60
4.5.3	Técnicas de Prevención	61
4.5.4	Evaluación de los Riesgos Laborales	62

## **CAPÍTULO V: DETERMINACION DE COSTOS DE FABRICACIÓN**

5.1	Determinación de Costos	66
5.2	Análisis Costo – Beneficio	69

## **CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y ANEXOS**

6.1	Conclusiones	72
6.2	Recomendaciones	73
6.3	Anexos	75

## LISTADO DE CUADROS Y TABLAS

### CUADROS

	Página
Cuadro 2.1 Normas y Códigos aplicables	7
Cuadro 2.2 Normas y Códigos aplicados	8
Cuadro 2.3 Propiedades de los Combustibles	9
Cuadro 2.4 Cuadro comparativo	16
Cuadro 4.1 Sistema de Clasificación AWS	49
Cuadro 4.2 Valoración de Riesgos	63

### TABLAS

Tabla 3.1 Cuadro comparativo de resultados entre Sección VIII y Sección XII	31
Tabla 3.2 Boquillas del recipiente de 650 GL	32
Tabla 4.1 Especificaciones para Preparación de Superficies	55
Tabla 4.2 Tamaños de Grano y Perfil de Anclaje	56
Tabla 4.3 Tipos de Pinturas utilizadas	58
Tabla 5.1 Materiales	66
Tabla 5.2 Fungibles	66
Tabla 5.3 Ingeniería	67
Tabla 5.4 Mano de Obra	67
Tabla 5.5 Equipos	67
Tabla 5.6 Terceros	68
Tabla 5.7 Otros	68
Tabla 5.8 Costo Total	68
Tabla 5.9 Costo por Kilogramo	69

## LISTADO DE FIGURAS

	Página
Figura 3.1 Cálculo de Refuerzos	33
Figura 3.2 Distribución de las planchas del Cuerpo	36
Figura 3.3 Distribución de las planchas que conforman las cabezas toriféricas	37
Figura 3.4 Sillas	37
Figura 3.5 Diseño de Sillas	40

## LISTADO DE ANEXOS

### A. Manual de Calidad

1. Hoja de Modificaciones
2. Antecedentes
3. Compromiso y Alcance del Manual
4. Referencias y Definiciones
5. Requisitos de Manual de Calidad
6. Política y Objetivos de Calidad
7. Organización, Responsabilidades y Autoridades
8. Manual de Procesos
9. QA/QC
10. Selección de Normas
11. Anexos
  - A1. Código ASME
  - A2. ASME Sección XII
  - A3. ASME Sección IX
  - A4. NFPA 30
  - A5. Lista Maestra de Procedimientos

### B. QA/QC

#### B.1 Procesos Generales

1. Procedimiento para el Diseño de Recipientes de hasta 500 BBLS  
(*DI.731.PRO.01*)
2. Procedimiento para Trabajos de Soldadura (*CM.751.PRO.01*)
3. Procedimiento para la Construcción de Recipientes de hasta 500 BBLS (*CM.751.PRO.02*)
4. Procedimiento para el Sandblasting y Pintura en Montajes Mecánicos  
(*CM.751.PRO.03*)

5. Procedimiento de Entrega de Productos Terminados  
(*OP.751.PRO.16*)

## B.2 Procesos Específicos

1. Instructivo para Calificación de Soldadores (*CM.751.INS.01*)
2. Instructivo para el conformado de Cuerpo y Cabezas par aun recipiente de 650 GL (*CM.751.INS.02*)
3. Instructivo para el Montaje de un Recipiente de 650 GL  
(*CM.751.INS.03*)
4. Instructivo para Prueba Hidrostática de un Recipiente de 650 GL  
(*CM.751.INS.04*)
5. Procedimiento para la Contratación de Ensayos no Destructivos  
(*CM.751.PRO.05*)

C. Plano de conjunto

D. Planos de despiece

# INTRODUCCIÓN

Este proyecto se lo ha realizado tomando en cuenta las exigencias del mercado globalizado de hoy en día respecto a la calidad de los productos; esto se logra aplicando las normas y códigos vigentes, y sobre todo haciendo un seguimiento al proceso de construcción del recipiente desde sus inicios, es decir desde el diseño hasta la entrega al cliente.

Para ello la empresa auspiciante PROCOPET (Proyectos y Construcciones Petroleras), ha exigido que el proyecto se ajuste a su proceso de calificación de la norma ISO 9001, siguiendo todos los procedimientos desde la identificación de las necesidades, planificación, desarrollo y verificación de los procesos mediante el control de calidad.

El desarrollo se lo ha hecho de acuerdo al código ASME Sección VIII “Recipientes a Presión”, y Sección XII “Reglas para Construcción y Servicio Continuo para Tanques Transportables”, ya que esta nueva norma ha unificado los conceptos de diseño y las consideraciones del BVP (Boiler and Pressure Vessel Code), y de las normas DOT (U.S. Department of Transportation) las cuales controlan los cargamentos en tanques de combustibles y materiales peligrosos dentro de los Estados Unidos. Esta sección califica a recipientes para el transporte por tierra, aire y mar.

El código de construcción aplicado es la Sección VIII, División 1, edición emitida el 1ro. de Julio del 2001.

La primera edición de la Sección XII aprobada a mediados del 2003, ya disponible como 1ra edición del 1ro de Julio del 2004, esta conformada por diez partes las cuales tienen su origen en la Sección VIII, División 1.

Los nuevos proyectos que implican diseño y construcción en la actualidad deben regirse a normas y estándares internacionales ya

establecidos. Todo el proceso debe apuntar a la unificación de normas y procedimientos de construcción los cuales garanticen la calidad del producto.

Por ello, a más de las normas que aplican como la ASME, API, NPFA, etc, hay que tomar en cuenta las regulaciones y reglamentos locales, en este caso de la Dirección Nacional de Hidrocarburos (DNH) y el Ministerio de Energía y Minas.

## **RESUMEN**

El objetivo principal de este proyecto es crear un Manual de Calidad y el QA/QC para el diseño y la construcción de recipientes de almacenamiento de combustibles de hasta 500 BBLs, de acuerdo al Sistema de Gestión de Calidad que se está implementando para obtener la certificación de calidad ISO 9001:2000, así como también en los códigos de construcción y de referencia ASME y API.

Además como aplicación del proyecto, se ha diseñado y construido un tanque de almacenamiento para diesel de 650 GL de capacidad para abastecer a un generador eléctrico de emergencia de 45 KVA, del Grupo Antinarcóticos de la Policía de la ciudad de San Lorenzo, provincia de Esmeraldas.

Se prevee que para mediados de este año la empresa logre la certificación de calidad ISO 9001:2000.

El aporte de este proyecto ha sido muy importante ya que se ha hecho una revisión y mejoramiento de la documentación ya existente, y un gran aporte de nueva documentación en la parte de diseño y construcción de tanques de hasta 500 BBLs; área en la que la empresa se viene desarrollando ya por varios años.

La construcción del recipiente de 650 GL se lo realizó en los talleres de la empresa en la parroquia de Llano Chico, al nor-orienté de la ciudad; en donde se cuenta con la maquinaria y herramienta necesaria para el montaje electromecánico que es en lo que la empresa se especializa.

Además del aporte que se ha hecho a la empresa PROCOPET SA, también queda para los alumnos de la Escuela Politécnica del Ejército un texto de consulta con información valiosa, basada en criterios de ingeniería y aplicando los códigos de construcción vigentes.

## **ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO**

### **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**QA/QC (ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD & CONTROL DE CALIDAD)  
PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE RECIPIENTES DE  
ALMACENAMIENTO DE DIESEL O GASOLINA DE HASTA 500 BBLs;  
APLICADO A LA CONSTRUCCIÓN DE UN RECIPIENTE DE  
ALMACENAMIENTO DE DIESEL DE 650 GL PARA ABASTECIMIENTO DE  
UN GENERADOR DE 45 KVA**

### **RESUMEN**

# **JOSÉ XAVIER LATORRE PESANTES**

## **SANGOLQUÍ, JULIO DEL 2006**

### **INTRODUCCIÓN**

El objetivo principal de este proyecto es crear un Manual de Calidad y el QA/QC para el diseño y la construcción de recipientes de almacenamiento de combustibles de hasta 500 BBLs, de acuerdo al Sistema de Gestión de Calidad que se está implementando para obtener la certificación de calidad ISO 9001:2000, así como también en los códigos de construcción y de referencia ASME y API.

Además como aplicación del proyecto, se ha diseñado y construido un tanque de almacenamiento para diesel de 650 GL de capacidad para abastecer a un generador eléctrico de emergencia de 45 KVA, del Grupo Antinarcóticos de la Policía de la ciudad de San Lorenzo, provincia de Esmeraldas.

Se prevee que para mediados de este año la empresa logre la certificación de calidad ISO 9001:2000.

El aporte de este proyecto ha sido muy importante ya que se ha hecho una revisión y mejoramiento de la documentación ya existente, y un gran aporte de nueva documentación en la parte de diseño y construcción de tanques de hasta 500 BBLs; área en la que la empresa se viene desarrollando ya por varios años.

La construcción del recipiente de 650 GL se lo realizó en los talleres de la empresa en la parroquia de Llano Chico, al nor-orienté de la ciudad; en donde se cuenta con la maquinaria y herramienta necesaria para el montaje electromecánico que es en lo que la empresa se especializa.

Además del aporte que se ha hecho a la empresa PROCOPET SA, también queda para los alumnos de la Escuela Politécnica del Ejército un texto de consulta con información valiosa, basada en criterios de ingeniería y aplicando los códigos de construcción vigentes.

## 1. Normas y códigos para construcción

Este proyecto está basado en la normas de calidad ISO 9001:2000, sobre la cual está basada la estructura del control de calidad con una documentación ordenada y que describe el proceso de basado en normas de construcción, las cuales se describen a continuación:

NORMA	DESCRIPCIÓN
ASME Sección XII	Reglas para Construcción y Servicio Continuo para Tanques Transportables
ASME Sección VIII, Div. 1	Recipientes a Presión
ASME Sección IX	Calificación de Soldadura
ASME Sección V	Ensayos no destructivos
Pressure Vessel Handbook, 12th, edition	Basado en ASME VIII, Div 1
SSPC	Código para Preparación de Superficies y Pintura
NFPA 30	Código de Combustibles y Líquidos Flamables
Reglamentos Locales (DNH)	Reglamento de Operaciones Carburíferas

## **2. Condiciones de trabajo**

Se consideran condiciones de trabajo a los rangos de temperatura ambiente y humedad relativa del lugar en donde va a ser montado el recipiente, para determinar el tipo de protección que debe tener el recipiente para evitar el óxido y el desgaste.

El recipiente va a ser montado en la localidad de San Lorenzo, provincia de Esmeraldas, en donde la temperatura ambiente está entre los 25 y 40°C, y la humedad relativa entre el 60 y el 100%. Además por su proximidad a la costa, se asume que estará en un ambiente salino.

Debido a estas condiciones de trabajo el recipiente debe estar protegido de forma adecuada con pinturas especiales que le brindan la protección que requiere. Las especificaciones de protección o pintura se encuentran en el *PROCEDIMIENTO PARA SANBLASTING Y PINTURA PARA MONTAJES MECÁNICOS (CM.751.PRO.02)*, dentro del Manual de Procesos.

## **3. Preparación de los Formatos QA/QC:**

Los formatos que se utilizarán para el control de calidad serán preparados de acuerdo a las necesidades del proyecto y de las condiciones de construcción del recipiente, tomando en cuenta los requerimientos de la Sección VIII del código ASME.

Como su nombre lo indica: “Aseguramiento de la calidad y control de calidad”, busca asegurar la calidad del producto mediante controles durante el proceso de diseño y construcción los cuales quedan documentados en formatos que detallan las pruebas o controles que se realizan a los diferentes procesos.

## **4. Diseño de acuerdo al ASME Sección VIII, División 1**

### **4.1 Cuerpo Cilíndrico**

De acuerdo al artículo UG-16<sup>1</sup>, a no ser que se indique en los Modal Apendices (aplicaciones especiales), el espesor mínimo permitido para cuerpos y cabezas después del conformado y sin importar el material y el producto que transporte debe ser de 1,6 mm o 1/16 pulg, sin considerar la corrosión admisible.

“El espesor mínimo requerido no debe ser menor al calculado por las fórmulas dadas en el artículo UG-27<sup>2</sup>, o en ningún caso menor al espesor calculado con una presión interna de 500 psi a 70°F o 0,022 (pulg)”<sup>3</sup>.

El espesor mínimo requerido o la presión máxima permisible de trabajo para cuerpos cilíndricos debe ser el mayor espesor o la menor presión dadas por las fórmulas de los artículos UG-27(a) o (b).

(a) *Esfuerzo Circunferencial (juntas longitudinales)*.- cuando el espesor no excede la mitad del radio interno, o P no excede 0,385SE, las siguientes ecuaciones aplican:

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} \quad (1) \quad \text{ó} \quad P = \frac{SEt}{R + 0.6t} \quad (2)$$

La presión de operación del recipiente de 650 GL es de 3 psi, y para determinar la presión que el fluido ejerce sobre las paredes del recipiente (cabeza hidrostática), se utiliza la relación: 1ft (liquido), equivale a 0,433 psi.

$$D_e = 1110[\text{mm}] = 43,70[\text{pulg}] = 3,64[\text{ft}]$$

$$R_e = 555[\text{mm}] = 21,85[\text{pulg}] = 1,82[\text{ft}]$$

$$D_i = 1100.47[\text{mm}] = 43,33[\text{pulg}] = 3,61[\text{ft}]$$

$$R_i = 550,24[\text{mm}] = 21,66[\text{pulg}] = 1,81 [\text{ft}]$$

$$P_{ch} = 3,61[\text{ft}] * 0,433[\text{psi}]$$

$$P_{ch} = 1,58[\text{psi}]$$

---

<sup>1</sup> Sección VIII, División 1, Diseño

<sup>2</sup> Espesor del cuerpo sometido a presión interna

<sup>3</sup> UG-16, General

Por lo tanto:

$$P_{dis} = P_{op} + 10 \text{ [psi]} + P_{ch}$$

$$P_{dis} = 3 \text{ [psi]} + 10 \text{ [psi]} + 1,58 \text{ [psi]}$$

$$P_{dis} = 14,58 \text{ [psi]}$$

$$E = 0,85^4$$

$$S = 16600 \text{ [psi]} \quad (\text{SA-36})^5$$

$$C/A = 1/8 \text{ [pulg]}$$

$$P_{dis} < 0,385 * SE \quad (3)$$

$$14,58 < (0,385) * (16600) * (0,85)$$

$$14,58 < 5432,35$$

Por lo tanto, basado en las fórmulas en función de  $D_i$ :

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} + \frac{C}{A} \quad (1)$$

$$t = 3,75 \text{ [mm]}$$

La presión máxima que soporta el recipiente en condición corroída es:

$$P = \frac{SEt_n}{R + 0.6t_n} \quad (2)$$

$$P = 120,79 \text{ [psi]}$$

(b) *Esfuerzo longitudinal (juntas circunferenciales).*- cuando el espesor no excede la mitad del radio interno, o  $P$  no excede  $1,25SE$ , las siguientes ecuaciones aplican:

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} \quad (4) \quad \text{ó} \quad P = \frac{2SEt}{R - 0.4t} \quad (5)$$

$$P_{dis} < 1,25 * SE \quad (6)$$

<sup>4</sup> Tipos de juntas soldadas. Pressure Vessel Code. Pg 172

<sup>5</sup> Propiedades de los materiales. Pressure Vessel Code. Pg. 189

$$14,65 < (1,25) * (16600) * (0,85)$$

$$14,65 < 17637,5$$

Por lo tanto:

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} + \frac{C}{A} \quad (4)$$

$$t = 3,46[\text{mm}]$$

La presión máxima que soporta el recipiente en condición corroída es:

$$P = \frac{2SEt_n}{R - 0.4t_n} \quad (5)$$

$$P = 243,67[\text{psj}]$$

El espesor mínimo requerido y la presión máxima que soporta el recipiente en condición corroída están dados por el esfuerzo circunferencial.

Aunque el espesor mínimo para la plancha que conforman el cuerpo del recipiente puede ser de 3,75 mm, por requerimiento del cliente la plancha que se utiliza para el recipiente de 650 GL es de 4,76 [mm] o de 3/16 [pulg].

$$t = 4,76[\text{mm}]$$

$$P_{\text{max}} = 120,79[\text{psi}]$$

La presión máxima que soporta el cuerpo del recipiente de 650 GL en condición corroída con plancha de 4,76 [mm] es:

$$P = \frac{2SEt}{R - 0.4t} \quad (5)$$

$$P = \frac{2 * 16600 * 0,85 * 0,0625}{21,85 - 0,4 * 0,0625}$$

$$P = 80,81[\text{psi}]$$

## 4.2 Cabezas Toriesféricas

“El espesor requerido para la cabeza toriesférica en donde el valor del radio interno del faldón (  $r$  ) es el 6% del valor del radio de la cabeza (  $L$  ) y donde (  $L$  ) es igual al diámetro exterior del recipiente está determinado por:”<sup>6</sup>

$$t = \frac{0,885PL}{SE - 0,1P} \quad (7) \quad \text{ó} \quad P = \frac{SEt}{0,885L + 0,1t} \quad (8)$$

Las fórmulas que determinan el espesor de las cabezas toriesféricas cuando el valor de  $L/r$  es menor a  $16 \frac{2}{3}$  están dadas por el Pressure Vessel Handbook (PVH), pg. 20 y son:

$$t = \frac{PLM}{2SE + 0,2P} \quad (9) \quad \text{ó} \quad P = \frac{2SEt}{LM + 0,2t} \quad (10)$$

El factor  $M$  está determinado por la tabla en la pg. 20 del PVH, y es igual a 1,36; por lo tanto:

$$t = 4,03[\text{mm}]$$

La presión máxima que soporta el recipiente en condición corroída es:

$$P = 14,70[\text{psi}]$$

El mínimo espesor de la plancha que conforman las cabezas toriesféricas y la máxima presión que soporta en condición corroída es:

$$t = 4,03[\text{mm}]$$

$$P_{\text{max}} = 14,70[\text{psi}]$$

Al igual que el cuerpo del recipiente, por requerimiento del cliente las cabezas toriesféricas son fabricadas con plancha de espesor de 4,76 [mm] o de 3/16 [pulg].

La presión máxima que soportan las cabezas toriesféricas del recipiente de 650 GL en condición corroída con plancha de 4,76 [mm] es:

---

<sup>6</sup> UG-32(e)

$$P = \frac{2SEt}{LM + 0,2t}$$

(10)

$$P = 27,01[\text{psi}]$$

Tabla 3.2 Boquillas del recipiente de 650 GL

Boquilla	Descripción	Diámetro
A	Manhole	18"
B1	Medidor de Nivel Superior	1"
B2	Medidor de Nivel Inferior	1"
C	Ingreso de Combustible	3 ½"
D	Ventoeo	2"
E	Drenaje	2"
F	Salida de Combustible	1 ½"
G	Extra	2"
H	Extra	3 ½"

## 5. Cargas

Las cargas a las que un recipiente está sometido depende del uso que a este se le de y para el que está diseñado; ya sean fuerzas estáticas y dinámicas. Como este recipiente es fijo, no se consideran las cargas dinámicas.

Las cargas estáticas que se consideran para este recipiente son:

- Presión interna de diseño ( incluida cabeza hidrostática)

- Peso del recipiente en condiciones de operación o prueba

El peso del recipiente es:

$$m_1 = 613,08[\text{kg}] = 1348,80[\text{lb}]$$

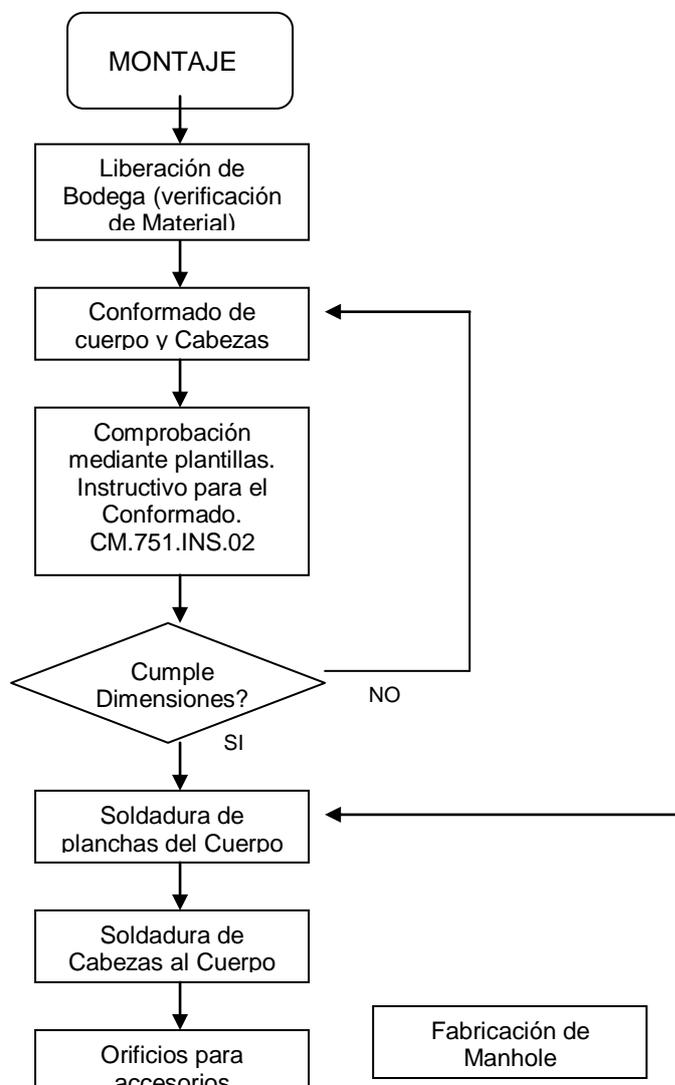
El peso del recipiente lleno de agua es:

$$\text{peso} = m_1 + m_2 = 613,08 + 2460 = 3073,08[\text{kg}] = 6760,78[\text{lb}]$$

## 6. Prefabricación

La prefabricación del recipiente quiere decir la conformación de las partes de este, es decir el rolado de las planchas que conforman el cuerpo, el conformado de las cabezas toriesféricas, la construcción de sus accesorios como boquillas, manhole, sillas o soportes, etc, y todos los subprocesos relacionados.

## 7. Diagrama de Montaje



## 8. Requerimientos para Radiografía

Ya que el diseño se hizo tomando en cuenta el valor de eficiencia de la junta (E) spot, es decir con un valor de 0,80; el código ASME habla de los requisitos en el párrafo UW-12(b) RT-2<sup>7</sup>.

Para la realización de los ensayos por radiografía la empresa PROCOPET SA subcontrata este proceso ya que no cuenta con los equipos necesarios para este tipo de ensayos; para ello hacer referencia al Procedimiento para la contratación de ensayos no destructivos (CM.751.PRO.05).

La mínima extensión de un “spot” a examinar por RT debe incluir:

- Un “spot” (punto) de 6” (1,83 mts) por cada incremento de soldadura de 50’ (15,24 mts) o fracción de este.
- Cada incremento de 50’ debe incluir un número suficiente de puntos para examinar el trabajo de cada soldador.

---

<sup>7</sup> Eficiencia de las Juntas

- La localización del “spot” a ser RT debe ser escogido por el Inspector de Soldadura.

Bajo este criterio para el caso específico del recipiente de 650 GL, y tomando en cuenta que las uniones entre verticales y horizontales o comúnmente llamadas “T” son puntos críticos en los que suele producirse fallas de la soldadura como poros o picaduras; se han tomado las placas en dos uniones del recipiente, lo que cubre el requerimiento del código.

## 9. Requerimientos para Pruebas de Presión

Las pruebas de presión en recipientes deben ser realizadas una vez finalizada la construcción, y pueden ser hidrostáticas o neumáticas.

- ✓ **Hidrostáticas.-** “Los recipientes diseñados para presión interna deben ser sometidos a una presión de prueba hidrostática de 1,3 veces la presión máxima permisible de trabajo, multiplicado por un factor determinado por la relación entre los esfuerzos a la temperatura de prueba sobre la temperatura de diseño (En este caso los valores son iguales a ambas temperaturas por lo que el factor es igual a 1).”<sup>8</sup>

El tiempo bajo el cual el recipiente debe estar sometido a la presión de prueba no es determinante para la aceptación o rechazo de la prueba. Este puede ser convenido entre el constructor y el cliente, y se sugiere que no sea menor a 1 hora.

“Seguidamente de la realización de la prueba hidrostática, es recomendado realizar una inspección visual de las juntas. La inspección debe ser realizada a una presión no menor que la presión de prueba dividido para 1,3. Esta inspección debe realizarse con el recipiente libre de materiales o líquidos peligrosos.”<sup>9</sup>

---

<sup>8</sup> ASME XII, TT-210 (a)(1)

<sup>9</sup> ASME XII, TT-210 (a)(5)

Si existe alguna fuga es permitido la reparación de esta, pero la prueba debe realizarse nuevamente como la primera vez.

## **10. Sandblasting y Pintura**

El proceso final en la construcción de recipientes de almacenamiento es el de acabado, es decir, la protección que se le da al tanque para evitar principalmente daños como la corrosión.

Para ello al proceso de acabado se lo divide en dos subprocesos: el sandblasting y la pintura. El sandblasting es la preparación o la limpieza de la superficie previo al revestimiento y/o pintura. La efectividad del revestimiento depende principalmente de la preparación de la superficie. En este proceso se debe remover todo el material extraño para permitir la adhesión adecuada del revestimiento y/o pintura.

El método más utilizado en la preparación de superficies para planchas y tuberías de acero es el black beauty. Este método con la ayuda del equipo adecuado nos da acabados SSPC-SP-5 y SSPC-SP-10.

Debido a la actividad de la empresa PROCOPET SA en la construcción y montaje de facilidades petroleras, en el proceso de pintura se utilizan productos de marca AMERON<sup>10</sup>, productos disponibles en el mercado nacional, los cuales son utilizados a nivel mundial para este propósito.

## **11. Determinación de Costos**

Para la determinación de los costos de fabricación del recipiente de 650 GL, se han de considerar los siguientes puntos, en los cuales se los han agrupado de acuerdo a su categoría.

- Materiales

---

<sup>10</sup> Ameron International (Acabados y Recubrimientos)

- Fungibles (Materiales consumibles)
- Ingeniería
- Mano de Obra
- Terceros, y
- Otros

## 12. Análisis Costo – Beneficio

Para realizar un análisis costo – beneficio, es necesario hacer una comparación con la opción de la subcontratación o con la comparación de un proyecto similar realizado en el pasado.

A continuación se presenta una tabla con los valores de costo/kilogramo para los recipientes:

Tabla 5.9 Costo por Kilogramo

ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO (KG)	VALOR	COSTO/KG
1	TK - 650 GL	613,08	\$ 2.984,00	\$ 4,87
2	TK - 7000 GL	1900	\$ 7.900,00	\$ 4,16

El costo de fabricación del recipiente de 650 GL es mayor al de 7000 GL, esto se debe como ya se mencionó al volumen de obra, es decir, que mientras mayor es la cantidad fabricada, el costo es menor. Además al factor de costo de los materiales que se incrementaron durante los dos meses de intervalo entre la construcción de los dos tanques.

Dentro de los beneficios del proyecto del tanque de 650 GL están:

- Al haber elaborado previamente un Manual de Calidad junto con los procedimientos de diseño y construcción, el proceso se vuelve más eficiente en su planificación y ejecución, lo que implica reducción en los costos.

- Se optimiza la confiabilidad del equipo humano de trabajo, ya que se han tomado medidas para controlar el proceso en sus diferentes fases.
- La buena imagen que se le da a los clientes al mostrarle la organización y planificación para la realización de los proyectos al trabajar dentro de un Sistema de Gestión de Calidad.
- Estos elementos intangibles permiten vender la imagen de la empresa a nuevos clientes o nuevos mercados.
- Además, ya que el recipiente fue construido en los talleres de la empresa el costo disminuye en un 20% a realizarlos en sitio o en campo, ya que no existe la movilización del personal ni los equipos y se evitan estos costos de operación.

En forma general, y como evaluación interna de la empresa se considera que el porcentaje de ahorro a hacerlo por medio de la subcontratación va de un 10 a 30 %, dependiendo el tipo de empresa subcontratada. Además hubo una utilidad de un 20% del valor considerado en la oferta original presentada al cliente.

### **13. Conclusiones**

- Se ha logrado generar un Manual de Procesos el cual se encuentra dividido en Procedimientos Generales, que son los que utiliza la empresa en la mayoría de montajes mecánicos que apliquen, los cuales han sido revisados y mejorados de acuerdo a las nuevas y cambiantes necesidades; y en Procedimientos Específicos e Instructivos, los cuales han sido creados para la construcción del recipiente de 650 GL y aplican para recipientes de hasta 500 BBLs.

- Todos los Registros anexos a los Procedimientos Generales y Específicos son parte del QA/QC que se genera durante la realización de cualquier proyecto de montaje electromecánico que realiza la empresa PROCOPET SA; los cuales aseguran que se ha cumplido con los requisitos que los códigos de construcción y el cliente exige, y aseguran la calidad del producto.
- Se ha logrado satisfacer la necesidad del cliente por medio de la construcción de un recipiente de almacenamiento de diesel de 650 GL, el cual alimenta a un generador de 45 KVA de capacidad, el cual abastece de energía al Grupo Antinarcóticos de la Policía de la ciudad de San Lorenzo provincia de Esmeraldas.
- El montaje y construcción del recipiente de 650 GL se lo ha hecho de forma eficiente y dentro del cronograma planteado debido a la experiencia del personal, instalaciones y equipos adecuados con los que dispone la empresa PROCOPET SA.
- Durante la construcción y pruebas del recipiente de 650 GL no se produjeron accidentes debido al cumplimiento de las normas de seguridad por parte del personal involucrado.
- Los cálculos para determinar el espesor de las partes del recipiente se los han realizado por dos códigos de la norma ASME, Sección VIII (Recipientes a Presión) y Sección XII (Recipientes Transportables), las cuales utilizan criterios similares, lo que garantiza la seguridad y la vida útil del recipiente.
- Debido a la buena planificación y desarrollo organizado mediante los procedimientos durante el proceso de diseño y construcción, se ha logrado reducir los costos de la construcción en un 20% del valor presupuestado en la oferta original al cliente, lo cual es una utilidad para la empresa.

## 14. Recomendaciones

- Comprobar los cálculos de espesores si se tiene acceso a softwares existentes en el mercado, como por ejemplo el *Compress Vessel*; ya que su costo es muy alto pero algunas empresas en el país lo disponen.
- Para todos los procesos de soldadura que realiza la empresa en montajes electromecánicas es mandatorio utilizar personal calificado, especialmente soldadores que ya tengan su calificación o sino realizar la calificación de estos previo el inicio de los trabajos de soldadura.
- El Manual de Calidad y el Manual de Procesos desarrollado durante este proyecto es aplicable para el diseño y construcción de tanques de hasta 500 BBLs. Si se necesita diseñar y/o construir un tanque de mayor capacidad, hacer referencia al API 650 y/o API 12F.
- Se recomienda utilizar este proyecto de tesis como texto de consulta para los estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército para el diseño y construcción de tanques de hasta 500 BBLs, ya que existe teoría sobre cálculos, códigos de construcción y normas aplicadas en este proyecto.
- Se recomienda la utilización de los procedimientos de diseño y construcción desarrollados en esta tesis para la fabricación de recipientes de almacenamiento de combustibles de hasta 500 BBLs.
- Se recomienda seguir las prácticas de seguridad industrial durante cualquier trabajo de montaje electromecánico, como por ejemplo la utilización de equipo de protección personal y el cumplimiento de normas o reglamentos existentes en las plantas o fábricas.

# CAPITULO I

## GENERALIDADES

### 1.1 Presentación

El propósito de este proyecto es la creación del manual de calidad y el QA/QC<sup>11</sup> para el diseño y construcción de recipientes de almacenamiento de combustibles de hasta 500 BBLs, de acuerdo a normas y estándares aplicables, y sobre todo dentro del Sistema de Gestión de Calidad que la empresa PROCOPET SA está generando bajo la calificación de la norma de calidad ISO 9001:2000.

Además parte de este proyecto es el suministro de combustible a un grupo generador de 45KVA de capacidad. Este generador está instalado en el cuartel de la policía de la ciudad de San Lorenzo, provincia de Esmeraldas; el cual provee de energía eléctrica a las instalaciones del Grupo Antinarcóticos de la Policía Nacional de Ecuador.

Para el desarrollo de este proyecto se propone la utilización de los códigos de construcción ASME con sus secciones VIII y XII, aunque en el medio sean muy comunes el uso de los códigos API también para recipientes de almacenamiento.

Hay que tomar en cuenta que los códigos de construcción ASME son para recipientes a presión, y el recipiente que se propone en este proyecto es considerado como de baja presión, lo que da un margen de seguridad más alto.

El recipiente de almacenamiento posee instrumentos de control como manómetro y válvula de alivio de presión, también válvulas de conexión necesarias para la alimentación al generador, lo que hace fácil su operación.

---

<sup>11</sup> Aseguramiento de la Calidad y Control de la Calidad

PROCOPEP es una empresa dedicada al montaje, fabricación e instalación de facilidades petroleras, y es por esta gran experiencia que participa en la construcción del cuartel del Grupo Antinarcóticos de la Policía Nacional en la ciudad de San Lorenzo, y como parte de este proyecto la instalación del generador de emergencia de 45 KVA.

La implementación del recipiente de 650 GL para el almacenamiento de diesel, fue presentado y aprobado por el representante del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos como parte de la instalación del generador.

Como se mencionó anteriormente, uno de los objetivos principales de este proyecto es crear un manual de calidad, el cual es una guía y contiene la información necesaria para la construcción de recipientes de hasta 500 BBLs mediante la aplicación de códigos de construcción ASME aplicables, sin dejar de lado el uso tecnología y los materiales disponibles en el mercado.

Este manual es complementado por el QA/QC el cual recopila la información que aseguran la calidad del producto al que se ha aplicado el proyecto como por ejemplo recepción e inspección del material, control de los procesos de construcción, acabados y entrega al cliente.

Se ha observado que en el medio existen varias empresas dedicadas a la construcción de recipientes de almacenamiento, pero cada una se rige a normas y procedimientos diferentes, por ello el objetivo de este proyecto es unificar los procedimientos de construcción de acuerdo a normas, tanto de seguridad industrial como ambientales, logrando un aseguramiento de la calidad, y que los alumnos de la Escuela Politécnica del Ejército cuenten con un legado que les guíe en el QA/QC, con el que de seguro se enfrentarán en cualquier empresa en su vida profesional.

## **1.2 Definición del problema**

Como parte del proceso de calificación de la norma ISO 9001:2000, lo que la empresa busca es definir y documentar los procedimientos para la construcción de facilidades petroleras en todas sus áreas como: civiles, eléctricas, mecánicas y de instrumentación.

Se está desarrollando un Sistema de Gestión de Calidad y para ello toda la empresa se encuentra en reestructuración, y como parte de esta es indispensable declarar los procedimientos y manuales que se vayan a aplicar dentro del Sistema.

Dentro de la organización existen ya procedimientos que se los han utilizado anteriormente en un sinnúmero de proyectos, los cuales han sido creados muchas veces durante la ejecución del mismo proyecto pero que no siempre quedan en los archivos de la empresa para futuras obras ya que no están correctamente identificados y como parte de un manual de procesos, el cual está ya siendo definido dentro del SGC<sup>12</sup> con los procedimientos generales de construcción.

Como aplicación a este proyecto se ha propuesto la implementación de un recipiente de almacenamiento de diesel de 650 GL para alimentar a un generador de 45 KVA, como parte de la construcción del cuartel del Grupo Antinarcóticos de la Policía Nacional en la ciudad de San Lorenzo, provincia de Esmeraldas y financiado por el Grupo de Ingenieros de los Estados Unidos, proyecto que POCOPET SA se encuentra desarrollando.

## **1.3 Objetivo General**

Implementar el QA/QC (Aseguramiento de la Calidad / Control de Calidad) para el diseño y construcción recipientes de almacenamiento de combustible

---

<sup>12</sup> Sistema de Gestión de Calidad

de hasta 500 BBLs, para integrarlo al Sistema de Gestión de la Calidad que la empresa PROCOPET SA está desarrollando.

#### **1.4 Objetivos Específicos**

- Generar un manual de procesos el cual detalle los procedimientos para la fabricación del recipiente de almacenamiento.
- Durante el proceso de construcción aplicar el QA/QC, el cual certifica la calidad del producto, y cumplimiento de las normas ASME. El QA/QC es hoy en día un requerimiento obligatorio en la construcción de equipos y facilidades petroleras.
- Disponer de un recipiente de almacenamiento de diesel que abastezca al generador de emergencia de 45 KVA, el cual provee energía eléctrica a las instalaciones del Grupo Antinarcóticos de la Policía Nacional en la ciudad de San Lorenzo.
- Lograr que el costo del recipiente sea por lo menos un 20% menor al costo presupuestado.

#### **1.5 Justificación**

Aportar a la empresa con los procedimientos e instructivos para el diseño y la construcción de recipientes de almacenamiento de combustibles, además de un manual de calidad que certifique la calidad de los productos.

Revisar, organizar y mejorar los procedimientos ya existentes para que formen parte del manual de procesos, para que cuando cualquier proyecto en que aplique lo requiera no se tenga que volver a generar al apuro como ya ha pasado o utilizar una revisión anterior.

El tener ya establecido el manual de procedimientos y los registros de control que son parte del QA/QC, hace que la empresa sea más eficiente y su respuesta al cliente sea más rápida y eficaz; lo que nos hace más competitivos en el mercado nacional, y con proyección al mercado internacional.

En la parte aplicativa del proyecto se da solución al abastecimiento de diesel del generador de 45 KVA que abastece de energía eléctrica a las instalaciones del Grupo Antinarcóticos de la Policía Nacional en la ciudad de San Lorenzo, provincia de Esmeraldas, puesto que los cortes de energía son muy continuos y el abastecimiento de combustibles en la zona es irregular y la policía no siempre tiene los recursos y los medios para hacerlo.

La implementación del recipiente de almacenamiento de 650 GL para el generador es un requisito del cliente, en este caso el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América, institución que financia esta obra, como parte del apoyo al control de la frontera con Colombia.

## **1.6 Meta Del Proyecto**

Crear un Manual de Calidad y el QA/QC para el diseño y la construcción de recipientes de almacenamiento de combustibles de hasta 500 BBLs, de acuerdo al Sistema de Gestión de Calidad que se está implementando para obtener la certificación de calidad ISO 9001:2000.

Además aplicar el QA/QC para el diseño y construcción de un recipiente de almacenamiento de diesel de 650 GL de capacidad para abastecer un generador de 45 KVA., lo cual asegure la calidad del recipiente durante todo el proceso de compra, recepción de materiales, construcción y pruebas.

Toda la documentación que se genere durante el proyecto debe estar de acuerdo al formato e identificación del manual de procesos general de la empresa PROCOPET SA

## 1.7 Alcance

Construir un recipiente de almacenamiento de diesel de 650 GL, de acuerdo a la norma de construcción ASME Sección VIII. También realizar los cálculos de acuerdo a la Sección XII del código ASME.

Generar un manual de calidad el cual entre otras cosas contendrá el manual de procesos, que contiene los procedimientos de construcción y los registros de control que se realizarán.

## CAPITULO II

### PARAMETROS DE DISEÑO DEL TANQUE

## 2.1 Criterios para el Diseño del Recipiente

### 2.1.1 Normas y códigos para construcción

De acuerdo con las necesidades del proyecto es importante hacer una selección de las normas y estándares vigentes, que se podrían aplicar de acuerdo con las características y aplicaciones del proyecto, en este caso para recipientes de almacenamiento de combustibles.

Existen una gran cantidad de normas y códigos que se pueden utilizar para la construcción de recipientes de almacenamiento y otras aplicaciones, de las que podemos enumerar:

Cuadro 2.1 Normas y Códigos aplicables

<b>NORMA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
ASME Sección XII	Reglas para Construcción y Servicio Continuo para Tanques Transportables
ASME Sección VIII, Div. 1	Recipientes a Presión
ASME Sección IX	Calificación de Soldadura
ASME Sección II	Materiales

ASME Sección V	Ensayos no destructivos
API 650	Tanques de Acero Soldados para Almacenamiento de Crudo
Pressure Vessel Handbook, 12th, edition	Basado en ASME VIII, Div 1
SSPC	Código para Preparación de Superficies y Pintura
NFPA 30	Código de Combustibles y Líquidos Flamables
UBC	Código para la Construcción
OSHA	Seguridad Ocupacional y Administración de la Salud
Reglamentos Locales (DNH)	Reglamento de Operaciones Carburíferas

Este proyecto está basado en la normas de calidad ISO 9001:2000, sobre la cual está basada la estructura del control de calidad con una documentación ordenada y que describe el proceso de basado en normas de construcción, las cuales se describen a continuación:

Cuadro 2.2 Normas y Códigos aplicados

<b>NORMA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
ASME Sección XII	Reglas para Construcción y Servicio Continuo para Tanques Transportables
ASME Sección VIII, Div. 1	Recipientes a Presión
ASME Sección IX	Calificación de Soldadura
ASME Sección V	Ensayos no destructivos
Pressure Vessel Handbook, 12th, edition	Basado en ASME VIII, Div 1
SSPC	Código para Preparación de Superficies y Pintura
NFPA 30	Código de Combustibles y Líquidos Flamables
Reglamentos Locales (DNH)	Reglamento de Operaciones

La norma principal en la que se basa este proyecto es la ASME Sección VIII, la cual nos da los criterios para el cálculo de espesor de las planchas que conforman el recipiente.

### 2.1.2 Características de los Combustibles.

Es necesario conocer las diferentes características y propiedades de los combustibles a los que el recipiente va a transportar durante su operación, sobre todo las características que en determinado momento o bajo ciertas condiciones pueden afectar al normal desempeño del recipiente, como por ejemplo la temperatura de inflamabilidad.

A continuación se muestra un cuadro con las principales propiedades:

Cuadro 2.3 Propiedades de los Combustibles

Combustible	Propiedades	Unidad	MIN	MAX
Diesel 1	Punto de Inflamación	°C	40	-
	Punto inicial de ebullición	°C	162	-
	Densidad	g/cm <sup>2</sup>	0,810	0,890
Diesel 2	Punto de Inflamación	°C	51	-
	Punto inicial de ebullición	°C	183	-
	Densidad	g/cm <sup>2</sup>	0,810	0,890
Diesel Bajo Contenido de Azufre	Punto de Inflamación	°C	51	
	Punto inicial de ebullición	°C	178	
Gasolina 80 Octanos sin Tetraetilo de Plomo	Punto inicial de ebullición	°C	39	-
	Densidad	g/cm <sup>2</sup>	0,710	0,750
Gasolina 85 Octanos sin Tetraetilo de Plomo	Punto inicial de ebullición	°C		-
	Densidad	g/cm <sup>2</sup>	0,710	0,750

Gasolina 89 Octanos sin Tetraetilo de plomo	Punto inicial de ebullición Densidad	°C g/cm <sup>2</sup>	38 0,710	- 0,750
---	---	-------------------------	-------------	------------

### 2.1.3 Presión y Temperatura de Diseño

La presión y la temperatura de diseño son los datos iniciales para el cálculo del espesor de la plancha y de la presión máxima que el recipiente soportará. Estos datos están determinados por la norma aplicable, en este caso la Sección VIII, División 1 del código de construcción ASME.

La máxima presión de trabajo permitida (MAWP), es la presión interna a la cual el elemento más débil está cargado en su punto máximo permisible, tomando en cuenta que el recipiente se encuentra trabajando a la temperatura de diseño, lleno y en condiciones corroídas.

Además existe otro tipo de fuerzas que actúan sobre el recipiente, como por ejemplo cargas sísmicas o de viento, pero para efectos de cálculo no las consideraremos debido a que son mínimas.

### 2.1.4 Condiciones de trabajo

Se consideran condiciones de trabajo a los rangos de temperatura ambiente y humedad relativa del lugar en donde va a ser montado el recipiente, para determinar el tipo de protección que debe tener el recipiente para evitar el óxido y el desgaste.

El recipiente va a ser montado en la localidad de San Lorenzo, provincia de Esmeraldas, en donde la temperatura ambiente está entre los 25 y 40°C, y la humedad relativa entre el 60 y el 100%. Además por su proximidad a la costa, se asume que estará en un ambiente salino.

Debido a estas condiciones de trabajo el recipiente debe estar protegido de forma adecuada con pinturas especiales que le brindan la protección que requiere. Las especificaciones de protección o pintura se encuentran en el *PROCEDIMIENTO PARA SANBLASTING Y PINTURA PARA MONTAJES MECÁNICOS (CM.751.PRO.02)*, dentro del Manual de Procesos.

## **2.2 Montaje del Recipiente**

El proceso de montaje del tanque se lo realiza una vez conformadas las piezas, es decir, una vez roladas las planchas que conforman el cuerpo y conformadas las cabezas de forma toriesférica.

Se han diseñado las cabezas toriesféricas debido a que la maquinaria para este tipo de conformado es fácil de conseguir en la industria nacional.

Al unir las planchas del cuerpo hay que comprobar que den el diámetro de diseño, así como también que las cabezas tengan las medidas correctas y se pueda soldar al cuerpo de acuerdo a las dimensiones dadas en los planos. En el manual de procesos se presenta el *PROCEDIMIENTO PARA EL MONTAJE DEL RECIPIENTE (CM.751.PRO.13)*.

## **2.3 Preparación de los Formatos QA/QC:**

Los formatos que se utilizarán para el control de calidad serán preparados de acuerdo a las necesidades del proyecto y de las condiciones de construcción del recipiente, tomando en cuenta los requerimientos de la Sección VIII del código ASME.

Como su nombre lo indica: “Aseguramiento de la calidad y control de calidad”<sup>13</sup>, busca asegurar la calidad del producto mediante controles durante el proceso de diseño y construcción los cuales quedan documentados en

---

<sup>13</sup> QA/QC

formatos que detallan las pruebas o controles que se realizan a los diferentes procesos.

### **2.3.1 Calificación de los procedimientos de soldadura**

De acuerdo a requerimientos de la empresa, todo proceso de construcción debe realizarse siguiendo un procedimiento o instructivo, el cual detalle los pasos o tareas necesarias para cumplir con el objetivo. Este procedimiento debe haber sido previamente elaborado, revisado y aprobado por un responsable que generalmente es el jefe de construcciones o superintendente de obra.

El *PROCEDIMIENTO PARA TRABAJOS EN SOLDADURA (CM.751.PRO.01)*, que se encuentra en el Manual de Procesos; es respaldado por registros los cuales aseguran el control y la calidad del proceso. Algunos de estos registros son: Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS), el Registro de la Calificación del Procedimiento (PQR) y el Registro de Calificación de el o los Soldadores (PQR), documentos mandatorios de acuerdo al código de referencia ASME IX.

### **2.3.2 Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS)**

El objetivo del WPS (Especificación del Procedimiento de Soldadura), es dar guía al operador o soldador, para que realice una soldadura aceptable mediante los parámetros o variables esenciales que se deben cumplir. La elaboración de este es responsabilidad del constructor.

“Este contiene una serie de variables, esenciales, no esenciales y esenciales suplementarias cuando el proceso lo requiere, con sus rangos”<sup>14</sup>. Si un cambio es requerido en el proceso, es preferible hacerlo en las variables no esenciales lo cual no alterará la calificación del WPS, pero si hay un cambio aunque sea solo en una variable esencial, el WPS deberá ser recalificado.

---

<sup>14</sup> Manual de Soldadura, MAXUS ECUADOR INC., Sección 2, pg.1 de 4.

Las variables consideradas esenciales son aquellas que afectan las propiedades mecánicas o físicas de la soldadura.

Las variables que el WPS debe contener son:

- Rango de amperaje y voltaje (No esencial)
- Diámetro del electrodo (No esencial)
- Espesor del material depositado (Esencial)
- Pre y post tratamiento térmico para cada material base utilizado y el espesor (Esencial)
- El tipo de electrodo para varios materiales base dentro de una clasificación conocida como números F (Esencial)
- Número P del material base (Esencial)
- Cambio en el espesor del material base (Esencial)
- Velocidad de alimentación de material de aporte (No esencial)
- Velocidad de avance (No esencial)
- Polaridad (No esencial)
- Técnica (Técnica)
- Detalle de la Junta (No esencial)
- Posición de soldadura (No esencial)
- Y cualquier información adicional que ayude al soldador a realizar el proceso de acuerdo al WPS.

El formato en el que este debe ser realizado depende del gusto o la comodidad del constructor, siempre y cuando contenga las variables requeridas.

“El WPS siempre debe estar disponible en el lugar de la construcción para que sirva como referencia a los constructores o al inspector de la construcción.”<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> ASME Sección IX, QW-200.1, pg.13

Los formatos de los WPS aplicables, con sus respectivos números de registro se encuentran como anexos al *PROCEDIMIENTO PARA TRABAJOS EN SOLDADURA (CM.751.PRO.01)*, dentro del Manual de Procesos.

### **2.3.3 Registro de la Calificación del Procedimiento (PQR)**

“El objetivo del PQR (Registro de la Calificación del Procedimiento), es probar la soldabilidad de los materiales, registrando la información de la soldadura de un cupón de prueba, además de los resultados de las pruebas de este”<sup>16</sup>. Es un registro de que es lo que paso durante una prueba de soldadura en particular. Los resultados pueden variar un poco en comparación a las variables utilizadas en la construcción.

“El PQR es un respaldo para el WPS y se le debe asignar una numeración la cual debe indicarse también en el WPS”<sup>17</sup>.

Este contiene las mismas variables esenciales del WPS, y si es necesario las esenciales suplementarias. No es necesario incluir las no esenciales si así el constructor lo requiere, y si alguna o algunas variables no son monitoreadas durante el proceso, no deben ser tomadas en cuenta.

Al igual que el WPS debe estar disponible en el sitio de construcción en el caso de que el constructor o el inspector lo requiera.

Los formatos de los PQR con su respectivo número de registro se encuentran como anexos al *PROCEDIMIENTO PARA TRABAJOS EN SOLDADURA (CM.751.PRO.01)*, dentro del Manual de Procesos.

### **2.3.4 Registro de Calificación del Soldador (WPQ)**

“La calificación del soldador se limita a mostrar las variables las variables esenciales dadas para cada proceso de soldadura”<sup>18</sup>.

---

<sup>16</sup> ASME Seccion IX, QW-200.2, pg.13

<sup>17</sup> Manual de Soldadura, MAXUS ECUADOR INC., Sección 2, pg.2 de 4

Estas variables se muestran en el párrafo QW-350, dependiendo el proceso de soldadura.

“El soldador debe ser recalificado cuando cambien aunque sea una de las variables esenciales”<sup>19</sup>.

Cuando se requiere una combinación de procesos, cada soldador debe calificar el o los procesos que se requiera para la producción.

La calificación del soldador es responsabilidad de la empresa o de la persona para la que trabaja, y debe cumplir los requerimientos del WPS que es también responsabilidad de quien lo realiza, así como también la supervisión y desarrollo durante el proceso de calificación.

Cada soldador debe tener un número, letra o símbolo que lo identifique, el cual debe constar en el registro del trabajo que esta realizando.

La calificación del soldador depende de los resultados de las pruebas mecánicas como: inspección radiográfica o el ensayo de doblado del cupón de prueba; a no ser de que se trate de algún proceso especial para los cuales existen otros requerimientos.

Los formatos de los WPQ con su respectivo número de registro se encuentran como anexos al Procedimiento de Calificación de los Procedimientos de Soldadura (PR.JX01).

A continuación se muestra un cuadro comparativo entre le WPS, PQR y WPQ.

---

<sup>18</sup> ASME IX, QW 301.1, pg 48

<sup>19</sup> ASMW IX, QW 351, pg 52

Cuadro 2.4 Cuadro comparativo

<b>Registro</b>	<b>WPS</b>	<b>PQR</b>	<b>WPQ</b>
¿Qué es?	Especificación del Procedimiento de Soldadura	Registro de Calificación del Procedimiento	Registro de Calificación del Soldador
¿Para que sirve?	Guía para el soldador	Prueba la soldabilidad de los materiales	Prueba la habilidad del soldador
¿Qué contiene?	Muestra rangos aceptables para todos los parámetros	Muestra los parámetros utilizados en los cupones de prueba	Muestra los parámetros usados en los cupones de prueba
¿Qué indica?	Las variables esenciales del proceso	Muestra los resultados de las pruebas	Muestra los resultados de las pruebas
Califica a...	Debe ser respaldado por un PQR. Debe mostrar una descripción detallada de las variables necesarias para poder soldar. Es usada como una guía de referencia para el soldador y es una referencia	Califica al WPS mediante la soldadura de un cupón, y registra los resultados de este	Califica al soldador mediante la soldadura de un cupón de acuerdo al WPS, registra los resultados y rangos calificados.

	para el inspector		
--	-------------------	--	--

### **2.3.5 Ensayos no destructivos**

“El objetivo de estos ensayos es detectar discontinuidades internas o en la superficie de los materiales, soldaduras, partes o diferentes componentes”<sup>20</sup>, para asegurarnos que los elementos soldados no van a fallar durante su vida útil. La Sección VIII división 1 del código nos indica que los ensayos no destructivos se los hace de acuerdo a la Sección V del código ASME (Nondestructive Examination).

Estos ensayos pueden ser:

- Radiografía
- Ultrasonido
- Tintas penetrantes
- Partículas Magnéticas
- Examinación Electromagnética para tubería (Eddy Current)
- Inspección Visual
- Prueba de Goteo, y
- Emisión Acústica

Los ensayos que aplican al proyecto de construcción del recipiente de 650 GL, para asegurarnos que el recipiente presenta las garantías necesarias de calidad y buen funcionamiento son: radiografía e inspección visual (donde aplique según norma). Los resultados de estos ensayos formarán parte del “QA/QC”.

#### **2.3.5.1 Radiografía**

Este ensayo se lo realiza para detectar discontinuidades o porosidades en la soldadura de los materiales. Cuando el ensayo debe ser respaldado por un documento, este debe contener por lo menos las siguientes variables, aparte

---

<sup>20</sup> ASME Sección V, Artículo 1, T-110 (Alcance), pg 13

de la identificación de la compañía o empresa para la que se hace y el número de identificación del documento.

- Material, espesor y espesor de refuerzos si aplica
- Máximo voltaje de Rx o isótopo utilizado
- Número de radiografías
- Mínima distancia del objeto a la fuente
- Máxima distancia del objeto a la película
- Marca e identificación de las películas
- Como respaldo debe ir además el mapa radiográfico, ya sea en tubería o en tanques.

### **2.3.5.2 Inspección Visual**

Es importante realizar esta inspección para verificar las discontinuidades de la soldadura e inclusive poros que pueden quedar en el pase de acabado, los cuales pueden venir acumulándose desde pases anteriores.

También es importante realizarla antes de la prueba hidrostática para verificar que no haya elementos sueltos o fuera de su posición que puedan afectar el desempeño de esta.

La inspección visual forma también parte del QA/QC.

### **2.3.5.3 Niveles de Calificación de Inspectores**

Existen tres niveles básicos para la calificación de inspectores. Es potestad del a empresa o del responsable de los END<sup>21</sup>, subdividir estos niveles en situaciones en que se requieran responsabilidades o habilidades específicas.

### **2.3.6 Registro de soldadores calificados**

---

<sup>21</sup> Ensayos no Destructivos

Este es un documento en el que constan los nombres de los soldadores que ya tienen calificación o que han sido calificados y que son aptos para realizar la soldadura de las partes del recipiente.

Este formato con su respectiva identificación está anexado al Procedimiento de calificación de los *PROCEDIMIENTO PARA TRABAJOS EN SOLDADURA (CM.751.PRO.01)*

### **2.3.7 Registro de Calidad de Soldadores**

Este documento registra el desempeño del o de los soldadores que ya han sido calificados, durante las pruebas de calificación y durante la soldadura del recipiente, y le sirve como referencia al supervisor del área mecánica para tomar en cuenta a los soldadores para futuros trabajos.

Este formato con su respectiva identificación está anexado al Procedimiento de calificación de los *PROCEDIMIENTO PARA TRABAJOS EN SOLDADURA (CM.751.PRO.01)*, el cual forma parte del Manual de Procesos.

## **CAPITULO III**

### **INGENIERÍA**

#### **3.1 Nomenclatura**

La nomenclatura que se utiliza en las fórmulas aplicables para el diseño de este recipiente se definen a continuación. Todas las referencias que utilizan la letra (U) son de acuerdo a la Sección VIII<sup>22</sup>, división 1; y las referencias con la letra (T) son de acuerdo a la Sección XII<sup>23</sup>

---

<sup>22</sup> Reglas para la construcción de recipientes a presión

<sup>23</sup> Reglas para la construcción de recipientes transportables

$t$  = espesor mínimo requerido. [pulg]  
 $t_n$  = espesor nominal [pulg]  
 $P_{ch}$  = presión de cabeza hidrostática (Presión que ejerce el fluido sobre paredes del recipiente). [psi]  
 $P$  = presión interna de diseño. [psi]  
 $R$  = radio interno del cuerpo. [pulg]  
 $S$  = máximo esfuerzo permisible. [psi]  
 $E$  = eficiencia de la junta.  
 $C/A$  = corrosión admisible. [pulg]  
 $L$  = radio de la cabeza. [pulg]  
 $r$  = radio interno del faldón [pulg]  
 $M$  = factor que se obtiene de la tabla en la pg. 20 del Pressure Vessel Handbook.  
 $M$  = factor que se obtiene de la tabla TD-310.2-1  
 $K$  = factor que se obtiene de la tala TD-310.2-2  
 $E_{RT}$  = módulo de elasticidad a 20°C (70°F)  
 $S_a$  = valor de 115000 psi, excepto para materiales especiales<sup>24</sup>. [psi]  
 $E_t$  = módulo de elasticidad a la máxima temperatura de diseño.  
 $D$  = diámetro externo de las cabezas. [pulg]  
 $A$  = área de la sección transversal que necesita refuerzo. [pulg<sup>2</sup>]  
 $A_1$  = área en exceso del espesor en la pared del recipiente disponible para refuerzo. [pulg<sup>2</sup>]  
 $A_2$  = área en exceso del espesor en la pared de la boca disponible para refuerzo. [pulg<sup>2</sup>]  
 $A_3$  = área disponible para refuerzo cuando la pared de la boca se extiende al interior del recipiente. [pulg<sup>2</sup>]  
 $A_{41} = A_{43}$  = área transversal de la soldadura. [pulg<sup>2</sup>]  
 $d$  = diámetro de la boca. [pulg]  
 $F$  = factor de corrección que compensa la variación de esfuerzo en los diferentes planos con respecto al eje longitudinal. Para cabezas conformadas o planas el valor es de 1.

---

<sup>24</sup> Aluminio, aleaciones de aluminio, cobre, aleaciones de cobre, titanio y zirconium. Para estos el valor esta dado por otra ecuación dada en TD-310.2, pg 62

$m_1$  = peso del acero que conforma el recipiente. [lbs]

$m_2$  = peso máximo de agua que contiene el recipiente. [lbs]

$t_r$  = espesor requerido del cuerpo basado en el esfuerzo circunferencial, usando  $E=1$ . [pulg]

$t_n$  = espesor del manhole, en condición corroída. [pulg]

$t_m$  = espesor requerido de la pared del manhole. [pulg]

$f_r$  = factor de reducción de resistencia, no mayor a 1.  $S_n/S_v$

$f_{r1} = S_n / S_v$ . Este valor es igual a 1 cuando la boca no pasa a través del recipiente.

$f_{r2} = S_n / S_v$

$S_n$  = Esfuerzo permisible en la boca. [psi]

$S_v$  = Esfuerzo permisible en el recipiente. [psi]

## 3.2 Diseño de acuerdo al ASME Sección VIII, División 1

### 3.2.1 Diseño de planchas

El diseño de las planchas se lo ha hecho de acuerdo a las fórmulas dadas en el Pressure Vessel Handbook, el cual se basa en el código de construcción ASME, Sección VIII, Div 1, Parte UG<sup>25</sup>.

#### 3.2.1.1 Cuerpo Cilíndrico

De acuerdo al artículo UG-16<sup>26</sup>, a no ser que se indique en los Modal Apendices (aplicaciones especiales), el espesor mínimo permitido para cuerpos y cabezas después del conformado y sin importar el material y el producto que transporte debe ser de 1,6 mm o 1/16 pulg, sin considerar la corrosión admisible.

---

<sup>25</sup> Requerimientos Generales para todos los métodos de construcción y todos los materiales

<sup>26</sup> Sección VIII, División 1, Diseño

“El espesor mínimo requerido no debe ser menor al calculado por las fórmulas dadas en el artículo UG-27<sup>27</sup>, o en ningún caso menor al espesor calculado con una presión interna de 500 psi a 70°F o 0,022 (pulg)”<sup>28</sup>.

El espesor mínimo requerido o la presión máxima permisible de trabajo para cuerpos cilíndricos debe ser el mayor espesor o la menor presión dadas por las fórmulas de los artículos UG-27(a) o (b).

(a) *Esfuerzo Circunferencial (juntas longitudinales)*.- cuando el espesor no excede la mitad del radio interno, o P no excede 0,385SE, las siguientes ecuaciones aplican:

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} \quad (1) \quad \text{ó} \quad P = \frac{SEt}{R + 0.6t} \quad (2)$$

Para determinar la presión de diseño hay que tomar en cuenta la presión de operación y la presión que ejerce el líquido sobre las paredes del recipiente. Además por criterio de diseño para este caso específico se ha considerado una presión adicional de 10 psi.

Una práctica común de diseño que se aplica es que para determinar la presión de diseño hay que considerar la presión de operación mas 30 psi o 10%, cualquiera sea mayor.

La presión de operación del recipiente de 650 GL es de 3 psi, y para determinar la presión que el fluido ejerce sobre las paredes del recipiente (cabeza hidrostática), se utiliza la relación: 1ft (liquido), equivale a 0,433 psi.

$$D_e = 1110[\text{mm}] = 43,70[\text{pulg}] = 3,64[\text{ft}]$$

$$R_e = 555[\text{mm}] = 21,85[\text{pulg}] = 1,82[\text{ft}]$$

$$D_i = 1100.47[\text{mm}] = 43,33[\text{pulg}] = 3,61[\text{ft}]$$

---

<sup>27</sup> Espesor del cuerpo sometido a presión interna

<sup>28</sup> UG-16, General

$$R_i = 550,24[\text{mm}] = 21,66[\text{pulg}] = 1,81 [\text{ft}]$$

$$P_{ch} = 3,61[\text{ft}] * 0,433[\text{psi}]$$

$$P_{ch} = 1,58[\text{psi}]$$

Por lo tanto:

$$P_{dis} = P_{op} + 10 [\text{psi}] + P_{ch}$$

$$P_{dis} = 3 [\text{psi}] + 10 [\text{psi}] + 1,58 [\text{psi}]$$

$$P_{dis} = 14,58 [\text{psi}]$$

El factor  $E^{(29)}$  se lo determina de acuerdo al tipo de examinación de la junta que se desee, esta examinación generalmente se la hace de acuerdo al tipo de fluido o material que el recipiente va a transportar. Cuando son fluidos tóxicos o gases explosivos el valor de  $E=1$ (examinación total). En este caso utilizaremos un valor de 0,85 (por puntos), ya que la junta es tipo 1.

La Sección VIII división 1 manda a considerar una corrosión admisible, la cual generalmente depende del criterio del diseñador, pero no debe ser menor a  $1/16''$ ; considerando la aplicación para la que es creado el recipiente y la vida útil que se le quiera dar. Para este caso específico el valor de la corrosión admisible es de  $1/8''$ .

$$E = 0,85^{30}$$

$$S = 16600 [\text{psi}] \quad (\text{SA-36})^{31}$$

$$C/A = 1/8 [\text{pulg}]$$

$$R_i = 21,66 [\text{pulg}] + C/A$$

$$R_i = 21,79 [\text{pulg}]$$

$$P_{dis} < 0,385 * SE \quad (3)$$

$$14,58 < (0,385) * (16600) * (0,85)$$

$$14,58 < 5432,35$$

<sup>29</sup> Eficiencia de la junta, UW-12

<sup>30</sup> Tipos de juntas soldadas. Pressure Vessel Code. Pg 172

<sup>31</sup> Propiedades de los materiales. Pressure Vessel Code. Pg. 189

Por lo tanto, basado en las fórmulas en función de  $D_i$ :

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} + C/A \quad (1)$$

$$t = \frac{14,58 * 21,79}{0,85 * 16600 - 0.6 * 14,58} + \frac{1}{8}$$

$$t = 0,02 + \frac{1}{8} [\text{pulg}]$$

$$t = 0,15 [\text{pulg}] * 25,4 [\text{mm}]$$

$$t = 3,75 [\text{mm}]$$

La presión máxima que soporta el recipiente en condición corroída es:

$$P = \frac{SEt_n}{R + 0.6t_n} \quad (2)$$

$$P = \frac{16600 * 0,85 * 0,1875}{21,79 + 0.6 * 0,1875}$$

$$P = 120,79 [\text{psi}]$$

(b) *Esfuerzo longitudinal (juntas circunferenciales).*- cuando el espesor no excede la mitad del radio interno, o  $P$  no excede  $1,25SE$ , las siguientes ecuaciones aplican:

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} \quad (4)$$

ó

$$P = \frac{2SEt}{R - 0.4t} \quad (5)$$

$$P_{dis} < 1,25 * SE \quad (6)$$

$$14,65 < (1,25) * (16600) * (0,85)$$

$$14,65 < 17637,5$$

Por lo tanto:

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} + C/A \quad (4)$$

$$t = \frac{14,58 * 21,79}{(2 * 16600 * 0,85) + (0,4 * 14,58)} + \frac{1}{8}$$

$$t = 0,011[\text{pulg}] + \frac{1}{8}[\text{pulg}]$$

$$t = 0,136[\text{pulg}] * 25,4[\text{mm}]$$

$$t = 3,46[\text{mm}]$$

La presión máxima que soporta el recipiente en condición corroída es:

$$P = \frac{2SEt_n}{R - 0.4t_n} \quad (5)$$

$$P = \frac{2 * 16600 * 0,85 * 0,1875}{21,79 - 0,4 * 0,1875}$$

$$P = 243,67[\text{psj}]$$

El espesor mínimo requerido y la presión máxima que soporta el recipiente en condición corroída están dados por el esfuerzo circunferencial.

Aunque el espesor mínimo para la plancha que conforman el cuerpo del recipiente puede ser de 3,75 mm, por requerimiento del cliente la plancha que se utiliza para el recipiente de 650 GL es de 4,76 [mm] o de 3/16 [pulg].

$$t = 4,76[\text{mm}]$$

$$P_{\text{max}} = 120,79[\text{psi}]$$

La presión máxima que soporta el cuerpo del recipiente de 650 GL en condición corroída con plancha de 4,76 [mm] es:

$$P = \frac{2SEt}{R - 0.4t} \quad (5)$$

$$P = \frac{2 * 16600 * 0,85 * 0,0625}{21,85 - 0,4 * 0,0625}$$

$$P = 80,81[\text{psi}]$$

### 3.2.1.2 Cabezas Toriesféricas

“El espesor requerido para la cabeza toriesférica en donde el valor del radio interno del faldón ( $r$ ) es el 6% del valor del radio de la cabeza ( $L$ ) y donde ( $L$ ) es igual al diámetro exterior del recipiente está determinado por:”<sup>32</sup>

$$t = \frac{0,885PL}{SE - 0,1P} \quad (7) \quad \text{ó} \quad P = \frac{SEt}{0,885L + 0,1t} \quad (8)$$

“El valor del radio de la cabeza no debe ser mayor al diámetro exterior del faldón de la cabeza. El radio interno del faldón de la cabeza toriesférica no debe ser menor al 6% del diámetro exterior del faldón de la cabeza y en ningún caso menor a tres veces el espesor de la cabeza.”<sup>33</sup>

Ya que estos valores de  $L$  y  $r$  son más que nada teóricos, y por el tipo de maquinaria para el conformado de las cabezas que existe en nuestro medio y por las prácticas de construcción, los valores reales de  $L$  y  $r$  son:

$$\begin{aligned} L &= 0,9 * 1400 \\ L &= 1260 \text{ [mm]} = 4,13 \text{ [ft]} \approx 4 \text{ [ft]} \\ L &= 4 \text{ [ft]} = 48 \text{ [pulg]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r &= 0,15 * 1400 \\ r &= 210 \text{ [mm]} = 8,27 \text{ [pulg]} \approx 8 \text{ [pulg]} \\ r &= 8 \text{ [pulg]} \end{aligned}$$

En donde:

$$\frac{L}{r} = \frac{48}{8} = 6$$

---

<sup>32</sup> UG-32(e)

<sup>33</sup> UG-32 (j)

Las fórmulas que determinan el espesor de las cabezas toriesféricas cuando el valor de  $L/r$  es menor a  $16 \frac{2}{3}$  están dadas por el Pressure Vessel Handbook (PVH), pg. 20 y son:

$$t = \frac{PLM}{2SE + 0,2P} \quad (9) \quad \text{ó} \quad P = \frac{2SEt}{LM + 0,2t} \quad (10)$$

El factor M está determinado por la tabla en la pg. 20 del PVH, y es igual a 1,36; por lo tanto:

$$t = \frac{14,58 * 48 * 1,36}{(2 * 16600 * 0,85 + 0,2 * 14,58)} + \frac{1}{8}$$

$$t = 0,034[\text{pulg}] + \frac{1}{8}[\text{pulg}]$$

$$t = 0,159[\text{pulg}] * 25,4[\text{mm}]$$

$$t = 4,03[\text{mm}]$$

La presión máxima que soporta el recipiente en condición corroída es:

$$P = \frac{2 * 16600 * 0,85 * 0,034}{(48 * 1,36 + 0,2 * 0,034)}$$

$$P = 14,70[\text{psi}]$$

Por lo tanto el mínimo espesor de la plancha que conforman las cabezas toriesféricas y la máxima presión que soporta en condición corroída es:

$$t = 4,03[\text{mm}]$$

$$P_{\text{max}} = 14,70[\text{psi}]$$

Al igual que el cuerpo del recipiente, por requerimiento del cliente las cabezas toriesféricas son fabricadas con plancha de espesor de 4,76 [mm] o de  $\frac{3}{16}$  [pulg].

La presión máxima que soportan las cabezas toriesféricas del recipiente de 650 GL en condición corroída con plancha de 4,76 [mm] es:

$$P = \frac{2SEt}{LM + 0,2t} \quad (10)$$

$$P = \frac{2 * 16600 * 0,85 * 0,0625}{(48 * 1,36 + 0,2 * 0,0625)}$$
$$P = 27,01[\text{psi}]$$

### 3.3 Diseño de acuerdo al ASME Sección XII

#### 3.3.1 Diseño de Planchas

El diseño se lo hace de acuerdo a las fórmulas determinadas en la Sección XII del código ASME, Artículo TD-300<sup>34</sup>.

##### 3.3.1.1 Cuerpo Cilíndrico

De acuerdo al artículo TD-100.1<sup>35</sup>, a no ser que se indique en los Modal Apendices (aplicaciones especiales), el espesor mínimo permitido para cuerpos y cabezas después del conformado y sin importar el material y el producto que transporte debe ser de 1,6 mm o 1/16 pulg, sin considerar la corrosión admisible.

El espesor mínimo requerido o la presión máxima permisible de trabajo para cuerpos cilíndricos debe ser el mayor espesor o la menor presión dadas por las fórmulas de los artículos TD-300.2(a) o (b).

Las fórmulas de los artículos TD-302.2 de la Sección XII son las mismas del artículo UG-27 de la Sección VIII, por lo que el cálculo del cuerpo cilíndrico es el mismo para la Sección XII.

---

<sup>34</sup> Diseño para Presión Interna

<sup>35</sup> Sección XII

### 3.3.1.2 Cabezas Toriesféricas

El diseño del recipiente se lo ha hecho con cabezas toriesféricas, porque el equipo para realizar este tipo de conformado se lo encuentra con facilidad en nuestro país.

El espesor mínimo de una cabeza toriesférica dentro de:  $0,002 \leq t/L \leq 0,06$ , deberá ser el mayor espesor dado por las ecuaciones (7) y (8).

$$t = \frac{PLM}{2SE - 0,2P} \quad (11)$$

$$t = \frac{3PLKE_{RT}}{4S_a E_T} \quad (12)$$

Debido a las prácticas de construcción y por el tipo de maquinaria para el conformado de las cabezas que existen en el mercado local, se ha determinado que el valor de L es aproximadamente el 90% del diámetro exterior, y el valor de r es el 15% del diámetro exterior, es decir:

$$L = 0,9 * 1400$$

$$L = 1260 [\text{mm}] = 4,13 [\text{ft}] \approx 4 [\text{ft}]$$

$$L = 4 [\text{ft}] = 48 [\text{pulg}]$$

$$r = 0,15 * 1400$$

$$r = 210 [\text{mm}] = 8,27 [\text{pulg}] \approx 8 [\text{pulg}]$$

$$r = 8 [\text{pulg}]$$

Estos dependen de las diferentes matrices que se utilizan para dar la curvatura a la plancha.

Para determinar el valor de M en la tabla TD-310.2-1, es necesario determinar los valores de las siguientes relaciones:

$$t/L = 0,125/48 = 0,0026$$

$$r/D = 8/54,87 = 0,15$$

Con estos dos valores determinamos que el valor de  $M=1$

Por lo tanto:

$$t = \frac{PLM}{2SE - 0,2P} \quad (11)$$

$$t = \frac{14,58 * 48 * 1}{(2 * 16600 * 0,85) - (0,2 * 14,58)} + C/A$$

$$t = 0,025 \text{ [pulg]} + 1/8 \text{ [pulg]}$$

$$t = 0,150 \text{ [pulg]} * 25,4 \text{ [mm]}$$

$$t = 3,80 \text{ [mm]}$$

Para determinar el valor de  $k$  en la tabla TD-310.2-2, se ingresan también con los valores de las relaciones  $t/L$  y  $r/D$ .

$$t = \frac{3PLKE_{RT}}{4S_A E_T} \quad (12)$$

$$t = \frac{3 * 14,58 * 48 * 3,65 * 29500}{4 * 115000 * 29338,46} + C/A$$

$$t = 0,017 \text{ [pulg]} + 1/8 \text{ [pulg]}$$

$$t = 0,142 \text{ [pulg]} * 25,4 \text{ [mm]}$$

$$t = 3,60 \text{ [mm]}$$

El mayor valor es el que determina el espesor de las cabezas, es decir:

$$t = 3,80 \text{ [mm]}$$

Es importante mencionar que debido a la geometría de las cabezas toriesféricas, los cálculos generalmente indican un mayor espesor que el cilindro que conforma el cuerpo del recipiente. Lo contrario sucede con las

cabezas hemisféricas, los cálculos nos dicen que deben ser de menor espesor que el cuerpo.

Tabla 3.1 Cuadro comparativo de resultados entre Sección VIII y Sección XII.

<b>Sección</b>	<b>Espesor Min. Cuerpo</b>	<b>Presión Max. Cuerpo</b>	<b>Espesor Min. Cabezas T.</b>	<b>Presión Max. Cabezas T.</b>
VIII	3,75 [mm]	120,79 [psi]	4,03 [mm]	14,70 [psi]
XII	3,75 [mm]	120,79 [psi]	3,80 [mm]	N/A

### **3.4 Diseño de conexiones (purgas y venteos)**

Las purgas y venteos tienen el objetivo de evitar la elevación o disminución de sobre los límites de diseño del recipiente. Estos se pueden dar durante los procesos de llenado o vaciado por cambios en la temperatura ambiente, exposición al fuego, o errores en la operación. La forma de las aberturas que pueden ser circulares, elípticas o mixtas, es decir con dos lados paralelos y dos secciones semicirculares.

La Sección VIII y la Sección XII coinciden en sus artículos UG-36 (b) y TD-600.2 (a) respectivamente, en los límites para aberturas en las que en este caso no deben ser mayores a 20 (pulg) ó 508 (mm).

Para este caso específico las aberturas realizadas no necesitan refuerzos ya que se encuentran dentro de los límites del UG-36 (c)(3), el cual indica que si el recipiente no va a estar sometido a fluctuaciones de presión no necesita refuerzos si es que los orificios no son mayores a 3 ½" (89mm).

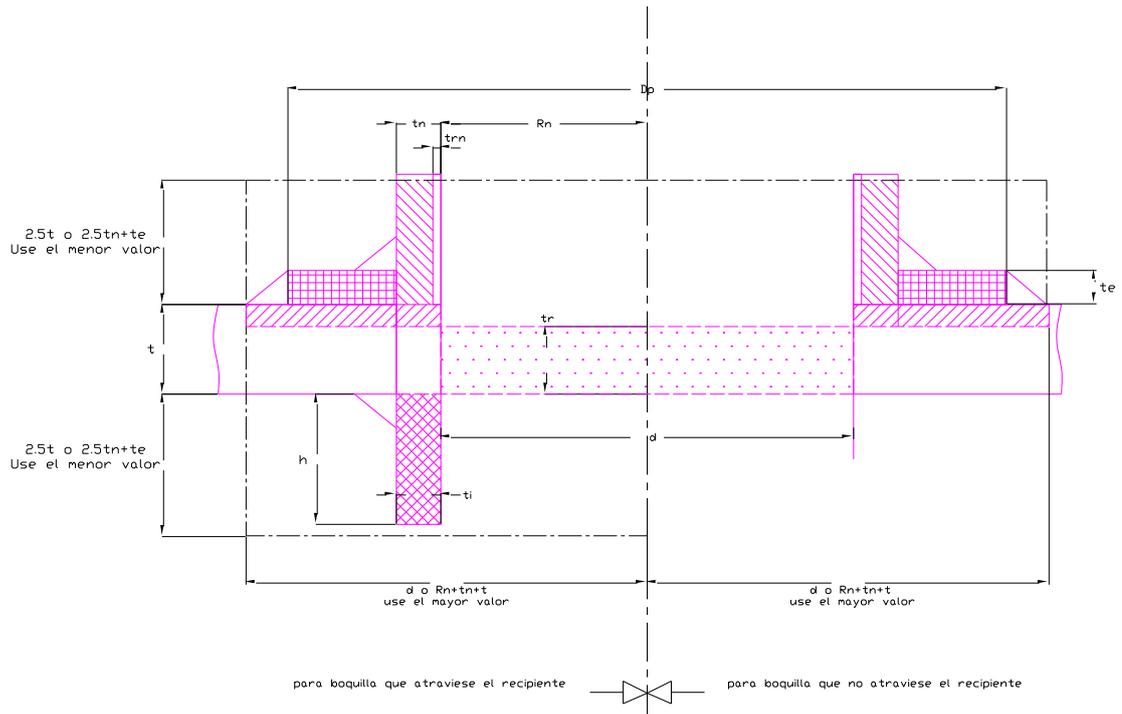
El criterio utilizado para la selección de boquillas para el recipiente de 650 GL va de acuerdo la funcionalidad y mantenimiento a la que el recipiente va a estar sometido.

A continuación se presenta una tabla que muestra las boquillas que lleva el recipiente, las cuales fueron aprobadas previamente por el cliente.

Tabla 3.2 Boquillas del recipiente de 650 GL

<b>Boquilla</b>	<b>Descripción</b>	<b>Diámetro</b>
A	Manhole	18"
B1	Medidor de Nivel Superior	1"
B2	Medidor de Nivel Inferior	1"
C	Ingreso de Combustible	3 ½"
D	Venteo	2"
E	Drenaje	2"
F	Salida de Combustible	1 ½"
G	Extra	2"
H	Extra	3 ½"

Ya que el recipiente de 650 GL tiene un manhole de 18 [pulg] de diámetro es necesario hacer el cálculo para determinar si este necesita refuerzo; aunque debido a la baja presión de operación se presume que no necesita refuerzo.



SIN REFUERZO

	$= A = dtrF + 2tntrF(1-fr1)$	AREA REQUERIDA
	$= A1 \begin{cases} = d(E1t-Ftr) - 2tn(E1t-Ftr)(1-fr1) \\ = 2(t+tn)(E1t-Ftr) - 2tn(E1t-Ftr)(1-fr1) \end{cases}$	AREA DISPONIBLE EN CILINDRO, USAR MAYOR VALOR
	$= A2 \begin{cases} = 5(tn-trn)fr2t \\ = 5(tn-trn)fr2t \end{cases}$	AREA DISPONIBLE EN PROYECCION EXTERNA DE BOQUILLA, USAR MENOR VALOR
	$= A3 \begin{cases} = 5t ti tr2 \\ = 5t ti fr2 \\ = 2h ti fr2 \end{cases}$	AREA DISPONIBLE EN PROYECCION INTERNA DE BOQUILLA, USAR MENOR VALOR
	$= A41 = (leg)^2 fr2$	AREA DISPONIBLE DE SOLDADURA EXTERNA
	$= A43 = (leg)^2 fr2$	AREA DISPONIBLE DE SOLDADURA INTERNA

Figura 3.1. Cálculo de Refuerzos

Para que la boca de 18(pulg) no requiera refuerzo se debe cumplir la siguiente relación:

$$A \leq A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} \tag{13}$$

En donde:

$$A = dt_r F + 2t_n t_r F(1 - f_{r1}) \quad (14)$$

$$A = (18 * 0,019 * 1) + 2 * 0,0625 * 0,019 * 1 * (1 - 1)$$

$$A = 0,342[\text{pulg}^2]$$

El valor de  $A_1$  debe ser el mayor valor entre las ecuaciones (15) y (16):

$$A_1 = d(E_1 t - Ft_r) - 2t_n(E_1 t - Ft_r)(1 - f_{r1}) \quad (15)$$

$$A_1 = 18(1 * 0,0625 - 1 * 0,019) - 2 * 0,0625(1 * 0,0625 - 1 * 0,019)(1 - 1)$$

$$A_1 = 0,783[\text{pulg}^2]$$

Para este caso específico el valor de  $t$  es igual al valor de  $t_n$

$$A_1 = 2(t + t_n)(E_1 t - Ft_r) - 2t_n(E_1 t - Ft_r)(1 - f_{r1}) \quad (15)$$

$$A_1 = 2(0,0625 + 0,0625)(1 * 0,0625 - 1 * 0,019) - 2 * 0,0625(1 * 0,0625 - 1 * 0,019)(1 - 1)$$

$$A_1 = 0,011[\text{pulg}^2]$$

El valor de  $A_2$  debe ser el menor valor entre las ecuaciones (18) y (19). En este caso como  $t$  es igual a  $t_n$ , el valor de  $A_2$  es el mismo. Por lo tanto:

$$t_m = \frac{PR}{SE - 0.6P} \quad (17)$$

$$t_m = \frac{14,58 * 9}{16600 * 0,85 - 0.6 * 14,58}$$

$$t_m = 0,0093$$

$$A_2 = 5(t_n - t_m) * f_{r2} * t \quad (18)$$

$$A_2 = 5(0,0625 - 0,0093) * 1 * 0,0625$$

$$A_2 = 0,017[\text{pulg}^2]$$

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) * f_{r2} * t_n \quad (19)$$

$$A_2 = 5(0,0625 - 0,0093) * 1 * 0,0625$$

$$A_2 = 0,017 [\text{pulg}^2]$$

El cálculo del área  $A_3$  para el recipiente de 650 GL es igual a cero porque la boca no pasa a través del recipiente. Ver figura 3.1.

$$A_{41} = A_{43} = (leg)^2 f_{r2} \quad (20)$$

$$A_{41} = A_{43} = \left(\frac{1}{8}\right)^2 * 1$$

$$A_{41} = A_{43} = 0,016 [\text{pulg}^2]$$

Por lo tanto el valor de A es igual a:

$$A \leq A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} \quad (13)$$

$$0,342 \leq 0,783 + 0,017 + 0,016 + 0,016$$

$$0,342 \leq 0,832$$

Todas las demás conexiones de este recipiente se las ha realizado con nipples de material A-106 B, con diferentes diámetros de acuerdo a la aplicación, pero no mayores a 3 ½" (89mm) de acuerdo al artículo UG-36 (c)(3) el cual dice que si el recipiente no va a estar sometido a fluctuaciones de presión no necesita refuerzos.

### 3.5 Cargas

Las cargas a las que un recipiente está sometido depende del uso que a este se le de y para el que está diseñado; ya sean fuerzas estáticas y dinámicas. Como este recipiente es fijo, no se consideran las cargas dinámicas.

Las cargas estáticas que se consideran para este recipiente son:

- Presión interna de diseño ( incluida cabeza hidrostática)
- Peso del recipiente en condiciones de operación o prueba

En las figuras 3.2, 3.3 y 3.4 se muestran la disposición de las planchas que conforman el recipiente, para facilitar el cálculo del volumen del acero. Para ello se toma en cuenta que la densidad del acero es de  $7,82 \text{ gr/cm}^3$ .

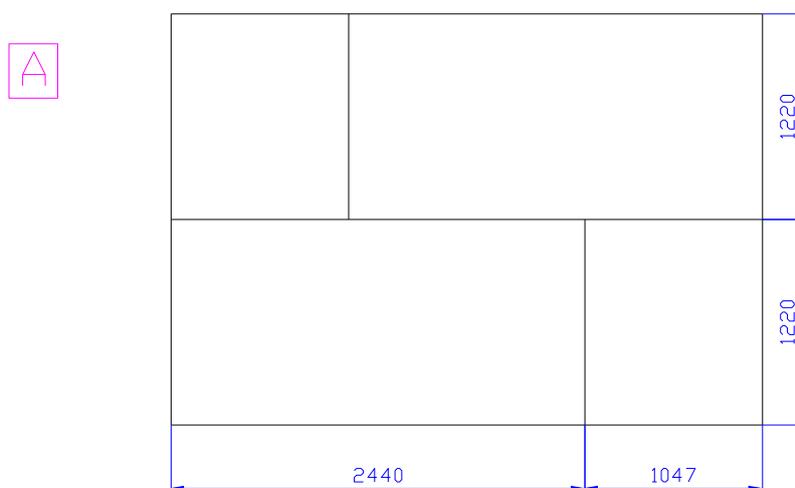


Figura 3.2. Distribución de las planchas del Cuerpo. Unidades en milímetros

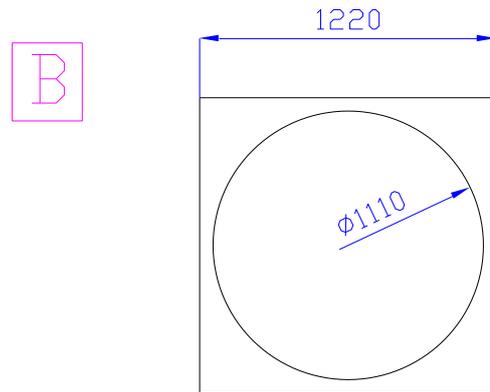


Figura 3.3. Distribución de las planchas que conforman las cabezas toriféricas. Unidades en milímetros

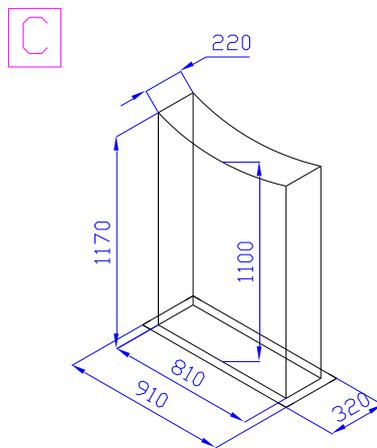


Figura 3.4. Sillas. Unidades en milímetros

$$\phi = 1110[\text{mm}] = 43,70 [\text{pulg}] = 3,64 [\text{ft}]$$

$$\text{Perimetro} = \pi * d = \pi * 1110 = 3487,17 [\text{mm}]$$

Como ya está determinado que el cuerpo y las cabezas están conformados con plancha de 3/16" (4,76 mm) de espesor, por lo tanto:

$$\mathbf{A:} \text{ Volumen} = 2440 * 3487 * 4,7625 = 0,041 \left[ \text{m}^3 \right]$$

**B:**

$$\text{Volumen} = 4,7625 * \frac{\pi * (1100)^2}{4} = 0,00467 \left[ \text{m}^3 \right] * 2 [\text{unidades}] = 0,0093 \left[ \text{m}^3 \right]$$

$$\mathbf{C:} \text{ Volumen} = 1170 * 810 * 4,7624 = 0,0044 \left[ \text{m}^3 \right] * 4 [\text{unid}] = 0,018 \left[ \text{m}^3 \right]$$

$$\text{Volumen} = 1170 * 220 * 4,7625 = 0,0012 \left[ \text{m}^3 \right] * 4 [\text{unid}] = 0,0049 \left[ \text{m}^3 \right]$$

$$\text{Volumen} = 910 * 320 * 4,7625 = 0,0014 \left[ \text{m}^3 \right] * 4 [\text{unid}] = 0,0055 \left[ \text{m}^3 \right]$$

$$\text{Vol. Total C} = 0,018 \left[ \text{m}^3 \right] + 0,0049 \left[ \text{m}^3 \right] + 0,0055 = 0,0281 \left[ \text{m}^3 \right]$$

$$\mathbf{A+B+C} = 0,041 + 0,0093 + 0,028 \left[ \text{m}^3 \right]$$

El peso del recipiente es:

$$m_1 = \rho * v = 7820 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] * 0,0784 \left[ \text{m}^3 \right]$$

$$m_1 = 613,08 [\text{kg}] = 1348,80 [\text{lb}]$$

Hay que recordar que el diesel o la gasolina son líquidos menos densos que el agua, y como debemos llenar el recipiente con agua para realizar la prueba hidrostática, se calcula el peso del recipiente lleno con agua. La densidad del agua es de 1000 kg/m<sup>3</sup>.

$$\text{vol}_{\text{max}} = 650 [\text{gl}] * 3,785 [\text{lt}] * \frac{1 [\text{m}^3]}{1000 [\text{lt}]} = 2,46 \left[ \text{m}^3 \right]$$

El peso del agua que contiene el recipiente es de:

$$m_2 = \rho * v = 1000 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] * 2,46 \left[ \text{m}^3 \right]$$

$$m_2 = 2460[\text{kg}] = 5412[\text{lb}]$$

El peso del recipiente lleno de agua es:

$$\text{peso} = m_1 + m_2 = 613,08 + 2460 = 3073,08[\text{kg}] = 6760,78[\text{lb}]$$

### 3.6 Diseño de sillas

Para el cálculo de los soportes o sillas se hacemos referencia al Pressure Vessel Handbook<sup>36</sup>. Para el diseño es importante tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- El recipiente debe estar soportado por al menos dos sillas.
- Debe resistir la fuerza  $F$  dada por el peso máximo en operación.
- El máximo esfuerzo permitido debe ser de 2/3 del esfuerzo admisible de compresión
- El mínimo ángulo de contacto debe ser de  $120^\circ$ .
- La soldadura debe cubrir todos los bordes en contacto con el recipiente.

Basado en estas consideraciones, las dimensiones de las sillas se encuentran ya tabuladas de acuerdo al diámetro del recipientes.

Para el recipiente de 650 GL las dimensiones son las siguientes:

Diámetro= 43,70 (pulg)

Peso= 6760,78 (lbs)

Espesor= 3/16"

Angulo de contacto=  $120^\circ$

K= 0,204

tabla (3.1)

$R/3 = 14,57 * 3/16" = 2,73 (\text{pulg})^2$

---

<sup>36</sup> 12th edition, Pg.100

La fuerza  $F$  que debe resistir la sección efectiva de la silla es:

$$F = Q * K$$

$$F = 6667,9(\text{lbs}) * 0,204$$

$$F = 1360,25(\text{lbs})$$

La sección efectiva es  $R/3$ , por lo tanto

$$\frac{1360,25}{2,73} = 498,26 \left( \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} \right)$$

El esfuerzo admisible del material es:  $2/3 * 30000 = 20000$  (psi)

$$498,26 \text{ psi} < 20000 \text{ psi}$$

Esto quiere decir que la capacidad de las sillas para soportar el peso del recipiente lleno está muy lejos del límite. Además, la geometría de las sillas construidas para el recipiente de 650 GL es más resistente que considerada para el diseño, la cual se muestra en la figura 3.5.

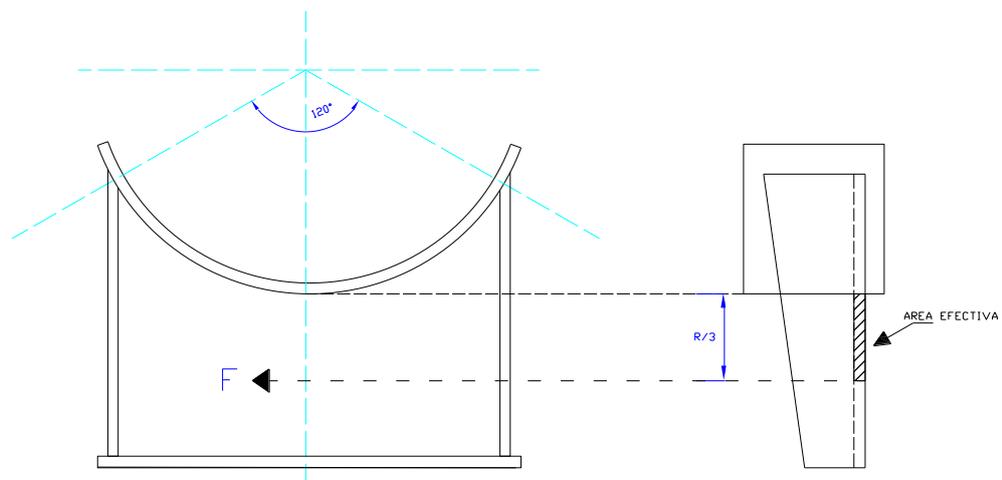


Figura 3.5. Diseño básico de Sillas

### 3.7 Diseño del cimiento de hormigón

El diseño de la losa de hormigón que soporta al recipiente se lo hace de acuerdo al peso de este. A continuación se muestra el cálculo de la mínima resistencia de la losa, tomando en cuenta el área solo donde asientan las sillas:

$$\begin{aligned}P &= 6760,78[\text{kg}] \\ \text{Area} &= 910 * 320[\text{mm}] \\ \text{Area} &= 0,29[\text{m}^2] * 2 \\ \text{Area} &= 0,58[\text{m}^2] \\ \text{Resistencia} &= \frac{6760,78[\text{kg}]}{0,58[\text{m}^2]} \\ \text{Resistencia} &= 11656,52 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right] = 1,16 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]\end{aligned}$$

Por requerimiento del cliente la losa es realizada con las siguientes dimensiones: 2140x1600 (mm), por lo tanto:

$$\begin{aligned}P &= 6760,78[\text{kg}] \\ \text{Area} &= 2140 * 1600[\text{mm}] \\ \text{Area} &= 3,42[\text{m}^2] \\ \text{Resistencia} &= \frac{6760,78[\text{kg}]}{3,42[\text{m}^2]} \\ \text{Resistencia} &= 1976,83 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right] = 0,19 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]\end{aligned}$$

Por procedimiento mandatorio interno de la empresa, la resistencia de las losas para montajes mecánicos no debe ser menor a 210 (kg/cm<sup>2</sup>), ya que se toma en cuenta además otro tipo de cargas como viento, sísmicas y tipo de terreno; por lo que se puede decir que la losa está sobredimensionada.

El plano del cimiento se encuentra adjuntado a los anexos (PRO-070-05)

### **3.8 Listado de Materiales (MTO)**

La lista de materiales también llamada MTO, se la realiza en base al diseño y a los cálculos realizados, lo que nos da las cantidades que se va a requerir.

A más de la lista de los materiales que conformarán el recipiente, hay una lista de fungibles (materiales que se consumen, ejemplo: electrodos, guantes, gratas, discos de corte, etc.), los cuales deben ser tomados en cuenta para la evaluación económica del proyecto.

Es importante clasificar o dividir los materiales de acuerdo al área para los que son requeridos, por ejemplo: planchas (área mecánica), manómetro (instrumentación).

El MTO que aplica a este proyecto se encuentra adjunto al Procedimiento de Diseño como registro *CM.751.RGO.05*

## **CAPITULO IV**

### **PREFABRICACIÓN, MONTAJE Y ACABADO**

#### **4.1 Prefabricación**

La prefabricación del recipiente quiere decir la conformación de las partes de este, es decir el rolado de las planchas que conforman el cuerpo, el conformado de las cabezas toriesféricas, la construcción de sus accesorios como boquillas, manhole, sillas o soportes, etc, y todos los subprocesos relacionados.

Todo este proceso empieza una vez aprobado por el cliente el registro conocido *Hoja de Datos DI.751.RGO.04*, el cual es el resultado del diseño realizado. Contiene información como datos de diseño, especificaciones de materiales, requerimientos del cliente y un esquema sobre la forma o geometría del recipiente.

El supervisor o Jefe de Taller debe empezar con la prefabricación del recipiente una vez que se le entregue este registro y los planos aprobados para construcción, y además disponga de los materiales en sitio.

#### **4.1.1 Corte de planchas mediante oxicorte**

Los gases en estado comprimido son en la actualidad prácticamente indispensables para llevar a cabo la mayoría de los procesos de soldadura. Por su gran capacidad inflamable, el gas más utilizado es el acetileno que, combinado con el oxígeno, es la base de la soldadura oxiacetilénica y oxicorte, el tipo de soldadura por gas más utilizado.

Por otro lado y a pesar de que los recipientes que contienen gases comprimidos se construyen de forma suficientemente segura, todavía se producen muchos accidentes por no seguir las normas de seguridad relacionadas con las operaciones complementarias de manutención, transporte, almacenamiento y las distintas formas de utilización.

El importante tomar en cuenta los riesgos y factores de riesgo asociados a los trabajos de soldadura oxiacetilénica y oxicorte, las operaciones de almacenamiento y manipulación de botellas.

Para minimizar la cantidad de cortes en las planchas que conforman el cuerpo, se ha utilizado uno de los tamaños estándar de las planchas disponibles en el mercado (2440 X 1220 mm), lo cual nos da solamente dos cortes para completar el perímetro del cuerpo.

Para el corte de las cabezas toriesféricas se utiliza una plancha de las mismas dimensiones (2440 X 1220) y se la corta por la mitad, luego se traza la circunferencia utilizando un compás, tomando en cuenta la ceja la cual va unida al cuerpo, aproximadamente 3 " (75 mm). Este corte se lo realiza manualmente y debe ser realizado por una persona hábil para evitar errores en el corte.

La tolerancia para todos los cortes mediante este proceso es de  $\pm 5$  mm; este valor queda a consideración del diseñador, ya que el tipo de boquilla utilizada es la estándar, la cual nos da una tolerancia de  $\pm 3$  mm.

#### **4.1.2 Rolado del Cuerpo**

El rolado de las planchas que conforman el cuerpo de un tanque se lo realiza por medio de máquinas llamadas *roladoras*, las cuales están compuestas principalmente por rodillos de acero por los cuales pasa el material a ser roldado como planchas o perfiles.

Existen máquinas roladoras de diferentes capacidades, el uso de estas depende principalmente del tamaño y espesor de los elementos a ser roldados.

Previo el rolado de las planchas del recipiente de 650 GL, se realiza el proceso de soldadura de los pedazos cortados previamente para completar el perímetro, el cual da el diámetro determinado en los planos aprobados para construcción. El procedimiento de soldadura se lo realiza de acuerdo al registro llamado *WPS (CM.751.RGO.01)*.

Como verificación del proceso de rolado es importante hacer una medición de las diagonales de las planchas a ser roldadas, determinando la diferencia entre estas la cual no debe ser mayor a 3 mm, porque si lo es, afectaría la geometría del tanque y la unión con las cabezas.

El primer paso en el proceso de rolado de planchas es el doblado de las puntas, es decir, rolar los ambos extremos aproximadamente 500 mm, lo cual

facilita el cierre de la circunferencia y ahorra tiempo al disminuir la cantidad de pasadas por los rodillos.

Por la capacidad de carga de la máquina utilizada el proceso se lo realiza en aproximadamente seis pases. Para comprobar que la curvatura de la plancha sea la correcta se recomienda utilizar una plantilla de madera previamente fabricada con la cual se comprueba la curvatura que deberá tener el recipiente.

Finalmente, es recomendado soldar puntos para evitar que durante el transporte o almacenamiento de las planchas se doblen exageradamente y pierdan su curvatura.

#### **4.1.3 Conformado de Cabezas**

Los recipientes sometidos a presión pueden estar contruidos por diferentes tipos de tapas o cabezas. El uso de cada una de estas debe ser criterio del diseñador, tomando en cuenta factores de operación y costo.

Las cabezas o tapas toriesféricas son las de mayor aceptación en la industria de construcción de tanques horizontales, debido a su bajo costo y a que son capaces de soportar grandes presiones manométricas. Su característica principal es que el radio de abombado (L), es aproximadamente igual al diámetro.

Se las puede fabricar en diámetros desde 0,3 hasta 6 mts (11,8 – 236,22 pulg).

Una vez realizado el corte en blanco, es decir tomando en cuenta el tamaño de la ceja, se procede a realizar el bombeado utilizando un prensa hidráulica; la cual mediante una matriz de forma semicircular en ambos lados va dando la forma deseada a la plancha mediante movimientos repetitivos hasta lograr la curvatura deseada en toda la superficie. Este proceso dura aproximadamente 20 a 30 minutos cada una.

Para la conformación del faldón se realiza una perforación en el centro de la cabeza de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro para asegurar a la rebordeadora, la cual gira y mediante dos matrices de forma elíptica va doblando el borde de la plancha circular hasta formar la ceja requerida de aproximadamente 2", la cual irá soldada al cuerpo del recipiente. Las matrices elípticas son previamente seleccionadas para que el radio de rebordo (r) sea el requerido de acuerdo al diseño.

#### **4.1.4 Biselado**

El proceso de biselado se lo realiza previo al proceso de soldadura, es decir el biselado es la preparación de las superficies a ser soldadas.

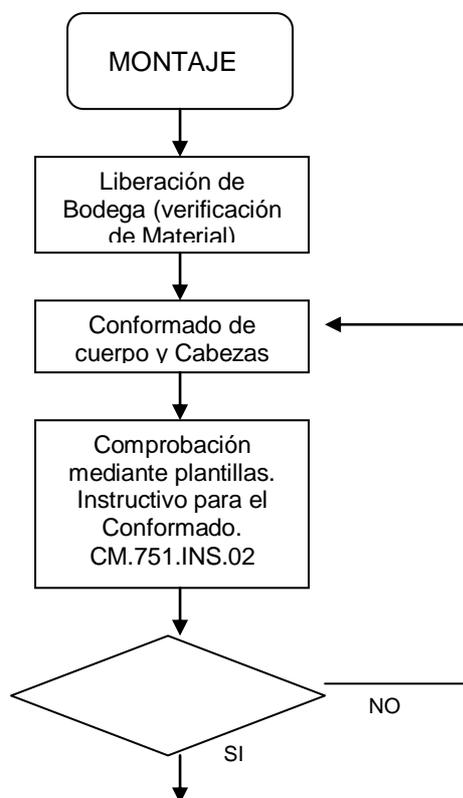
De acuerdo al tipo de unión que se realiza entre los elementos como planchas, perfiles o tubería, se prepara el bisel que puede ser de diferente tipo como por ejemplo: a tope o filete.

En este caso en que la soldadura es a tope, solamente se limpian los bordes de las planchas por medio de esmeril con disco de desbaste, con el fin de limpiar la superficie a ser soldada de cualquier impureza.

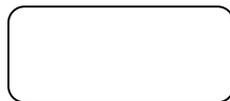
Una vez realizado el primer pase conocido como pase en caliente, se realiza un pequeño bisel con disco de desbaste para limpiar el cordón de soldadura antes del segundo pase. De igual forma entre cada pase se realiza una limpieza por medio de grata metálica.

## **4.2 Diagrama de Montaje**

El objetivo del diagrama de montaje es mostrar de forma clara la secuencia de los procesos relacionados con la construcción del recipiente de 650 GL, y la verificación de estos de acuerdo al QA/QC.



Cumple  
Dimensiones?



#### **4.2.1 Soldadura**

Es de gran importancia determinar el tipo de electrodo a utilizar en un proceso de soldadura, esto depende básicamente de las condiciones del proceso, del material base y de la aplicación.

Para entender de mejor manera la clasificación de los electrodos y como se los puede identificar fácilmente en el mercado; a continuación se presenta la clasificación AWS<sup>37</sup> de los electrodos para soldadura de aceros al carbono.

---

<sup>37</sup> American Welding Society

La clasificación está conformada por la letra E seguida de cuatro o cinco dígitos cuyo significado es el siguiente:

- E significa electrodo
- Los dos primeros dígitos en la clasificación de cuatro dígitos o los tres primeros en la clasificación de cinco representan la mínima resistencia a la tracción del depósito de soldadura medida en KSI (miles de PSI).
- El tercer dígito en la clasificación de cuatro o el cuarto dígito en la clasificación de cinco dígitos indica la posición de soldadura para la cual se diseñó el electrodo.
- El último dígito indica el tipo de revestimiento del electrodo, la corriente y la polaridad que deben utilizarse.

Cuadro 4.1 Sistema de Clasificación AWS

ELECTRODO	
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN MILES DE PSI	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. PLANA, HORIZONTAL, VERTICAL, SOBRECABEZA</li> <li>2. PLANA Y HORIZONTAL</li> <li>4. PLANA, HORIZONTAL, VERTICAL DESCENDENTE</li> </ol>	
<b>TIPO DE REVESTIMIENTO, CORRIENTE Y POLARIDAD</b> DIGITO    TIPO DE REVESTIMIENTO    CORRIENTE    POLARIDAD	

0	Celulosa con Sodio	CD	(+)	
1	Celulosa con Potasio	CA o CD	(+ o -)	
2	Rutilo con Sodio	CA o CD	(-)	
3	Rutilo con Potasio	CA o CD	(-)	
4	Rutilo con Polvo de Hierro	CA o CD	(+ o -)	
5	De bajo Hidrógeno con sodio	CD	(+)	
6	De bajo Hidrógeno con Potasio	CA o CD	(+)	
7	Hierro en Polvo y óxidos de Hierro	CA o CD	(+ o -)	
8	Bajo hidrógeno con polvo de Hierro	CA o CD	(+)	

El criterio para la determinación del tipo de electrodo adecuado para la soldadura del recipiente de 650 GL, está basado en la información del catálogo de electrodos Lincoln; del cual se determina que las mejores opciones son:

- E6010, y
- E6011
- E6013 (para las sillas)

Estos dos tipos de electrodos son recomendados por el fabricante para soldadura en tubería, recipientes a presión, tanques, estructuras en puentes y montajes en general; soldadura en campo y especialmente para cordones de raíz, pases en caliente y pases en relleno. También permite soldar en todas las posiciones.

Por la disponibilidad en taller se ha utilizado entonces electrodo E6010 de 1/8" (3,25mm) para soldar las planchas y acoples del recipiente de 650 GL.

Para los dos soportes del tanque se ha utilizado electrodo E6013 de 1/8" (3,25mm) ya que su aplicación es más estructural o carpintería metálica.

De acuerdo al procedimiento de soldadura para el recipiente de 650 GL se han realizado cuatro pases. Por el lado exterior primero el pase de raíz, luego el pase en caliente y finalmente un pase de acabado. Por el lado interior, previa una limpieza con grata se realiza un pase de acabado. Toda esta información está dada por el WPS (PROCOP.09.001), anexo al Procedimiento para trabajos de Soldadura con código (CM.751.PRO.01).

## **4.3 Ensayos no Destructivos**

### **4.3.1 Requerimientos para Radiografía**

Ya que el diseño se hizo tomando en cuenta el valor de eficiencia de la junta (E) spot, es decir con un valor de 0,80; el código ASME habla de los requisitos en el párrafo UW-12(b) RT-2<sup>38</sup>.

Para la realización de los ensayos por radiografía la empresa PROCOPET SA subcontrata este proceso ya que no cuenta con los equipos necesarios para este tipo de ensayos; para ello hacer referencia al Procedimiento para la contratación de ensayos no destructivos (CM.751.PRO.05).

La mínima extensión de un “spot” a examinar por RT debe incluir:

- Un “spot” (punto) de 6” (1,83 mts) por cada incremento de soldadura de 50’ (15,24 mts) o fracción de este.
- Cada incremento de 50’ debe incluir un número suficiente de puntos para examinar el trabajo de cada soldador.
- La localización del “spot” a ser RT debe ser escogido por el Inspector de Soldadura.

Bajo este criterio para el caso específico del recipiente de 650 GL, y tomando en cuenta que las uniones entre verticales y horizontales o comúnmente llamadas “T” son puntos críticos en los que suele producirse fallas de la soldadura como poros o picaduras; se han tomado las placas en dos uniones del recipiente, lo que cubre el requerimiento del código.

### **4.3.2 Requerimientos para Pruebas de Presión**

---

<sup>38</sup> Eficiencia de las Juntas

Las pruebas de presión en recipientes deben ser realizadas una vez finalizada la construcción, y pueden ser hidrostáticas o neumáticas.

- ✓ **Hidrostáticas.-** “Los recipientes diseñados para presión interna deben ser sometidos a una presión de prueba hidrostática de 1,3 veces la presión máxima permisible de trabajo, multiplicado por un factor determinado por la relación entre los esfuerzos a la temperatura de prueba sobre la temperatura de diseño (En este caso los valores son iguales a ambas temperaturas por lo que el factor es igual a 1).”<sup>39</sup>

El tiempo bajo el cual el recipiente debe estar sometido a la presión de prueba no es determinante para la aceptación o rechazo de la prueba. Este puede ser convenido entre el constructor y el cliente, y se sugiere que no sea menor a 1 hora.

“Seguidamente de la realización de la prueba hidrostática, es recomendado realizar una inspección visual de las juntas. La inspección debe ser realizada a una presión no menor que la presión de prueba dividido para 1,3. Esta inspección debe realizarse con el recipiente libre de materiales o líquidos peligrosos.”<sup>40</sup>

Si existe alguna fuga es permitido la reparación de esta, pero la prueba debe realizarse nuevamente como la primera vez.

- ✓ **Neumáticas.-** Este tipo de prueba debe realizarse en recipientes en los que:
  - Su diseño no les permita soportar el peso de este lleno de agua,
  - Si no es posible o pueden quedar residuos de agua que afecten su correcto funcionamiento una vez en servicio.

---

<sup>39</sup> ASME XII, TT-210 (a)(1)

<sup>40</sup> ASME XII, TT-210 (a)(5)

Los recipientes sometidos a prueba de presión neumática deben cumplir con los requerimientos enunciados en TE-240.1<sup>41</sup>, antes de la prueba.

La presión de prueba neumática debe ser por lo menos igual a 1,1 veces la presión máxima permisible de trabajo, multiplicado por un factor determinado por la relación entre los esfuerzos a la temperatura de prueba sobre la temperatura de diseño (En este caso los valores son iguales a ambas temperaturas por lo que el factor es igual a 1).<sup>42</sup>

“La presión en el recipientes debe ir aumentando gradualmente a no más de la mitad de la presión de prueba”<sup>43</sup>. Es recomendado que este aumento se lo haga en pasos de 1/10 de la presión de prueba hasta llegar a esta.

De igual forma se debe realizar una inspección visual de los cordones de soldadura; para ello se debe disminuir la presión a la presión de prueba dividido para 1,1.

Si existe alguna fuga es permitido la reparación de esta, pero la prueba debe realizarse nuevamente como la primera vez.

Al recipiente de 650 GL se le ha realizado una prueba hidrostática ya que debido a su geometría y construcción está en capacidad de soportar altas presiones. La prueba se la realizó por una hora y los pasos están determinados por el *Procedimiento para Prueba Hidrostática (CM.751.PRO.04)*, anexo al Manual de Procesos.

## **4.4 Acabado**

### **4.4.1 Sandblasting**

---

<sup>41</sup> Examinación de soldadura por Tintas Penetrantes o Partículas Magnéticas

<sup>42</sup> ASME XII, TT-210 (b)(3)

<sup>43</sup> ASME XII, TT-210 (b)(6)

El proceso final en la construcción de recipientes de almacenamiento es el de acabado, es decir, la protección que se le da al tanque para evitar principalmente daños como la corrosión.

Para ello al proceso de acabado se lo divide en dos subprocesos: el sandblasting y la pintura. El sandblasting es la preparación o la limpieza de la superficie previo al revestimiento y/o pintura. La efectividad del revestimiento depende principalmente de la preparación de la superficie. En este proceso se debe remover todo el material extraño para permitir la adhesión adecuada del revestimiento y/o pintura.

El sandblasting consiste en hacer chocar un chorro de arena o chorro abrasivo contra la superficie, para eliminar las sustancias extrañas sobre esta y darle un acabado deseado, con la finalidad de aumentar de esta forma la adhesividad. Los chorros aplicados deben efectuarse con suficiente impulso como para lograr el efecto deseado, para ello como parte importante del equipo se utiliza un compresor de aire, el cual impulsa estas partículas a una velocidad de entre 65 – 110 m/seg.

Existen varios tipos de materiales que pueden utilizarse como abrasivos, como por ejemplo: arena, aluminio, siliconas, vidrio, granalla mineral natural (black beauty), plásticos, etc; la utilización de estos depende del tipo de material que se va a sanblastear.

El método más utilizado en la preparación de superficies para planchas y tuberías de acero es el black beauty. Este método con la ayuda del equipo adecuado nos da acabados SSPC-SP-5 y SSPC-SP-10.

A continuación se muestra la tabla de acabados de acuerdo a la SSPC<sup>44</sup>.

---

<sup>44</sup> Consejo de Pinturas para Estructuras de Acero (siglas en inglés)

Tabla 4.1 Especificaciones para Preparación de Superficies

<b>ESPECIFICACION &amp; METODO</b>	<b>PROPOSITO</b>
SSPC-SP-1 Limpieza mediante Solventes	Limpieza de aceite, suciedad, tierra, sales, contaminantes mediante solventes, vapor, álcali o emulsiones.
SSPC-SP-2 Limpieza a Mano de Herramientas	Remoción de óxido flojo, incrustaciones flojas y pintura floja, al grado especificado, mediante cincelado a mano, raspado, lijado y cepillado.
SSPC-SP-3 Limpieza con Herramientas Eléctricas	Remoción de óxido flojo, incrustaciones flojas y pintura floja, al grado especificado, mediante cincelado, raspado, lijado, cepillado y esmerilado, con herramientas eléctricas.
SSPC-SP-4 Limpieza de Acero con Fuego	Deshidratado y remoción de óxido, incrustaciones flojas y algunas duras,

	mediante el uso de fuego, seguido de un cepillado.
SSPC-SP-5 Limpieza Abrasiva de Metal Blanco	Remoción del óxido visible, incrustaciones, pintura, y material ajeno mediante abrasión, con moladora o boquilla (seca o húmeda), usando arena o granalla. Para atmósferas muy corrosivas, en donde se justifique un alto costo de limpieza, fuertemente adheridas de óxido.
SSPC-SP-6 Limpieza Abrasiva Comercial	Limpieza abrasiva hasta que por lo menos dos tercios de la superficie de cada elemento esté libre de todo residuo visible. Para condiciones severas de exposición.
SSPC-SP-7 Limpieza Abrasiva de Cepillado	Limpieza abrasiva de todo excepto residuos de incrustaciones escamaduras, y la exposición en el revestimiento de un gran número de partículas del metal subyacente distribuidas uniformemente.
SSPC-SP-8 Baños Ácidos	Limpieza completa de óxido y escamaduras mediante baños ácidos, dúplex o electrolíticos. Puede acondicionar la superficie.
SSPC-SP-9 Interperización con Limpieza Abrasiva	Interperización para remover todo o parte de las escamaduras o incrustaciones, seguido por las normas de abrasión conforme sean requeridas.
SSPC-SP-10 Limpieza Abrasiva Casi-Blanca	Limpieza abrasiva cercana a la Limpieza Abrasiva de Metal Blanco, hasta que siquiera un 95% de la superficie de cada elemento esté libre de residuos visibles. Para ambientes de elevada humedad, medio ambiente químico, marino u otros ambientes corrosivos.

La granalla mineral es el material que la empresa utiliza para el proceso de sanblasting. Por su forma angular permite obtener los mejores perfiles de rugosidad superficial del acero que asegura el anclaje del recubrimiento.

Este material no contamina el ambiente. Es procesado bajo un estricto control de calidad que garantiza la uniformidad de los tamaños de grano cumpliendo con la especificación E-11 ASTM. Su estructura es dura, lo cual no permite que no se rompa fácilmente al impacto.

Los diferentes tamaños de grano que se encuentran en el mercado local son, y los anclajes que se pueden lograr se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.2 Tamaños de Grano y Perfil de Anclaje

Tamaño (mm)	0,5	1	1,5	2	2,5	Nominal
Perfil de anclaje (micras)	15	50	75	100	125	Referencial

La granalla mineral o Black Beauty, es un material que no necesita secado y puede ser manipulado directamente desde la funda a la tolva. No es inflamable ni explosivo y es estable bajo condiciones normales de almacenamiento y transporte.

El equipo que debe utilizar el operador o el sanblastero consta de:

- Casco especial
- Distribuidor de aire
- Arnés
- Visores
- Soporte de láminas
- Láminas protectoras
- Cuello
- Capa
- Cinturón con válvula reguladora
- Tubo de ingreso
- Manguera de alimentación de aire
- Botas de seguridad
- Acople rápido

El rendimiento de la granalla puede variar de acuerdo al uso, lo cual se puede medir de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Presión de operación
- Forma y medida de la boquilla
- Como la granalla es reciclable, depende del número de recicladas

- El rendimiento práctico aproximado (teórico) de una funda de 100 lbs. es desde 1,5 a 3,15 m<sup>2</sup>/ funda.

#### 4.4.2 Pintura

Debido a la actividad de la empresa PROCOPET SA en la construcción y montaje de facilidades petroleras, en el proceso de pintura se utilizan productos de marca AMERON<sup>45</sup>, productos disponibles en el mercado nacional, los cuales son utilizados a nivel mundial para este propósito.

Por procedimiento interno de la empresa para el proceso de pintura en facilidades petroleras se utilizan los siguientes productos, con sus respectivas especificaciones:

Tabla 4.3 Tipos de Pinturas utilizadas

<b>EXTERIOR</b>				
<i>PREPARACION: SSPC 10</i>				
<b>CAPAS</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>ESPECIFICACION</b>	<b>DILUYENTE</b>	<b>ESPESOR (mils)</b>
1ra.	AMERON	DIMERCOAT 9	AMERCOAT 65	3
2da.	AMERON	AMERCOAT 385	AMERCOAT 65	5
3ra.	AMERON	AMERCOAT 450 HS	AMERCOAT 923	2

<sup>45</sup> Ameron International (Acabados y Recubrimientos)

<b>INTERIOR</b>				
<i>PREPARACION:</i> SSPC 5				
<b>CAPAS</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>ESPECIFICACION</b>	<b>DILUYENTE</b>	<b>ESPESOR (mils)</b>
1ra.	AMERON	AMERCOAT 91	AMERCOAT 65	4
2da.	AMERON	AMERCOAT 91	AMERCOAT 65	4
3ra.	AMERON	AMERCOAT 91	AMERCOAT 65	4

## **4.5 Salud y Seguridad del Ambiente de Trabajo (HES)**

### **4.5.1 Introducción sobre el Trabajo y Salud**

El trabajo es una actividad humana encaminada a conseguir el desarrollo mental y social del individuo, mejorando su calidad de vida y generando una satisfacción personal.

Junto a esta influencia positiva sobre la salud, existe otra negativa, ya que la ejecución de un trabajo implica la posibilidad de que nuestra salud sufra daños debido a las diversas condiciones en las que se desarrollan ciertas actividades laborales.

“La *salud* se define como el estado de completo bienestar físico, mental y social y no solamente como la ausencia de enfermedad”<sup>46</sup>.

Si relacionamos esta definición con lo expuesto en el punto anterior, resulta evidente que el trabajo y la salud están estrechamente vinculados.

### **4.5.2 Condiciones de Trabajo**

El constante desarrollo de las tecnologías han generado el empleo de nuevas máquinas, nuevas materias primas o materiales y una división de

<sup>46</sup> Según la Organización Mundial del a Salud

tareas. Esto origina que las condiciones de trabajo en que se desarrollan las actividades laborales estén evolucionando continuamente.

“Se entiende como *condición de trabajo* cualquier característica del mismo que pueda tener una influencia significativa en la generación de riesgos para la seguridad y la salud de los trabajadores”<sup>47</sup>.

Son condiciones de trabajo:

- Las características de los locales, instalaciones, equipos, productos y demás útiles existentes en el centro de trabajo.
- La naturaleza de los agentes físicos, químicos y biológicos presente sen el ambiente de trabajo.
- Los procedimientos para la utilización de los agentes citados anteriormente que influyan en la generación de los riesgos mencionados.
- Todas aquellas otras características del trabajo, incluidas las relativas a su organización y ordenación, que influyan en la magnitud de los riesgos a que esté expuesto el trabajador.

### **4.5.3 Técnicas de Prevención**

Una vez identificados y valorados los distintos factores de riesgo presente sen el medio laboral, se puede planificar un conjunto de medios humanos y materiales con el fin de garantizar la adecuada protección del trabajador.

Se definen como *técnicas de prevención* al conjunto de medidas y actividades adoptadas o prevista sen todas las fases de actividad del a empresa, con el fin de evitar o disminuir los riesgos derivas del trabajo.

---

<sup>47</sup> Según el Art 4, Ley 31/1995, de Prevención de riesgos Laborales

Las técnicas específicas de la prevención de riesgos laborales son las siguientes:

- Seguridad en el trabajo
- Higiene laboral
- Medicina del trabajo
- Psicosociología
- Ergonomía

Durante el desarrollo de este proyecto, así como en todas las actividades de construcción que la empresa realiza diariamente se trata de cumplir o aplicar todas estas técnicas para la prevención de riesgos.

La seguridad mediante el conocimiento de cada persona mediante charlas semanales y la utilización de EPP<sup>48</sup> es obligatorio. La limpieza y el orden del sitio de trabajo es responsabilidad de cada persona, la cual es monitoreada permanentemente por el Jefe de Taller.

La mayoría de proyectos realizados en campo, cuentan permanentemente con un médico, el cual tiene la obligación de velar por la salud y comodidad de cada persona. Otra de las tareas del médico del proyecto es apoyar en la charlas de seguridad industrial que se da al personal diariamente.

#### **4.5.4 Evaluación de los Riesgos Laborales**

Se denomina evaluación de los riesgos laborales al proceso de determinación de la magnitud de aquellos riesgos que no se pueden evitar, obteniendo la información necesaria para que el empresario tome una decisión apropiada sobre la necesidad de adoptar medidas preventivas y, en tal caso, acordar el tipo de actuaciones que deben adoptarse.

El procedimiento que hay que seguir en la evaluación de los riesgos laborales podemos basarlo en los siguientes puntos:

---

<sup>48</sup> Equipo de Protección Personal

- **Clasificación de las actividades de trabajo**

Se trata de agrupar todas las actividades que se desarrollen en la empresa para obtener todas las informaciones precisas sobre cada una de ellas.

- **Análisis de Riesgos**

Es la utilización de la información obtenida para identificar los posibles peligros y estimar los riesgos para la seguridad y la salud de los trabajadores. Los pasos a seguir dentro de este punto serían:

- ✓ Identificación de los elementos peligrosos en cada actividad de la empresa, determinando los riesgos que ocasionan.
- ✓ Valoración de los riesgos, que permite establecer diferentes niveles entre ellos, teniendo en cuenta la probabilidad de que ocurran y las consecuencias que puedan generar. Para realizar esta clasificación describiremos en primer lugar, las variables de probabilidad y consecuencias.

Las probabilidades se podrán establecer en altas, medias o bajas.

Las consecuencias se podrán determinar teniendo en consideración la naturaleza del daño, clasificándolo como:

- ✓ Ligeramente dañino (cortes, magulladuras, irritación de ojos, es decir daños superficiales).
- ✓ Dañino (quemaduras, conmociones, torceduras y fracturas menores, sordera, asma, trastornos músculo-esqueléticos, es decir, heridas graves y enfermedades que conduzcan a una incapacidad menor).

- ✓ Extremadamente dañino (amputaciones, fracturas mayores, intoxicaciones, lesiones múltiples, es decir, enfermedades o heridas que pongan en peligro o puedan acortar la vida).

Cuadro 4.2 Valoración de Riesgos

<b>RIESGO</b>	<b>TIPO DE ACCIÓN Y DISTRIBUCIÓN TEMPORAL</b>
Trivial	No se requiere acción específica
Tolerable	No se necesita mejorar la acción preventiva, pero sí considerar soluciones más rentables o ligeras mejoras.
Moderado	Se debe reducir el riesgo implantando medidas en un tiempo determinado. Cuando esté asociado con consecuencias extremadamente dañinas, se precisará una acción posterior para determinar la

	necesidad de mejora de las medidas de control.
Importante	No debe comenzarse el trabajo hasta que se haya reducido el riesgo. Si el trabajo se está realizando debe remediarse el problema en un tiempo inferior al de los riesgos moderados.
Intolerable	No debe comenzar ni continuar el trabajo hasta que se reduzca el riesgo. Si no es posible reducir el riesgo debe prohibirse el trabajo.

- **Plan de control de riesgos**

Consistirá en el establecimiento de un plan de actuaciones preventivas concretas, donde tendrá que incluirse el nombre o entidad responsable de ejecutarlo y la fecha de finalización de tales acciones.

La importancia de llevar a cabo una correcta evaluación de riesgos, desde el punto de vista de la seguridad e higiene laboral, es fundamental ya que sobre ésta se planificará la acción preventiva de la empresa.

La evaluación de los riesgos laborales deberá revisarse cada cierto período, teniendo en cuenta el deterioro de los elementos que componen el proceso productivo de la empresa.

También se deberá revisar la evaluación correspondiente a aquellos puestos de trabajo en los que se hayan detectado a la salud de los trabajadores o se haya apreciado, a través de los controles periódicos, que las medidas de prevención puedan ser inadecuadas o insuficientes.

## **CAPITULO V**

### **DETERMINACIÓN DE COSTOS DE FABRICACIÓN**

## 5.1 Determinación de Costos

Para la determinación de los costos de fabricación del recipiente de 650 GL, se han de considerar los siguientes puntos, en los cuales se los han agrupado de acuerdo a su categoría.

- Materiales
- Fungibles (Materiales consumibles)
- Ingeniería
- Mano de Obra
- Terceros, y
- Otros

Debido a que la fabricación del recipiente se lo realiza en los talleres de la empresa, los costos son menores a realizarlos en sitio o en campo como en algunas ocasiones así se lo requiere; generalmente por los costos de alimentación y hospedaje del personal.

En las siguientes tablas se presenta el detalle de los puntos antes mencionados.

Tabla 5.1 Materiales

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQ.	STOCK BODEGA PROCOPET	COMPRAR	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL
<i>MECÁNICO</i>							

1	Plancha A36 2440x1220x4,67mm	u	6	0	6	\$ 84,60	\$ 507,60
2	Niple 3 1/2"	u	2	0	2	\$ 14,80	\$ 29,60
3	Niple 2"	u	3	1	2	\$ 12,00	\$ 36,00
4	Niple 1"	u	1	1	0	\$ 3,75	\$ 3,75
5	Niple 1/2"	u	2	2	0	\$ 5,00	\$ 10,00
6	Pernos Hilti 1/2"x3"	u	8	8	0	\$ 1,20	\$ 9,60
							\$ 0,00
<b>TOTAL</b>							<b>\$ 596,55</b>
<b>INSTRUMENTACIÓN</b>							
1	Manómetro 50 psi range	u	1	0	1	\$ 38,00	\$ 38,00
							\$ 0,00
<b>TOTAL</b>							<b>\$ 38,00</b>
<b>PINTURA</b>							
1	Dimercoate 9 (Zinc inorgánico)	kit	1	0	1	\$ 71,68	\$ 71,68
2	Amercoat 385	kit	1	0	1	\$ 73,92	\$ 73,92
3	Amercoat 450 HS	kit	1	0	1	\$ 73,92	\$ 73,92
<b>TOTAL</b>							<b>\$ 219,52</b>

**TOTAL  
MATERIALES**

**\$ 854,07**

Tabla 5.2 Fungibles

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQ.	STOCK BODEGA PROCOPE T	COMPRA R	COSTO UNIT	COSTO TOTAL
1	Black Beauty	qq	5	5	0	\$ 8,50	\$ 42,50
2	Discos de Desvaste 7x1/4"	u	5	5	0	\$ 1,70	\$ 8,50
3	Discos de Corte 7x1/8"	u	6	5	1	\$ 1,30	\$ 7,80
4	Gratas 4x1/4"	u	4	4	0	\$ 11,50	\$ 46,00
5	Electrodo 6010	kg	20	0	20	\$ 1,87	\$ 37,40
6	Electrodo 6013	kg	5	5	0	\$ 1,75	\$ 8,75
7	Guantes de pupos	par	12	12	0	\$ 0,32	\$ 3,84
8	Guantes de cuero	par	6	3	3	\$ 2,00	\$ 12,00
9	Guantes de Soldador	par	2	2	0	\$ 3,50	\$ 7,00
10	Mandil de Cuero	u	1	1	0	\$ 5,60	\$ 5,60
11	Mangas de Cuero	par	1	1	0	\$ 3,20	\$ 3,20
<b>TOTAL FUNGIBLES</b>							<b>\$ 182,59</b>

Tabla 5.3 Ingeniería

ITEM	ESPECIALIDAD	CANTIDAD	HORAS HOMNBRE	COSTO DIARIO	COSTO TOTAL
1	Ingeniero diseñador	1	20	\$ 15,00	\$ 300,00
					\$ 0,00

					\$ 0,00
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>					<b>\$ 300,00</b>

Tabla 5.4 Mano de Obra

ITEM	ESPECIALIDAD	CANTIDAD	DIAS	COSTO DIARIO	COSTO TOTAL
1	Supervisor	1	15	\$ 50,00	\$ 750,00
2	Soldador	1	8	\$ 50,00	\$ 400,00
3	Esmerilador	1	12	\$ 15,00	\$ 180,00
4	Ayudantes	2	15	\$ 12,00	\$ 180,00
5	Pintor	1	4	\$ 18,00	\$ 72,00
6	Sanblastero	1	1	\$ 18,00	\$ 18,00
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>					<b>\$ 1.600,00</b>

Tabla 5.5 Equipos

ITEM	ESPECIALIDAD	CANTIDAD	DIAS	COSTO DIARIO	COSTO TOTAL
1	Camión Grúa	1	2	120,00	\$ 240,00
2	Soldadora eléctrica 300 AMP	2	6	25,00	\$ 150,00
3	Generador Eléctrico 75 KVA	1	6	60,00	\$ 360,00
4	Equipo de Oxicorte	1	1	10,00	\$ 10,00
5	Amoladoras 7"	1	7	2,00	\$ 14,00
6	Amoladoras 4 1/2"	1	7	2,00	\$ 14,00
7	Compresor 750 CFM	1	1	150,00	\$ 150,00
8	Equipo de Sandblasting	1	1	9,00	\$ 9,00
9	Equipo de Pintura	1	3	16,00	\$ 48,00
10	Bomba manual de presión	1	1	4,00	\$ 4,00
11	Set de herramientas soldador	2	6	3,00	\$ 18,00
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>					<b>\$ 1.017,00</b>

Tabla 5.6 Terceros

ITEM	ESPECIALIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO x KILO	COSTO TOTAL
1	PREFABRICACIÓN DE TANQUE 650 GL	KG	394	\$ 0,30	\$ 118,20

<b>SUBTOTAL</b>	\$ 118,20
<b>IVA</b>	\$ 14,18
<b>TOTAL CONFORMADO</b>	<b>\$ 132,38</b>

Tabla 5.7 Otros

ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO	OBSERVACIONES
1	TRANSPORTE	\$ 250,00	Diesel para camión a San Lorenzo
2	ASME XII	\$ 320,00	
3	NPFA 30	\$ 38,00	
4	MOVILIZACION	\$ 200,00	Hotel, comida 2 dias
5	PAPELERÍA	\$ 100,00	
6	ACCESOROS PARA CONEXIÓN AL GENERADOR	\$ 80,00	
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 988,00</b>	

A continuación se presenta una tabla con el resumen de los puntos considerados para determinar el costo total del recipiente de 650 GL.

Tabla 5.8 Costo Total

ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	MATERIALES	\$ 854,07
2	FUNGIBLES	\$ 182,59
3	MANO DE OBRA	\$ 1.600,00
4	EQUIPOS	\$ 1.017,00
5	INGENIERÍA	\$ 300,00
6	TERCEROS	\$ 132,38
7	OTROS	\$ 988,00
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>\$ 4.086,04</b>

## 5.2 Análisis Costo – Beneficio

Como la construcción de este recipiente es parte del proyecto de la ampliación del cuartel antinarcóticos de la policía de la ciudad de San Lorenzo, provincia de Esmeraldas; el costo de este estuvo incluido en la oferta presentada.

Para realizar un análisis costo – beneficio, es necesario hacer una comparación con la opción de la subcontratación o con la comparación de un proyecto similar realizado en el pasado.

Lo más parecido a este proyecto fue la subcontratación para la construcción de un recipiente provisional para diesel de 7000 GL, de cuerpo cilíndrico y cabezas planas; esto se lo realizó a principios del año pasado.

Para realizar la comparación se ha determinado el costo de fabricación por kilogramo para cada uno de los recipientes. Hay que tomar muy en cuenta que mientras mayor sea el volumen de obra los costos son menores.

Para determinar el costo de la fabricación del recipiente de 650 GL; se resta el valor dado por la Tabla 5.7 Otros, y una parte del costo de pintura; ya que el recipiente de 7000 GL solamente tiene la primera capa de pintura.

A continuación se presenta una tabla con los valores de costo/kilogramo para los recipientes:

Tabla 5.9 Costo por Kilogramo

ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO (KG)	VALOR	COSTO/KG
1	TK - 650 GL	613,08	\$ 2.984,00	\$ 4,87
2	TK - 7000 GL	1900	\$ 7.900,00	\$ 4,16

El costo de fabricación del recipiente de 650 GL es mayor al de 7000 GL, esto se debe como ya se mencionó al volumen de obra, es decir, que mientras mayor es la cantidad fabricada, el costo es menor. Además al factor de costo de los materiales que se incrementaron durante los dos meses de intervalo entre la construcción de los dos tanques.

Dentro de los beneficios del proyecto del tanque de 650 GL están:

- Al haber elaborado previamente un Manual de Calidad junto con los procedimientos de diseño y construcción, el proceso se vuelve más eficiente en su planificación y ejecución, lo que implica reducción en los costos.

- Se optimiza la confiabilidad del equipo humano de trabajo, ya que se han tomado medidas para controlar el proceso en sus diferentes fases.
- La buena imagen que se le da a los clientes al mostrarle la organización y planificación para la realización de los proyectos al trabajar dentro de un Sistema de Gestión de Calidad.
- Estos elementos intangibles permiten vender la imagen de la empresa a nuevos clientes o nuevos mercados.
- Además, ya que el recipiente fue construido en los talleres de la empresa el costo disminuye en un 20% a realizarlos en sitio o en campo, ya que no existe la movilización del personal ni los equipos y se evitan estos costos de operación.

En forma general, y como evaluación interna de la empresa se considera que el porcentaje de ahorro a hacerlo por medio de la subcontratación va de un 10 a 30 %, dependiendo el tipo de empresa subcontratada. Además hubo una utilidad de un 20% del valor considerado en la oferta original presentada al cliente.

## **CAPITULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1 Conclusiones**

- Se ha logrado generar un Manual de Procesos el cual se encuentra dividido en Procedimientos Generales, que son los que utiliza la empresa en la mayoría de montajes mecánicos que apliquen, los cuales han sido revisados y mejorados de acuerdo a las nuevas y cambiantes necesidades; y en Procedimientos Específicos e Instructivos, los cuales

han sido creados para la construcción del recipiente de 650 GL y aplican para recipientes de hasta 500 BBLs.

- Todos los Registros anexos a los Procedimientos Generales y Específicos son parte del QA/QC que se genera durante la realización de cualquier proyecto de montaje electromecánico que realiza la empresa PROCOPET SA; los cuales aseguran que se ha cumplido con los requisitos que los códigos de construcción y el cliente exige, y aseguran la calidad del producto.
- Se ha logrado satisfacer la necesidad del cliente por medio de la construcción de un recipiente de almacenamiento de diesel de 650 GL, el cual alimenta a un generador de 45 KVA de capacidad, el cual abastece de energía al Grupo Antinarcóticos de la Policía de la ciudad de San Lorenzo provincia de Esmeraldas.
- El montaje y construcción del recipiente de 650 GL se lo ha hecho de forma eficiente y dentro del cronograma planteado debido a la experiencia del personal, instalaciones y equipos adecuados con los que dispone la empresa PROCOPET SA.
- Durante la construcción y pruebas del recipiente de 650 GL no se produjeron accidentes debido al cumplimiento de las normas de seguridad por parte del personal involucrado.
- Los cálculos para determinar el espesor de las partes del recipiente se los han realizado por dos códigos de la norma ASME, Sección VIII (Recipientes a Presión) y Sección XII (Recipientes Transportables), las cuales utilizan criterios similares, lo que garantiza la seguridad y la vida útil del recipiente.
- Debido a la buena planificación y desarrollo organizado mediante los procedimientos durante el proceso de diseño y construcción, se ha

logrado reducir los costos de la construcción en un 20% del valor presupuestado en la oferta original al cliente, lo cual es una utilidad para la empresa.

## 6.2 Recomendaciones

- Comprobar los cálculos de espesores si se tiene acceso a softwares existentes en el mercado, como por ejemplo el *Compress Vessel*; ya que su costo es muy alto pero algunas empresas en el país lo disponen.
- Para todos los procesos de soldadura que realiza la empresa en montajes electromecánicas es mandatorio utilizar personal calificado, especialmente soldadores que ya tengan su calificación o sino realizar la calificación de estos previo el inicio de los trabajos de soldadura.
- El Manual de Calidad y el Manual de Procesos desarrollado durante este proyecto es aplicable para el diseño y construcción de tanques de hasta 500 BBLs. Si se necesita diseñar y/o construir un tanque de mayor capacidad, hacer referencia al API 650 y/o API 12F.
- Se recomienda utilizar este proyecto de tesis como texto de consulta para los estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército para el diseño y construcción de tanques de hasta 500 BBLs, ya que existe teoría sobre cálculos, códigos de construcción y normas aplicadas en este proyecto.
- Se recomienda la utilización de los procedimientos de diseño y construcción desarrollados en esta tesis para la fabricación de recipientes de almacenamiento de combustibles de hasta 500 BBLs.
- Se recomienda seguir las prácticas de seguridad industrial durante cualquier trabajo de montaje electromecánico, como por ejemplo la

utilización de equipo de protección personal y el cumplimiento de normas o reglamentos existentes en las plantas o fábricas.

## BIBLIOGRAFÍA

- *Eugene F. Megysey*, Pressure Vessel Handbook, 12<sup>th</sup>. Edition, Tulsa – Oklahoma 74153, 2001, pp 15, 22, 29, 98-100, 189
- Acuerdo Ministerial No. 013. Ministerio de Energía y Minas del Ecuador.
- [www.asme.org/codes/accreditation](http://www.asme.org/codes/accreditation), Section XII (A New Addition to the ASME Boiler and Pressure Vessel Code).
- [http://eee.menergia.gov.ec/php/whole\\_art.php?whole0cap0000079](http://eee.menergia.gov.ec/php/whole_art.php?whole0cap0000079), Reglamento de Operaciones Carburíferas.
- *Andrés Cabrera, Xavier Páez*, Proyecto de Grado, Escuela Politécnica del Ejercito, Procedimiento de Inspección Técnica y Control de Seguridad Industrial de Auto-Tanques de Combustible Líquido para la Dirección Nacional de Hidrocarburos (DNH), 2001.
- ASME Sección VIII, Div. 1, Parte UG y UW
- ASME Sección IX
- ASME Sección XII, Código para la Construcción y Servicio Continuo de Tanques Transportables.
- Manual de Soldadura, Maxus Ecuador Inc.
- NFPA 30, Código de Líquidos Inflamables y Combustibles, Edición 2003, Battermarch Park, PO Box 9101, Quince, MA 02269-9101, USA, pp 8, 9, 14, 15,
- API 2000 Standard, Venting Atmospheric and Low-Pressure Storage Tanks, 5ta. Edición, Abril 1998, pp 10, 11
- Apuntes de Clase de la Materia: DISEÑO MECÁNICO.
- Catálogo de electrodos revestidos, GRI-TEC LINCOLN SOLDADURAS DE VENEZUELA.
- NPT 495 Soldadura oxiacetilénica y oxicorte

- Manual de Procesos, PROCOPET SA.
- Manual de Calidad, PROCOPET SA.
- [http://Blastal Coating Services Inc\\_, metal sandblasting and protective coatings.htm](http://Blastal Coating Services Inc_, metal sandblasting and protective coatings.htm)
- <http://Introduction to Sandblasting.htm>