

# CAPÍTULO 1

## GENERALIDADES

### 1.1 INTRODUCCIÓN

Dentro de los múltiples sistemas que se pueden encontrar en las instalaciones de una estación de servicio, se tiene uno de gran importancia destinado al almacenamiento del combustible que posteriormente será despachado a los consumidores finales y que consta de tanques de acero horizontales subterráneos compartidos o individuales, ya sean compuestos, de pared simple o doble.

El presente estudio consta de 7 capítulos destinados al análisis de las distintas etapas requeridas para el diseño, construcción y verificación de los tanques de almacenamiento para la estación de servicio Gas Plus ubicada en la parroquia Ascázubi perteneciente al cantón Cayambe.

El sistema en mención está formado de tres tanques compuestos<sup>1</sup> horizontales y subterráneos, de las siguientes capacidades:

- a. Dos tanques que servirán para el almacenamiento de diez mil galones cada uno, correspondiendo uno a gasolina extra y el otro para diesel.
- b. Un tercer tanque de seis mil galones de capacidad que servirá para el almacenamiento de gasolina súper.

Para el desarrollo de este proyecto se emplearán como sustento conceptos de diseño mecánico y procesos de manufactura, así como el manejo de las normas

---

<sup>1</sup> Tanques compuestos.- Tanques de acero recubiertos externamente con fibra de vidrio ( fiberglass reinforced plastic FRP)

UL-58<sup>2</sup> y UL-1746<sup>3</sup>, las leyes y reglamentos pertinentes, e información recopilada a través de distintos medios.

## 1.2 ANTECEDENTES

En toda la república del Ecuador, la comercialización de los combustibles se la realiza por medio de estaciones de servicio que actualmente pasan de las novecientas a nivel nacional, las mismas que se encuentran reguladas por el Ministerio de Energía y Minas a través de la DNH<sup>4</sup> y DINAPA<sup>5</sup>.

Estas dos instituciones que pertenecen al Ministerio de Recursos Naturales, son las llamadas a autorizar, controlar, fiscalizar y auditar las actividades concernientes a todas las estaciones de servicio del país, es importante indicar que las estaciones de servicio requieren de una licencia ambiental para iniciar su funcionamiento, ya que con esta decisión se está protegiendo el medio ambiente y a las poblaciones o viviendas cercanas a las estaciones de servicio para lo cual previo a la obtención de la licencia ambiental se exige una póliza de seguros que cubra los posibles daños emergentes ante cualquier situación que se pueda suscitar en una estación de servicio, esta póliza sirve de garantía y es de responsabilidad civil.

En cuanto a la estación de servicio Gas Plus, una vez que se aprobaron los estudios de factibilidad por parte de la DNH y los estudios de impacto ambiental por intermedio de la DINAPA, la comercializadora Petróleos y Servicios (P & S) que es representante jurídica de la estación de servicio en mención, inició inmediatamente los trabajos desarrollando una ingeniería básica, sobre:

---

<sup>2</sup> UL 58 (Steel Underground Tanks for Flammable and Combustible Liquids)

<sup>3</sup> UL 1746 (External Corrosion Protection Systems for Steel Underground Storage Tanks)

<sup>4</sup> DNH Dirección Nacional de Hidrocarburos, entidad encargada de regular la actividad hidrocarburífera en el Ecuador.

<sup>5</sup> DINAPA Dirección Nacional de Protección Ambiental, entidad que efectúa el seguimiento y control ambiental de las operaciones hidrocarburíferas

- a. Diseño arquitectónico,
- b. Diseño hidráulico y neumático,
- c. Diseño eléctrico,
- d. Diseño sanitario ,
- e. Instalaciones contra incendios

Quedando el diseño de los sistemas y estructuras restantes bajo la responsabilidad del propietario de la estación de servicio y se presentan a continuación:

- a. Estructura de la marquesina y forrado de la misma.
- b. Los sistemas de almacenamiento, separación y conducción de los combustibles.

Es necesario indicar que esta estación de servicio arrancó su construcción los primeros días del mes de octubre del año 2007, teniendo previsto iniciar las operaciones el mes de abril del 2008.

### **1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Existe la necesidad de construir un sistema de almacenamiento de combustible líquido para la Estación de Servicio Gas Plus con las siguientes capacidades:

- 1 tanque de 10000 gal para gasolina extra.
- 1 tanque de 10000 gal para diesel.
- 1 tanque de 6000 gal para gasolina súper.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo General**

Diseñar y construir dos tanques de 10000 gal y uno de 6000 gal para almacenamiento de combustible líquido bajo normas UL 58 y UL 1746 para la estación de servicio Gas-Plus.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Determinar los parámetros de entrada necesarios para iniciar el diseño mecánico de los tanques para almacenamiento de combustible y realizar un estudio de las normas UL 58 y UL 1746.
- Efectuar el diseño de los tanques de almacenamiento y elaborar los planos constructivos correspondientes.
- Realizar un modelado de los tanques en un programa computacional de elementos finitos.
- Elaborar el procedimiento de manufactura necesario para la construcción de los tanques.
- Construir los tres tanques para almacenamiento de combustible líquido.
- Verificar e inspeccionar la fabricación de los tanques de acuerdo a los resultados obtenidos en el diseño.
- Realizar las pruebas que se encuentren contempladas en las normas para verificar el correcto funcionamiento de los tanques para almacenamiento de combustible.
- Elaborar las tablas de aforo correspondientes a cada uno de los tanques.
- Realizar el análisis económico del proyecto.

## **1.5 ALCANCE**

El presente proyecto comprende el diseño, construcción y realización de pruebas a tres tanques de acero horizontales y subterráneos para almacenamiento de combustible líquido en la estación de servicio Gas Plus, sustentándose en el empleo de los estándares UL-58 y UL-1746, los reglamentos pertinentes y los criterios de ingeniería necesarios.

La etapa de diseño abarca la determinación de las dimensiones en base a las capacidades requeridas, además de los espesores necesarios tanto de acero como de FRP, la selección del tipo de cabezas así como de juntas en el cuerpo y cabezas, la ubicación y dimensiones de las bocas de acuerdo a los requerimientos en las instalaciones, la simulación en un software de elementos finitos y por último la elaboración de los planos constructivos necesarios.

La fase de construcción comprende un recuento del proceso de fabricación empleado, la determinación de los requerimientos de maquinas, herramientas y personal, la elaboración del cronograma de construcción correspondiente y por último la inspección del proceso constructivo.

Una vez realizadas las pruebas hidrostáticas correspondientes, se desarrollarán las tablas de aforo ajustadas a las dimensiones reales de los tanques además del análisis económico del proyecto a fin de determinar sus costos reales.

## **1.6 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

El sistema de almacenamiento de combustibles en una estación de servicio constituye un elemento crítico frente a las graves consecuencias medioambientales que puede ocasionar cualquier falla o filtración, en el supuesto

de suscitarse algún incidente crítico por filtración o falla, la DNH impone fuertes multas y sanciones adicionales, que pueden ser de índole económica o su vez la suspensión de la licencia de funcionamiento de la estación de servicio por un determinado tiempo, esta situación ocasionaría al propietario de la gasolinera cuantiosas pérdidas económicas, siendo esta la razón para que los propietarios de las estaciones de servicio se encuentren obligados plenamente a controlar paso a paso los diseños de cada uno de los componentes de las estaciones de servicio, por que solamente de esta manera podrían proteger sus inversiones, proteger el medio ambiente y obtener las utilidades acordes a la inversión.

Por lo expuesto, es necesario que el diseño y construcción de los tanques de almacenamiento, se desarrollen en base al cumplimiento de los reglamentos pertinentes que existen para la materia, esto es, cuidando y controlando el empleo de las especificaciones técnicas y los criterios de ingeniería adecuados que existen al respecto.

Esto implica que durante la construcción de los tanques de almacenamiento, se verifique minuciosamente el cumplimiento estricto, tanto de las características específicas del diseño como los procedimientos de manufactura empleados para la construcción, además de realizar la prueba de presión hidrostática en los tres tanques que son materia de la presente tesis.

# CAPÍTULO 2

## MARCO TEÓRICO

### 2.1 HIDROCARBUROS

#### 2.1.1 Definiciones

##### - **Hidrocarburos**

Los hidrocarburos son el grupo de compuestos orgánicos más fundamental, formados únicamente por átomos de carbono tetravalente en su estructura, a la cual se unen átomos de hidrógeno monovalentes. A temperatura ambiente se los puede encontrar como gases, líquidos o sólidos.

Todos los productos de origen petrolífero son hidrocarburos que pueden tener composiciones muy simples como los gases pero también muy complejas al tratarse de líquidos, además los productos hidrocarburíferos comerciales, generalmente son mezclas de fracciones complejas como: naftas, aceites, carburantes para reactores, etc.

Algunas de las propiedades importantes de los hidrocarburos petrolíferos son las siguientes:

- **Tensión de vapor.-** Es la medida de la tendencia de las moléculas de dispersarse en una fase líquida para generar una fase de vapor manteniendo un equilibrio termodinámico. Por medio de esta propiedad se puede determinar el contenido de productos livianos, para establecer las pérdidas en el almacenamiento, seguridad en el transporte y la volatilidad de las naftas. Las especificaciones de las naftas ubican la presión de vapor en un rango entre 800 g/cm<sup>2</sup> absolutos en invierno y 650 g/cm<sup>2</sup> absolutos en verano.

- **Densidad específica.-** Es la relación de peso de un volumen de muestra cierta temperatura y el peso del mismo volumen de agua a una temperatura determinada; en el Ecuador se usa comúnmente la medida americana de

densidad que es la Gravedad A.P.I., la cual relaciona las densidades del agua con la del petróleo y si el grado API de un hidrocarburo es mayor a 10 significa que es más liviano que el agua por lo tanto flota en ella.

- **Viscosidad.-** Es la medida de la resistencia al flujo de un fluido producto del frotamiento de las moléculas que se deslizan unas contra otras. La viscosidad es determinante en las condiciones de combustión por lo tanto en la emisión de contaminantes, además que determina las condiciones de bombeo de los productos y los ductos necesarios para su transporte.

- **Número de octano.-** Es la capacidad de los carburantes de comprimirse sin producir auto detonación, es una característica fundamental de las naftas utilizadas en motores de combustión interna con encendido por chisma (MECH), En la escala de octanaje mientras mayor sea el valor, mayor es la capacidad de compresión del carburante sin auto detonar.

- **Índice de cetano.-** El cetano es un hidrocarburo parafínico de 16 átomos de carbono, y su índice indica el porcentaje volumétrico de cetano en una mezcla de referencia con el mismo punto de inflamación que el carburante sometido a prueba. Mientras mayor sea el número de cetano, menor es el retraso de la ignición y mejor es la calidad del combustible.

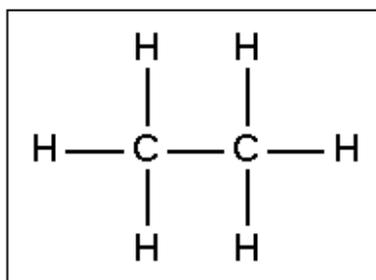
- **Temperatura de inflamación y temperatura de ignición.-** La temperatura de inflamación es la temperatura mínima a la cual el material se gasifica, es decir comienza a emitir vapores que pueden inflamarse ante una fuente de calor, este parámetro presenta especial importancia en combustibles líquidos.

La temperatura de ignición es la temperatura mínima a la que debe ser calentado un material en el aire, para que en ella se pueda iniciar y mantener una combustión independiente de la fuente de calor. Este parámetro también se conoce como temperatura de auto ignición.

### 2.1.2 Clasificación de los hidrocarburos

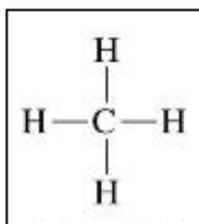
Los hidrocarburos se clasifican en dos grupos principales que son: los hidrocarburos alifáticos y los aromáticos.

- **Hidrocarburos alifáticos.-** Se caracterizan porque sus átomos de carbono pueden formar cadenas abiertas que pueden ser lineales y ramificadas, los alifáticos a su vez se clasifican en: hidrocarburos saturados también llamados alcanos e hidrocarburos insaturados que pueden ser alquenos y alquinos.



**Figura 2.1:** Diagrama de un hidrocarburo alifático, Etano  $C_2H_6$

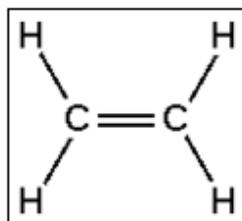
**Hidrocarburos saturados o Alcanos.-** Son alifáticos que forman cadenas lineales, se pueden presentar en estado sólido, líquido o gaseoso, dependiendo del tamaño de la cadena de carbonos. Compuestos como el metano, etano, propano y butano que tienen hasta 4 átomos de carbono son gases. Todos los alcanos son sustancias combustibles. La relación que existe entre los átomos de carbono y los de hidrógeno para los alcanos es:  $C_n H_{2n+2}$ .



**Figura 2.2:** Diagrama de un alcano, Metano  $CH_4$ .

**Hidrocarburos insaturados.-** Estos se pueden clasificar según los tipos de enlaces que tengan en alquenos y alquinos.

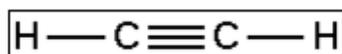
**Alquenos.-** Son compuestos hidrocarburíferos que poseen por lo menos un enlace doble en su estructura entre dos átomos de carbono.



**Figura 2.3:** Diagrama de un alqueno, Eteno  $C_2H_4$

Según el número de enlaces doble se los clasifican en: aleanas normales cuya relación C/H es  $C_nH_{2n}$  con un enlace doble, dialeanas los que tienen dos enlaces dobles, su relación C/H es  $C_nH_{2n-2}$  y bencénicos los que tienen tres enlaces dobles.

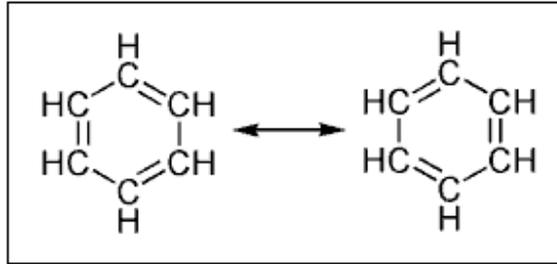
**Alquinos.-** Se les denomina también hidrocarburos acetilénicos, son los hidrocarburos que poseen por lo menos un enlace triple entre dos átomos de carbono, la relación entre los átomos de carbono y de hidrógeno es la siguiente:  $C_nH_{n-2}$ , todos los alquinos se derivan del alquino más simple que es el acetileno.



**Figura 2.4:** Diagrama de un alquino, Acetileno  $C_2H_2$

- **Hidrocarburos aromáticos.-** Son compuestos químicos que tienen átomos de carbono formando anillos cerrados que presentan gran estabilidad, abarcan

una amplia gama de sustancias químicas de uno, dos o más anillos altamente insaturados cuya relación carbono hidrógeno es la siguiente:  $C_nH_n$ .



**Figura 2.5:** Diagrama de un hidrocarburo aromático, Benceno  $C_6H_6$

### 2.1.3 Mezclas de hidrocarburos

- **Gasóleo.-** También se lo llama gasoil o diesel, se lo obtiene a partir de la destilación fraccionada del petróleo crudo entre 250 °C y 350 °C, es un líquido de color verdoso o blanquecino, su densidad es de alrededor de 850 g/L, formado principalmente por hidrocarburos alcanos, se lo utiliza principalmente como combustible de motores de encendido por compresión (MEC) y en calefacción. Según el procedimiento de obtención puede ser: petrodiesel cuando es obtenido de la destilación del petróleo y biodiesel cuando se lo obtiene de los aceites vegetales y grasas animales.

Existen varios grados de petrodiesel que se usan en la industria marítima dependiendo de su nivel de refinación encontramos los que son livianos casi como los de automóviles hasta los pesados que no fluyen a temperatura ambiente por lo cual necesitan de un precalentamiento para que fluyan.

La temperatura de inflamación del petrodiesel para automóviles es de 50°C, y su temperatura de ignición es 407°C.

- **Gasolina.-** Es una mezcla de hidrocarburos líquidos ligeros, formada principalmente por alcanos que poseen entre 5 y 10 átomos de carbono en sus

cadenas, usualmente utilizada como combustible de motores de combustión interna de encendido por chispa (MECH), la gasolina se obtiene a través de varios procesos como: la destilación fraccionada de petróleo, condensación y adsorción de gas natural, descomposición térmica o catalítica del petróleo o sus fracciones, hidrogenación de gasógeno o carbón y la polimerización de hidrocarburos de bajo peso molecular. La gasolina posee una densidad de 720 g/L.

La principal especificación técnica que caracteriza el tipo de gasolina y su calidad es el octanaje, que es el número de octanos que posee, lo que determina su capacidad antidetonante. Los valores de octanaje que se encuentra en las gasolinas del mercado son entre 87 y 98 octanos, los valores más altos se los encuentra principalmente en los mercados europeos. En nuestro país se comercializa dos tipos de gasolina, extra de 87 octanos con plomo, y súper de 92 octanos sin plomo. El plomo es un metal pesado que se lo utiliza en las gasolinas para aumentar el octanaje y como lubricante en la cámara de combustión del motor, pero que es perjudicial para la salud como para el ambiente, por este motivo las gasolinas de más alta calidad son hechas con elementos que reemplazan el tetraetilo de plomo y que de igual o mejor manera dan un alto octanaje y son para motores que están diseñados para gasolinas sin plomo, ya que en motores antiguos puede causar un acelerado deterioro.

La temperatura de inflamación de la gasolina es menor a 38°C, y su temperatura de ignición es 450°C.

## **2.2 ACTIVIDAD HIDROCARBURÍFERA EN EL ECUADOR**

### **2.2.1 Reseña histórica**

En el Ecuador la actividad hidrocarburífera comenzó en los años setenta, desde ese entonces la economía nacional experimentó un cambio drástico pasando de ser un país netamente agrícola a uno petrolero, donde el presupuesto año tras año se basa principalmente en la exportación de hidrocarburos.

La empresa estatal encargada de la actividad hidrocarburífera en el Ecuador en la actualidad es Petroecuador, la cual tiene sus filiales que son Petroproducción, Petroindustrial y Petrocomercial.

### **2.2.2 Perforación**

En el año 2006 Petroproducción perforó 24 pozos, mientras que las compañías extranjeras 117 pozos, destacándose Repsol YPF con 31 pozos, PERENCO con 24, AEC con 23, Ecuadortec con 9, Oriente City con 5. Del total de pozos perforados en el año, 132 son de desarrollo, 4 exploratorios y 5 de avanzada.

### **2.2.3 Transporte de petróleo crudo**

El petróleo extraído de los pozos necesita ser transportado a distintos sitios para ser tratado, refinado o distribuido, por este motivo el país cuenta con sistemas de transporte de crudo que consiste en:

- **Sistema Oleoducto Transecuatoriano (SOTE).**- Fue diseñado para transportar en su etapa inicial 250000 bpd y en su etapa final 400000 bpd de petróleo 31 °API. En el 2006 transportó 126 millones barriles de petróleo que representó el 68.5 % de la producción. El Oleoducto Transecuatoriano empieza ciudad Nueva Loja y termina en el Océano Pacífico, en el Terminal Marítimo de Balao, en Esmeraldas.

- **Oleoducto de Crudos Pesados (OCP).**- Es el segundo oleoducto del Ecuador y el único que transporta exclusivamente crudos pesados con un grado API entre 18 y 24. Tiene una capacidad de transportación de 450000 bpd, pero en la actualidad se transportan 150000 bpd, principalmente de las empresas privadas Repsol YPF, Perenco y EnCana

El petróleo que se transporte en el OCP, primero es almacenado en la Terminal Amazonas, en la ciudad Nueva Loja, en esta estación el crudo recibe impulso y

calentamiento, finalmente el crudo llega al terminal marítimo del OCP que se ubica en Punta Gorda en la provincia de Esmeraldas.

- **Oleoducto Trasandino (OTA).**- Tiene una capacidad de 50000 bpd y una longitud de 31.5 km, en el año 2006 no se transportó crudo ecuatoriano por este oleoducto. El OTA fue inaugurado en febrero de 1994, cruza la frontera con Colombia y finalmente llega hasta Lago Agrio.

#### **2.2.4 Comercialización de petróleo crudo**

Durante el año 2006 el crudo extraído en el Ecuador fue alrededor de 189 millones de barriles de los cuales 55 millones se procesaron en el mercado interno, y 134 millones se destinó para las exportaciones. Las exportaciones del crudo ecuatoriano tiene como principales destinos tres países fundamentalmente, Estado Unidos adquiere el 74.5 %, Perú el 11.5 % y Chile el 6 %, el restante 8 % lo importa Japón, América Central, India y China.

#### **2.2.5 Industrialización de petróleo crudo**

Petroecuador por medio de su filial Petroindustrial encargado del procesamiento de crudo, cuenta con 4 centros principales de producción de derivados que son la refinería de Esmeraldas, la de La Libertad, el Complejo Industrial Amazonas y la refinería de Lago Agrio.

En el año 2006 en el país se industrializó 55.4 millones bls, de los cuales el 60.99% correspondió a la Refinería de Esmeraldas, 27.28% a la de La Libertad, 10.31 % a la Refinería Amazonas, 0.23% a la Refinería Lago Agrio y 1.19% a la planta de Shushufindi (en el Complejo Industrial Amazonas).

## **2.2.6 Comercialización de derivados**

La empresa filial de Petroecuador encargada de la comercialización de derivados de petróleo en el país es Petrocomercial, que también tiene como tareas el transporte y almacenamiento de estos derivados.

La oferta de productos derivados en el año 2006 fue de 79.5 millones bls, de los cuales 53.4 millones (67.1%) correspondió a la producción de refinerías nacionales, mientras que 26.1 millones (32.9%) a la importación.

La distribución y venta de derivados al consumidor final la realizan las comercializadoras bajo su marca y responsabilidad a través de una red de distribuidores a lo largo del territorio nacional, estas operadoras son controladas y calificadas por la Dirección Nacional de Hidrocarburos (DNH).

Los productos que se comercializan en el Ecuador son clasificados en dos grupos, los derivados básicos o de consumo masivo como la gasolina, diesel, GLP y residuo, y los derivados especiales o de consumo dirigido como el combustible de aviación, asfalto, solventes industriales, spray oil y azufre.

## **2.3 CORROSIÓN DEL ACERO**

### **2.3.1 Definición**

Se entiende por corrosión la interacción del acero con el medio que lo rodea, produciendo el deterioro en sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. Los ambientes corrosivos pueden ser el agua dulce, agua salada, ambiente húmedo, lodo, etc. El fenómeno que se produce entre el metal y el ambiente corrosivo es llamado "desgaste por corrosión", y afecta a la superficie del acero, por lo que se considera como un daño superficial y produce una capa de óxidos y otros contaminantes que se liberan del material. Los factores más importantes para determinar el grado de corrosión que tiene el acero son su composición química y la condición de la superficie del material.

Los procesos de corrosión en metales acarrear graves consecuencias para las industrias, los problemas que se presentan son: la reducción de la eficiencia de los productos construidos con materiales susceptibles a la corrosión (que son la gran mayoría de los metales), pérdida o contaminación de los productos, altos costos de mantenimiento, costos de post diseño, pérdidas de producción en plantas industriales, entre los principales.

### 2.3.2 Clasificación

La corrosión se la clasifica según tres parámetros distintos que son: la naturaleza de la interacción, la naturaleza del medio corrosivo y la morfología del daño.

#### - Clasificación según la naturaleza de la interacción

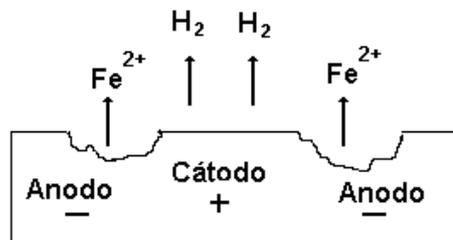
- **Corrosión química.**- En la corrosión química o solución directa, un material se disuelve en un medio líquido corrosivo. El material se disuelve hasta que se haya consumido totalmente o hasta que el líquido se sature. Generalmente es observada durante la acción directa de diferentes sustancias sobre el metal, sin que se produzcan o generen corrientes eléctricas.

- **Corrosión electroquímica.**- Es la forma más común de ataque al acero, involucra directamente la generación de corrientes eléctricas locales y ocurre cuando el acero pierde electrones y se convierten en iones, al poner en contacto al acero con líquidos conductores de electricidad, es suficiente la presencia de una fina película líquida para que se produzca la corrosión.

La corrosión electroquímica se caracteriza por el surgimiento de corrientes electroquímicas entre distintas partes del acero a consecuencia de reacciones electroquímicas en diferentes partes de la superficie de contacto del acero con el electrolito, este fenómeno se puede dar entre metales diferentes o entre diferentes áreas de un mismo metal o aleación donde exista una diferencia en el potencial electroquímico, y la presencia de un conductor electrolítico como la humedad,

agua salada, etc. Durante este proceso se generan regiones plenamente identificadas, llamadas anódicas y catódicas, una reacción de oxidación es una reacción anódica, en la cual los electrones son liberados dirigiéndose a regiones catódicas. En la región anódica se producirá la disolución del acero, que es propiamente la corrosión y, consecuentemente en la región catódica la inmunidad del acero.

La velocidad a la que el acero se corroe depende del ambiente donde se encuentre, con el tiempo se crea una capa fina de contaminantes en la superficie del acero, inicialmente son manchas hasta llegar a formar imperfecciones en la superficie del material.



**Figura 2.6:** Esquema de barra de acero corroída

Como se ve en la figura anterior la corrosión electroquímica ocurre solo en algunas áreas, a diferencia de la corrosión química que ocurre en toda la superficie, la causa es la diferencia de potencial que se da en distintas áreas de una misma superficie, dicha diferencia se puede dar por varios motivos como regiones que han sido sometidas a golpes, esfuerzos, tensiones, que se comportan como ánodo y tienden a corroerse mientras que el resto del material se comporta como cátodo y se protege cuando una solución electrolítica entre en contacto con el material.

En el proceso corrosivo se crea un circuito eléctrico y el sistema se conoce como celda electroquímica, la cual es responsable de la corrosión aunque también es de utilidad, ya que grandes cantidades de circuitos eléctricos, pueden efectuar el electro depósito de recubrimientos protectores o decorativos sobre los materiales, incluso en algunos casos, se desea la corrosión electroquímica, como en el caso

de las superficies metálicas pulidas para la realización de ensayos metalográficos, donde varias características de la micro estructura son atacadas selectivamente a fin que puedan ser observadas.

La celda electroquímica tiene cuatro componentes que son:

- El ánodo, que cede los electrones al circuito y se corroe.
- El cátodo, que recibe los electrones del circuito mediante una reacción química o catódica. Los iones al combinarse con los electrones, producen en el cátodo un subproducto.
- El ánodo y el cátodo deben estar conectados eléctricamente, generalmente por contacto físico, lo que permite el flujo de electrones del ánodo al cátodo y que la reacción continúe.
- Un electrólito líquido debe estar en contacto tanto con el ánodo como con el cátodo. El electrólito es conductor y por tanto cierra el circuito, proporcionando el medio para que los iones metálicos salgan de la superficie del ánodo y a la vez asegura que éstos se muevan hacia el cátodo para aceptar electrones.

**Reacción anódica.-** El ánodo que es un metal o una aleación, sufre una reacción de oxidación mediante la cual sus átomos se ionizan, y entran en la solución electrolítica, por tanto los electrones salen del ánodo a través de la conexión eléctrica.

**Reacciones catódicas en la corrosión.-** Generalmente durante la corrosión electroquímica no ocurre el recubrimiento del metal, en vez de eso, la reacción de reducción forma en el cátodo un subproducto gaseoso, sólido o líquido.

**- Clasificación según la naturaleza del medio corrosivo**

- **Corrosión gaseosa o seca.-** Es aquella en la que el acero es atacado por un gas a temperatura elevada, este tipo de corrosión se puede dar con muchos tipos de gases como el oxígeno, dióxido de carbono, halógenos o el vapor. El acero como todas las aleaciones y los metales sin considerar los nobles, son

susceptibles de ser atacados por los gases a alta temperatura, además otros factores como la pureza, estructura y estado superficial del material también influyen para acelerar el proceso corrosivo.

- **Corrosión atmosférica.-** Se puede definir como el desgaste producido en el acero debido a su exposición con el aire y sus contaminantes, la humedad relativa del aire es otro factor importante para la corrosión. Existen varios tipos de atmósferas corrosivas para el acero que se clasifican en: rural, urbana, industrial y marina.

La atmósfera rural es la menos nociva para el acero y generalmente no contiene químicos, pero contiene partículas orgánicas e inorgánicas que pueden afectar al acero.

La atmósfera urbana es similar a la rural, con la excepción que ésta presenta óxidos de azufre y de nitrógeno, producto de la combustión de los automotores.

La atmósfera industrial, se refiere a los sitios donde se dan grandes procesos industriales y las emanaciones de nitratos, sulfatos, fosfatos son muy altas.

Las atmósferas marinas, generalmente son las más corrosivas de todas, poseen iones cloruro.

- **Corrosión por aguas naturales y tratadas.-** Es un fenómeno de naturaleza electroquímica y su característica principal es que ocurre en presencia de un electrolito, como por ejemplo, agua de mar. Estas reacciones incluyen entonces la presencia de una interfaz eléctrica entre el metal y la solución electrolítica, la transferencia de carga positiva se da desde el metal hacia la solución con la consecuente oxidación del metal hacia un nuevo estado de valencia. La corrosividad en agua dulce varía con el contenido de oxígeno, azufre y cloruros, la dureza, la temperatura y la velocidad.

- **Corrosión subterránea.-** En la práctica el acero no es enterrado en suelos corrosivos sin un recubrimiento de protección, usualmente respaldado por un sistema adecuado de protección catódica. La corrosión del acero enterrado es en

forma general de carácter electroquímico, pero las condiciones son tales que los productos de la corrosión usualmente permanecen en contacto con el metal. Por otra parte, el índice de oxígeno de la fuente es a menudo menor en comparación con el aire o el agua. De ahí que las tasas de ataque son comparativamente bajas, teniendo así por ejemplo 0.038mm/año para un periodo de 10 años de entierro en suelos arcillosos frente a 0.1-0.13 mm/año para una exposición completa al aire libre en una atmósfera industrial. Para propósitos prácticos la corrosión local o por picadura es más importante que la tasa general de corrosión, y puede llegar a ser varias veces superior a esta.



**Figura 2.7:** Corrosión por picadura en un tanque para almacenamiento de combustible exhumado.

**Fuente:** Departamento de Conservación Ambiental de Alaska

Las condiciones de operación son de extrema importancia, por ejemplo corrientes corrosivas se pueden originar a través de una tubería ubicada entre suelos disímiles adyacentes, o cercanas a instalaciones eléctricas; en ambos casos se producirán graves daños de corrosión en las secciones donde las corrientes

abandonen la tubería. Otros factores incluyen la presencia de rocas, raíces de árboles o roedores que pueden perforar el recubrimiento de protección. A pesar de que todos estos factores no pueden ser reproducidos en pruebas a pequeña escala, es importante resumir el conocimiento adquirido a través de pruebas de entierro de larga duración realizadas en los Estados Unidos y Gran Bretaña, para ello se consideran dos factores de importancia: el efecto del suelo y la duración del entierro.

**Efecto del suelo.-** Los suelos varían considerablemente en cuanto a corrosividad, el tipo de suelo afecta al índice de corrosión más que cualquier otra variación en el tipo de material ferroso o su método de fabricación. A pesar de que resulta difícil determinar la corrosividad de un suelo en particular, de antemano, mucha información útil se puede obtener a partir del estudio de suelos. En general, suelos arenosos, secos o calcáreos, con una alta resistencia eléctrica son menos corrosivos. Hacia el otro lado de la escala se encuentran las arcillas pesadas y los suelos altamente salinos, con una elevada conductividad eléctrica. El nivel freático es también importante, mucho depende si el acero enterrado se encuentra permanentemente sobre o bajo dicho nivel, más aún si este alterna. La profundidad de entierro no tiene un efecto consistente sobre la corrosión. En suelos extremadamente ácidos (pH 4.0 y menores) pueden ocasionar la corrosión acelerada de aceros desnudos, este grado de acidez no es común, se presenta únicamente en ciertos suelos pantanosos y tierras que presenten acumulación de material ácido de plantas. La mayoría de suelos tienen un pH de entre 5.0 y 8.0, dentro de este rango la influencia del pH sobre la corrosión no se considera importante.

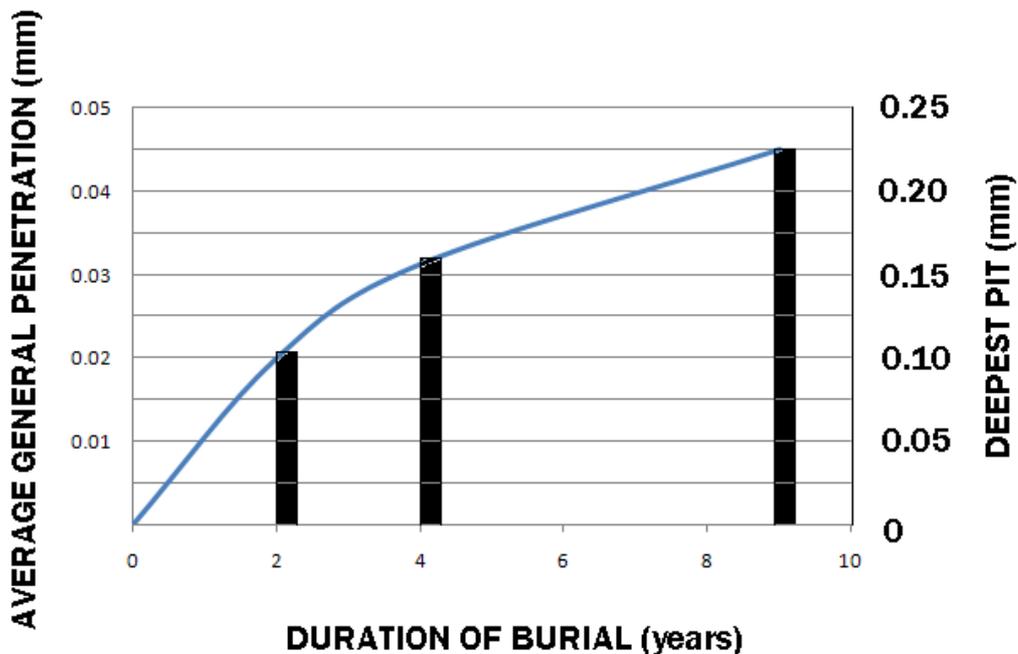
La tasa máxima de corrosión obtenida en pruebas llevadas a cabo por el Instituto Nacional de Estándares Norteamericanos<sup>6</sup> es de 0.068 mm/año, sin embargo la tasa máxima de corrosión por picaduras es mucho mayor teniendo un valor de 0.25 mm/año.

---

<sup>6</sup> NBS, por sus siglas en inglés, es una agencia de la Administración de Tecnología del Departamento de Comercio de los Estados Unidos, cuya misión es promover la innovación y la competencia industrial en Estados Unidos mediante avances en metrología, estándares y tecnología.

La actividad bacteriana usualmente juega un papel importante sobre la corrosión del acero enterrado. Ésta se puede encontrar de forma más común en arcillas anegadas y suelos similares, donde no existe oxígeno atmosférico presente. Si estos suelos contienen sulfatos, la corrosión bacteriana puede ocurrir bajo condiciones anaeróbicas en presencia de bacterias sulfato-reductoras.

**Efecto de la duración de entierro.-** Extensas pruebas de campo realizadas en los Estado Unidos indican que el acero enterrado se corroe más lentamente con el pasar del tiempo, tanto para el ataque general como para la picadura. Los resultados obtenidos se ilustran a través de la gráfica 2.3.1.



**Gráfica 2.1:** Corrosión general y por picadura vs. Duración del entierro

**Fuente:** Corrosion Metal/Environment Reactions, tercera edición, L L Sheir.

- **Corrosión por altas temperaturas.-** Son reacciones que tienen lugar entre aleaciones y metales con gases por arriba de los 100 °C, temperatura a la que la presencia de agua líquida es inusual.

Actúa de la siguiente manera: al estar expuesto el metal al gas oxidante, se forma una pequeña capa sobre el metal, producto de la combinación entre el metal y el gas en esas condiciones de temperatura. Esta capa o “empañamiento” actúa

como un electrolito sólido, el que permite que se produzca la corrosión de la pieza metálica. Es una forma de corrosión que no requiere la presencia de un electrolito líquido, algunas veces este fenómeno es llamado corrosión seca.

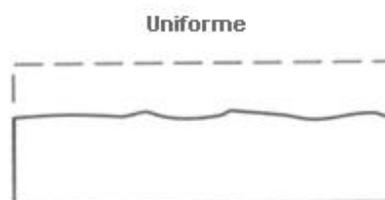
- **Corrosión microbiana.**- Típicamente los organismos forman colonias discontinuas cuya presencia y subproductos, producen modificaciones en el entorno, en el tipo de corrosión y en la proporción con la que ocurre.

Ciertas bacterias reducen los sulfatos del entorno y producen ácido sulfúrico, el cual ataca al metal, estas bacterias son conocidas como sulfato-reductoras.

El crecimiento de colonias de organismos sobre una superficie metálica propicia el desarrollo de celdas por concentración de oxígeno. Las áreas bajo las colonia son anódicas mientras que las no afectadas son catódicas. La celda por concentración crea perforaciones por debajo de las regiones cubiertas por los organismos, la aglomeración de estos organismos, que puede incluir productos de la corrosión del meta.

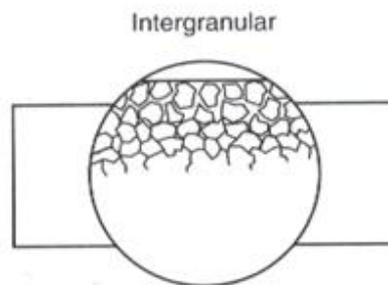
#### - **Clasificación según la morfología del daño**

- **Corrosión uniforme.**- Se manifiesta con igual velocidad en todos los puntos de la superficie del acero, se observa tanto en el caso de la corrosión seca como en el caso de la corrosión en medio líquido. Se da cuando se coloca el metal en el electrolito y se produce algunas regiones más anódicas respecto a otras, sin embargo, la ubicación de estas regiones no es fija y varía o incluso se pueden llegar a invertir con las regiones catódicas. Dado que las regiones anódicas y catódicas se desplazan continuamente, el metal se corroe uniformemente.



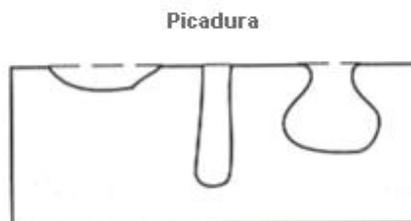
**Figura 2.8:** Esquema de la corrosión uniforme

- **Corrosión intergranular.**- Se presenta en las juntas intergranulares. Se debe generalmente a la precipitación de una fase o a la formación preferente de un producto de corrosión en las juntas de granos, este tipo de corrosión afecta principalmente a las propiedades mecánicas del material ya que forma innumerables fisuras, debilitando el material.



**Figura 2.9:** Esquema de la corrosión intergranular

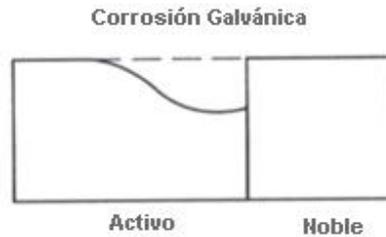
- **Corrosión por picaduras.**- Localizada en ciertos puntos de la superficie del acero, es generada por diferentes causas, en particular la existencia de una solución de continuidad en una capa protectora que cubre la aleación, o la presencia en la superficie de pequeñas gotas de un electrolito. Aunque la cantidad de acero que es atacado es pequeña, resulta muy peligroso, ya que se produce en profundidad y puede provocar la perforación de chapas gruesas. El acero inoxidable es en especial susceptible a este tipo de degradación.



**Figura 2.10:** Esquema de la corrosión por picadura

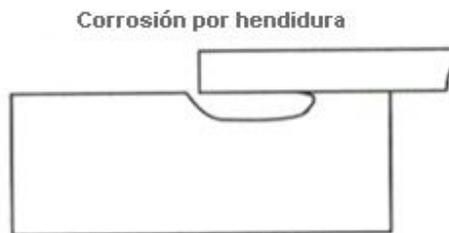
- **Corrosión galvánica.**- Ocurre cuando existen áreas que siempre funcionan como ánodo, en tanto que otras siempre actúan como cátodo. Es el tipo de

corrosión más común de todas, y se establece cuando dos metales distintos actúan entre sí, uno como ánodo y el otro como cátodo. El metal que tenga el potencial de reducción más negativo procederá como oxidación y aquel que tenga el potencial de reducción más positivo procederá como una reducción, el par de metales constituyen la llamada pila galvánica.



**Figura 2.11:** Esquema de la corrosión galvánica

- **Corrosión por hendiduras.**- Es un tipo de corrosión que se presenta en los espacios confinados que se forman cuando los componentes están en contacto estrecho, para que se presente esta clase de corrosión, el espacio de la hendidura debe ser muy cerrado, con dimensiones menores a un milímetro generalmente, es conocido que no se presenta en espacios más grandes.

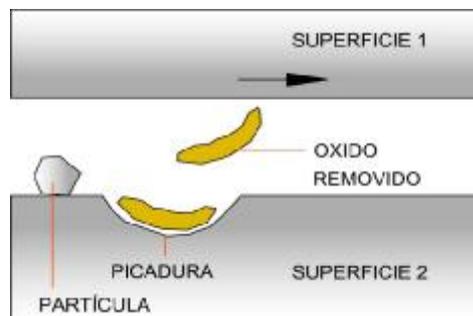


**Figura 2.12:** Esquema de la corrosión por hendidura

- **Corrosión selectiva.**- Es la corrosión preferente de un elemento en una aleación de acero, su presencia en este material es poco común. Se da cuando un

elemento electroquímicamente negativo respecto al solvente, reacciona preferentemente.

- **Corrosión - erosión.**- Es el proceso de corrosión unido a un desgaste superficial por fricción de la superficie de dos sólidos de modo que las partículas de óxido se desprenden y actúan de modo abrasivo entre las superficies en contacto, también ocurre en las superficies que están en un líquido que se mueve a gran velocidad, de forma que las partículas en suspensión o las burbujas de aire, se comportan como pequeñas limas ante la superficie del material.



**Figura 2.13:** Esquema de la corrosión-erosión

- **Corrosión bajo tensión.**- Es la corrosión generada en cierto ambiente corrosivo, unido a efectos estáticos de tracción produce una situación similar a la de fatiga. Según transcurre el tiempo, las fisuras que se originan en el acero sometido a corrosión bajo tensión crecen, pudiendo producir fracturas sin previo aviso, que se da incluso cuando el material no ha sobrepasado el límite elástico.



**Figura 2.14:** Esquema de la corrosión bajo tensión

### 2.3.3 Sistemas de protección contra la corrosión

Básicamente todos los métodos que existen para lograr controlar la corrosión de los materiales metálicos, son intentos para interferir con el mecanismo de corrosión, de tal manera que se pueda conseguir que ésta sea lo más ineficiente posible. Existen varias técnicas para brindar al acero protección contra la corrosión, incluyendo selección de materiales, diseño adecuado, recubrimientos, inhibidores, protección catódica y pasivación.

- **Selección de materiales.**- Más que por sus propiedades contra la corrosión, el acero es seleccionado por otras características favorables como son su resistencia y bajo costo.

Los aceros de baja aleación<sup>7</sup>, son diseñados para conseguir resistencias superiores, sin embargo presentan una resistencia a la corrosión similar a los aceros no aleados, a excepción de las mejoras que presentan ante la corrosión atmosférica (por ejemplo la tasa de corrosión atmosférica de un acero aleado será un tercio de la tasa de un acero al carbono).

Los aceros al carbono se corroen con facilidad al ser expuestos al aire y en especial al tener contacto con agua marina. La tendencia general indica que la tasa de corrosión decrece ante el incremento de los contenidos de carbono, manganeso y silicio. Los elementos como el cobre, fósforo, cromo y níquel han demostrado un incremento significativo sobre la resistencia a la corrosión atmosférica.

Los aceros inoxidable<sup>8</sup> poseen una inusual resistencia al ataque de un medio corrosivo, entre estos los austénicos<sup>9</sup> son los aceros inoxidables con mayor resistencia a la corrosión debido a su elevado contenido de cromo y níquel. Los

---

<sup>7</sup> Aceros que contienen más del 5% del elemento de aleación principal.

<sup>8</sup> Aceros con contenido Cr sobre el 15%.

<sup>9</sup> Aceros que contienen aproximadamente entre un 16% a 27% de cromo y un 8 a 22% de níquel, conocidos como los de la serie 300.

aceros inoxidable ferríticos<sup>10</sup> presentan una resistencia a la corrosión y oxidación menor a los austeníticos pero mayor a los martensíticos<sup>11</sup>.

- **Diseño adecuado.**- La aplicación de principios de diseño puede eliminar muchos problemas de corrosión y reduce el tiempo y costo asociados con el mantenimiento y reparación. Algunas de las recomendaciones a seguir son:

1. Se debe tener en cuenta la acción penetrante de la corrosión junto con los requerimientos de la fuerza mecánica cuando se considere el espesor del metal utilizado.

2. Son preferibles los recipientes soldados que los remachados para reducir la corrosión por agrietamiento.

3. Se deben usar preferiblemente metales galvánicamente similares para prevenir la corrosión galvánica. Si se atornillan metales no similares galvánicamente se deben usar arandelas no metálicas para eliminar contactos eléctricos entre los materiales.

4. Es preciso evitar tensión excesiva y concentraciones de tensión en entornos corrosivos, para prevenir la ruptura por corrosión bajo tensión, especialmente en aceros inoxidable, latones y otros materiales susceptibles a este tipo de corrosión.

5. Se deben evitar recodos agudos en sistemas de tuberías por donde circulan fluidos. En estas áreas donde cambia la dirección del fluido bruscamente se potencia la corrosión por erosión.

- **Recubrimientos.**- Son productos para control de corrosión ampliamente empleados, su función principal es aislar los elementos reactivos de la estructura del ambiente corrosivo, incluyen recubrimientos metálicos, inorgánicos no metálicos y orgánicos.

---

<sup>10</sup> Aceros con contenido de aproximadamente 17%Cr.

<sup>11</sup> Aceros con contenido aproximado a 12%Cr y 0.12%C.

**Recubrimientos metálicos.-** Los procedimientos más comúnmente empleados en la práctica para obtener recubrimientos metálicos sobre el acero son:

1. Inmersión en un metal: Las piezas de acero se sumergen momentáneamente en un baño de un metal en fusión. Se utiliza habitualmente para los recubrimientos de cinc (galvanización en caliente), aluminio (aluminizado), estaño y plomo.

2. Metalización por proyección con pistola: Consiste en proyectar sobre la superficie del acero un metal en estado de fusión por medio de una pistola. La mayoría de los metales o aleaciones pueden aplicarse de esta manera: cinc, aluminio, acero inoxidable, estaño, plomo, níquel, cobre, etc.

3. Electrólisis: Las piezas por tratar se sumergen en soluciones que contienen sales de los metales a depositar. Las piezas se colocan en posición catódica, conectadas al polo negativo de un generador. Bajo la acción de la corriente eléctrica, el acero se recubre del metal contenido en el baño o bien puede ser suministrado por un ánodo soluble del metal en cuestión. Los metales corrientemente depositados por vía electroquímica son: cromo, cobre, níquel, cinc, cadmio y estaño.

4. Tratamientos termoquímicos de difusión: Consisten en colocar las piezas de acero a tratar en una mezcla de polvo metálico y de enlazante en un recinto a alta temperatura. El metal protector (recubrimiento) se difunde superficialmente en el metal base y forma una capa eficaz contra la corrosión. Los metales corrientemente aplicados por este método son el cinc y el aluminio.

5. Placado: La lámina del metal para aplicar y el metal base se someten a un proceso de colaminación en caliente, obteniéndose al final lámina de acero recubierta del metal aplicado. El acero inoxidable, níquel, monel y el cobre se aplican comúnmente por esta técnica.

**Recubrimientos inorgánicos no metálicos.-** Los recubrimientos inorgánicos no metálicos incluyen esmaltes vítreos, revestimientos de vidrio, cemento y porcelana adheridos a metales.

Estos recubrimientos proporcionan acabados tersos y duraderos sin embargo si llegan a fisurarse queda expuesta una pequeña área anódica que sufrirá una corrosión rápida y localizada, otra desventaja de estos recubrimientos es su fragilidad mecánica y su vulnerabilidad ante el choque térmico.

**Recubrimientos orgánicos.-** El uso de pinturas, lacas, barnices y muchos materiales orgánicos poliméricos han dado muy buen resultado como protección contra la corrosión. Estos materiales proveen barreras tenaces y duraderas para proteger el sustrato metálico de medios corrosivos. Estos recubrimientos se aprecian por la variedad de colores y texturas posibles, su capacidad de proteger la superficie del sustrato, su bajo costo y la facilidad con que se aplica.

Los métodos disponibles para aplicar recubrimientos orgánicos líquidos incluyen el uso de las brochas y rodillos, la aspersion, inmersión y el recubrimiento con flujo.

- Uso de brochas y rodillos.-Estos son dos métodos de aplicaron mas conocidos y tienen una alta eficiencia de transferencia, que se acerca al 100%.

- Aplicación por aspersion.- Es un método de producción muy utilizado para aplicar recubrimientos orgánicos. El proceso obliga al líquido de recubrimiento atomizarse dentro de un vapor fino inmediatamente antes de la deposición sobre la superficie de la parte.

- Recubrimiento por inmersión y por flujo.- Estos métodos aplican grandes cantidades de recubrimiento liquido a la parte de trabajo y permiten drenar el exceso para reciclarlo.

- Recubrimiento pulverizado.- Se aplican como partículas sólidas y secas, finalmente pulverizadas que se funden en las superficies para formar una película liquida uniforme. Después de la cual se presolidifican en un recubrimiento seco.

**Recubrimientos para estructuras enterradas.-** Para estructuras enterradas o sumergidas en las que el mantenimiento es complicado o a veces imposible, un grado de protección física adicional es necesario. Varios tipos de recubrimientos

son utilizados, desde aquellos de gran espesor como el concreto hasta aquellos sumamente delgados como las pinturas, cada uno tiene su caso de aplicación apropiado, desde los años 60 la mayoría de tanques y tubería enterradas han venido siendo recubiertos con matrices epóxicas, dentro de las cuales se aplican mallados (como es el caso de la fibra de vidrio) sin embargo en los últimos veinte años recubrimientos como el polietileno de alta densidad y el poliuretano han ganado espacio en el mercado .

Las propiedades requeridas para considerar adecuado un recubrimiento para una estructura adecuada son las siguientes:

- Facilidad de aplicación: El recubrimiento debe presentar facilidades de aplicación y velocidad de secado.
- Buena adhesión al metal.
- Resistencia al impacto: El recubrimiento debe ser capaz de soportar impactos sin presentar ningún tipo de fisura.
- Flexibilidad: Debe ser lo suficientemente flexible para resistir las deformaciones por pandeo así como las producidas por dilatación térmica.
- Impermeable al agua.
- Elevada resistencia eléctrica: Debe ser un aislante eléctrico y no debe contener ningún material conductor.
- Estabilidad física y química: No debe presentar efectos de envejecimiento y debe presentar estabilidad a las temperaturas operación.
- Resistencia a las bacterias: Debe presentar resistencia a la acción de las bacterias presentes en los suelos.

Uno de los recubrimientos de amplia aplicación en tanques para almacenamiento de combustibles líquidos es el poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV o FRP por sus siglas en ingles), que es un material compuesto y formado por dos materiales fundamentales: una matriz constituida por una resina sintética de tipo poliéster y un refuerzo de fibra de vidrio contenido en el anterior. La matriz de poliéster es un aglomerante perfecto para el refuerzo, ya que asegura la participación simultánea de todos los filamentos contenidos por ella, siendo

además una barrera excelente frente a los agentes químicos y ambientales. Además al ser un material dieléctrico está excluido de los casos de corrosión electroquímica.

- **Inhibidores.-** Son sustancias químicas que protegen al metal contra el ataque electroquímico de soluciones agresivas. Son usados ampliamente por la industria para modificar el comportamiento de las aguas, su principio de funcionamiento es formar en la superficie misma de los electrodos de la pila causante de la corrosión un compuesto insoluble o la fijación de una determinada materia orgánica, con el objeto de polarizar la pila de corrosión.

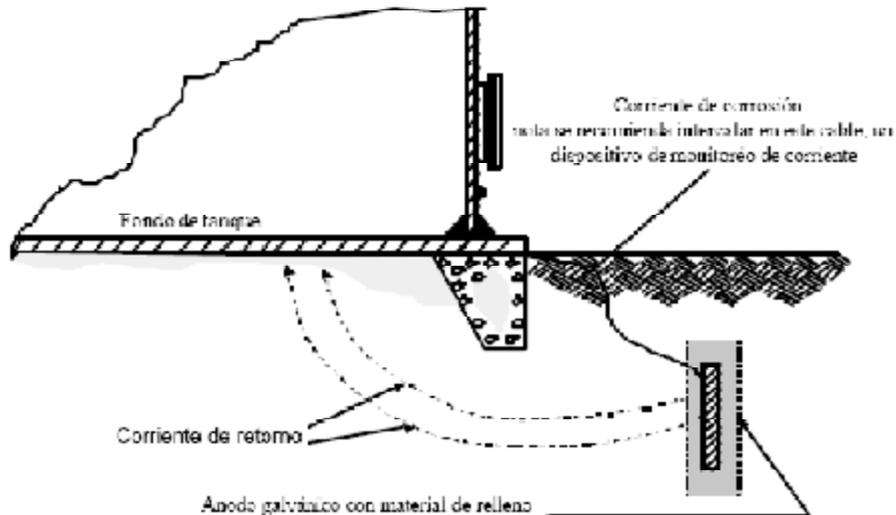
Los inhibidores anódicos actúan formando un compuesto insoluble (óxido férrico), el cual precipita en los lugares anódicos, evitando la reacción anódica y por tanto, inhibiendo la corrosión.

Los inhibidores catódicos, en cambio, actúan sobre toda la superficie y son menos eficaces. Reducen la corrosión mediante la formación de una capa o película de alta resistencia eléctrica sobre la superficie, la cual funciona como una barrera para la corriente de corrosión.

- **Protección catódica.-** La corrosión suele ser un fenómeno electroquímico por lo que se puede intentar combatirlo conectando el metal que se quiere proteger a otro metal menos noble (según la serie galvánica) que actuará entonces como ánodo de sacrificio (también llamado galvánico) o bien conectando el metal al polo negativo de una fuente exterior de corriente continua.

**Ánodo de sacrificio.-** Es un material que se junta al acero que se va a proteger, formando un circuito electroquímico. El ánodo de sacrificio se corroe, cediendo electrones al metal y evitando la reacción anódica en el acero, protegida por el "sacrificio" del ánodo. Esencialmente, el ánodo de sacrificio (magnesio, aleaciones base de magnesio, cinc y aluminio) suministra la energía eléctrica necesaria para la protección de la estructura.

Para mejorar las condiciones de operación de los ánodos, se utilizan algunos rellenos, entre ellos el de Backfill especialmente con ánodos de zinc y magnesio, estos productos químicos rodean completamente el ánodo promoviendo el desgaste homogéneo del ánodo. La composición típica del Backfill para ánodos galvánicos está constituida por yeso, bentonita y sulfato de sodio.



**Figura 2.15:** Esquema de protección catódica con ánodos de sacrificio.

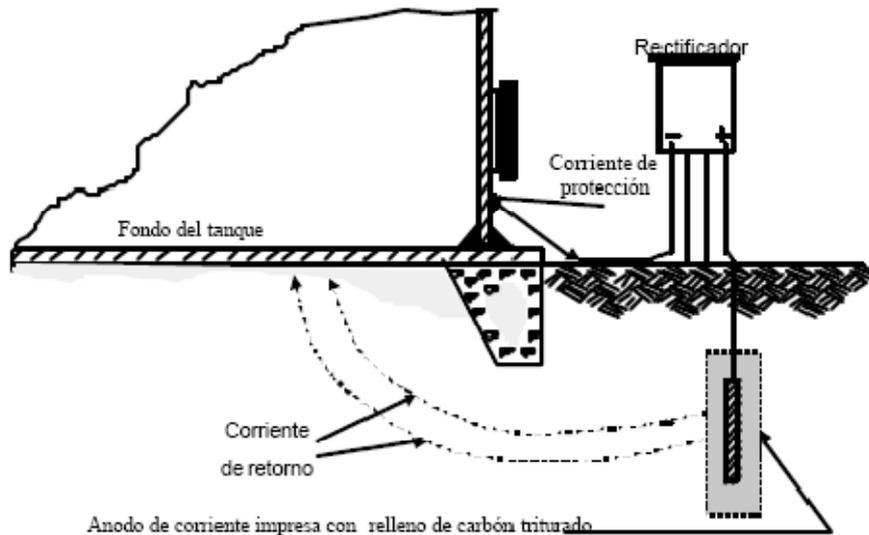
**Fuente:** Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos

**Corriente impresa.-** Tanto el acero como el cobre, plomo y bronce son algunos de los metales que pueden ser protegidos de la corrosión por este método. La protección se logra aplicando una corriente externa a partir de un rectificador que suministra corriente continua de bajo voltaje. El terminal positivo de la fuente de corriente se conecta a un ánodo auxiliar localizado a una determinada distancia de la estructura a proteger y el terminal negativo se conecta a la estructura metálica.

Los ánodos utilizados para este método son: la chatarra de hierro, ferrisilicio, grafito, titanio platinado, entre los principales.

En la práctica, la corriente necesaria para proteger una estructura desnuda suele ser demasiado grande como para ser rentable económicamente. La estructura

entonces, se recubre con algún revestimiento para proporcionarle protección frente al medio agresivo, reservándose la protección catódica para proteger la estructura sólo en aquellos puntos en que no pueda lograrlo el revestimiento.



**Figura 2.16:** Esquema de protección catódica con corriente impresa.

**Fuente:** Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos

- **Pasivación.**- Se refiere a la formación de una película relativamente inerte, sobre la superficie de un material (frecuentemente un metal), que lo enmascara en contra de la acción de agentes externos.

En muchos casos, la formación de esta película pasivante es espontánea cuando el metal entra en contacto con el agente externo. Un ejemplo clásico es el aluminio, cuando una superficie de este metal entra en contacto con el aire ambiental, la parte más externa del objeto se oxida espontáneamente para formar una capa transparente e impermeable de alúmina, muy congruente y adherente.

Existen muchas técnicas para fomentar, robustecer o inclusive crear artificialmente una película pasivante en metales, tales como el fosfatado, pavonado, anodizado.

En las técnicas artificiales para la creación de una capa pasiva, ésta es obtenida por la reacción en las superficies externas del metal con el porcentaje en volumen del ácido en agua especialmente purificada; por consiguiente, el grosor de la capa

pasiva es mínimo. Esto significa que cualquier maltrato a la superficie protegida, puede causar que el objeto sea vulnerable a reacciones en el área dañada.

## 2.4 TANQUES HORIZONTALES PARA ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE LÍQUIDO

### 2.4.1 ESTÁNDARES UL-58 y UL-1746

Los estándares de Underwriters Laboratories Inc.<sup>12</sup> para tanques de almacenamiento subterráneo de líquidos combustibles e inflamables incluyen: UL-58 (Steel Underground Tanks for Flammable and Combustible Liquids) y UL-1746 (External Corrosion Protection for Steel Underground Tanks).

- **UL-58.-** Cubre tanques subterráneos de acero, de pared simple o doble. Fue publicado por primera vez en 1925 al transferir hacia esta edición las regulaciones para la instalación de contenedores de líquidos peligrosos de la National Board of Fire Underwriters<sup>13</sup>.

La edición de diciembre de 1996 permite al fabricante reducir el espesor mínimo de acero basado en una de las ecuaciones de Roark, si la reducción supera el 25% es necesario realizar una prueba de presión externa, en la que el tanque es sumergido por una hora en agua a la profundidad de entierro o a 5ft (la que sea mayor), el tanque no debe colapsar, tener filtraciones o pandearse (definido como una deflexión mayor al 5% del diámetro del tanque) durante la prueba.

UL-58 especifica que durante la producción, cada tanque deber ser probado contra fugas antes de aplicarse el recubrimiento y proceder al envío.

- **UL-1746.-** Este estándar fue publicado por primera vez en 1989, establece requerimientos para la protección contra la corrosión de tanques subterráneos. El

---

<sup>12</sup> Underwriters Laboratories Inc. (UL) es una organización sin fines de lucro fundada en 1894 para establecer, mantener y operar laboratorios destinados a examinar y probar equipos, sistemas y materiales, además de definir y publicar estándares y especificaciones para materiales, equipos, productos, métodos constructivos y sistemas.

<sup>13</sup> National Board of Fire Underwriters (NBFU) fue fundada en 1866 para trabajar sobre la prevención de incendios, el manejo de sustancias peligrosas y control de desastres.

tanque base es construido de acuerdo a UL-58 y posteriormente la protección contra corrosión es añadida de acuerdo a UL-1746. Los tipos de protección incluye:

- PARTE I: Tanques protegidos catódicamente.
- PARTE II: Tanques compuestos
- PARTE III: Tanques enchaquetados

## **2.4.2 Materiales**

De acuerdo en el art. 76 del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador, los tanques para almacenamiento de combustible en estaciones de servicio deben ser fabricados con planchas de acero al carbón de conformidad con el código correspondiente y recubiertos exteriormente con fibra de vidrio o similar.

Según UL-58 los tanques deben ser construidos con acero al carbón o acero inoxidable del tipo 304 o 316. Para los aceros al carbono establece que el acero debe cumplir con la especificación para acero estructural ASTM A36 o su vez ASTM A569, ASTM A635. También se pueden emplear aceros con un contenido de carbono de máximo 0,3% o una equivalencia de carbono menor al 0,53%, siempre y cuando presenten una resistencia mecánica y características de soldabilidad similares a las de los aceros enumerados anteriormente.

Más del 90% de todos los aceros que se producen en la actualidad son aceros al carbono, estos aceros tienen como elementos principales de resistencia al carbono y al manganeso en cantidades cuidadosamente dosificadas. La dureza y resistencia del acero aumentan a medida que el porcentaje de carbono incrementa, sin embargo el acero resultante es más frágil y su soldabilidad disminuye considerablemente.

Los aceros al carbono contienen los siguientes elementos con cantidades máximas de: Carbono 1.7%, Manganeso 1.65%, Silicio 0.60% y Cobre 0.60%. Estos aceros se dividen en cuatro categorías dependiendo del porcentaje de carbono:

1. Acero de bajo contenido de carbono, menor al 0.15%
2. Acero dulce al carbono (0.15 a 0.29%), este es el acero estructural de mayor uso.
3. Acero de medio carbono (0.30 a 0.59%)
4. Acero con alto contenido de carbono (0.6 a 1.7%)

El acero A-36 es un acero al carbono, cuyas propiedades mecánicas y requerimientos químicos se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 2.1:** Propiedades mecánicas y requerimientos químicos del acero A-36 calidad estructural.

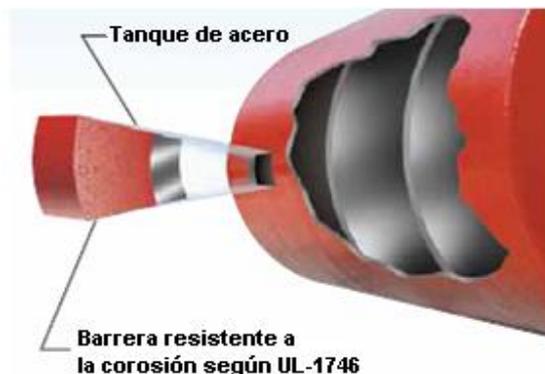
Propiedades mecánicas	
Límite de fluencia, Mpa(KSI)	250(36) mín
Resistencia a la tracción, MPa(KSI)	400(58)mín-550(79) máx
% de alargamiento en 8”:	20 mín
Composición química (análisis de colada)	
% Carbono	0.26 máx.
% Manganeso	0.8-1.20
% Fósforo	0.04 máx.
% Azufre	0.05 máx.
% Silicio	0,40 máx.
%Cobre	0.20 máx.

**Fuente:** Dipac Manta, [www.dipacmanta.com](http://www.dipacmanta.com)

### 2.4.3 Características generales

En el artículo 76 del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador correspondiente a Tanques en Estaciones de Servicio se establece que los tanques para almacenamiento de líquidos combustibles e inflamables deberán ser tanques cilíndricos, atmosféricos, de instalación horizontal, fabricados bajo los estándares UL-58 y UL-1746 si son para instalación subterránea y bajo el estándar UL-142 si son tanques sobre superficie. Básicamente existen dos tipos de tanques para instalación subterránea: Los tanques compuestos de pared simple y tanques de contención secundaria.

- **Tanques compuestos de pared simple:** Son tanques de acero de una sola pared recubiertos con un material no metálico adherido al tanque externamente para protegerlo contra la corrosión y la abrasión, estos tanques son construidos conforme UL-58 y UL-1746, parte II, bajo la cual el recubrimiento debe ser de fibra de vidrio con espesor de al menos 0,100" (2,54 mm). Los primeros tanques de este tipo fueron fabricados en 1967 bajo la aprobación del Steel Tank Institute<sup>14</sup>. Este tipo de tanque es de gran aplicación en estaciones de servicio dentro del Ecuador debido a su bajo costo de producción.



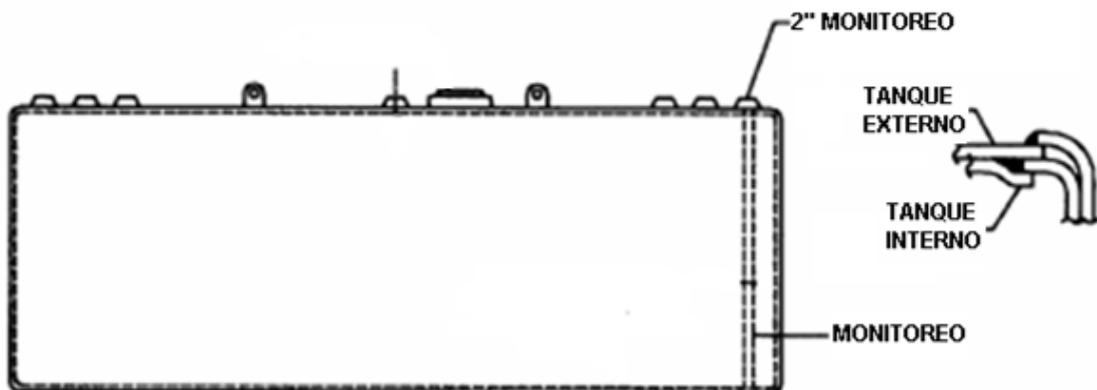
**Figura 2.17:** Detalle de tanque compuesto de pared simple.

**Fuente:** Modern Welding Company.

<sup>14</sup> Steel Tank Institute creado en 1916 y asociado a la Steel Plate Fabricators Association(1933) desde el 2004, ofrece un amplio rango de servicios para las industria de fabricación de tanques de acero, recipientes de presión, tuberías de petróleo, almacenamiento de químicos, alimentos y agua. Su misión es investigar sobre nuevas tecnologías, elaborar estándares, recomendar prácticas y procedimientos, además de certificar a fabricantes, instaladores y verificadores.

- **Tanques de contención secundaria:** Son tanques conformados por dos paredes de acero y según UL-58 pueden ser de dos tipos:

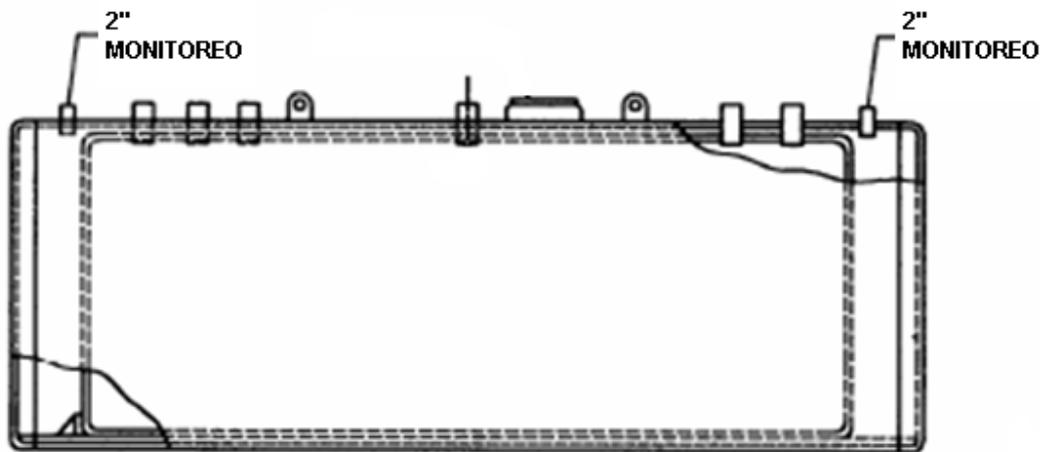
Tanques Tipo I: Un tanque primario interno esta envuelto por un cuerpo de acero de tal forma que ambos están en contacto directo (creando espacio intersticial mínimo). El cuerpo exterior puede envolver menos de los 360° de la circunferencia del tanque interno.



**Figura 2.18:** Esquema de tanque de contención secundaria Tipo I.

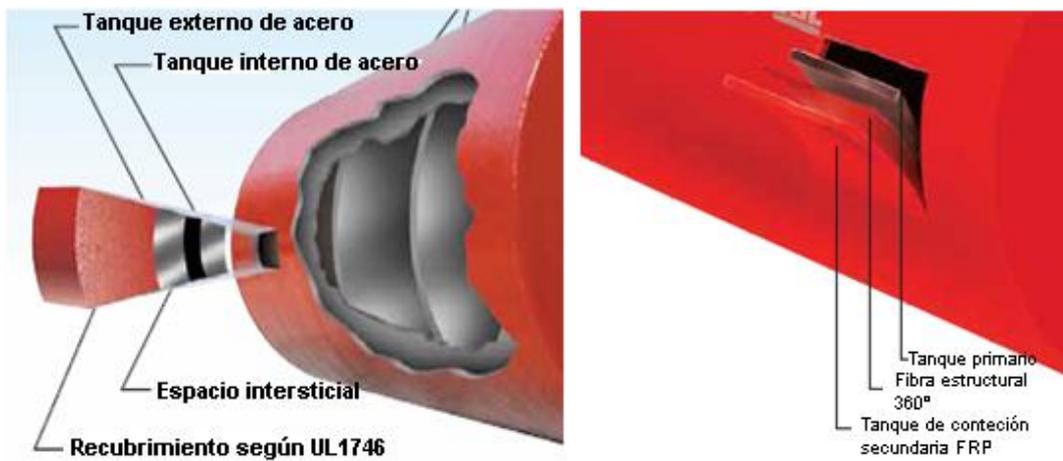
**Fuente:** Modern Welding Company.

Tanques Tipo II: Un tanque externo contiene completamente al tanque primario, se encuentran separados físicamente, generalmente por 2" o 3". El tanque externo puede ser de acero, fibra de vidrio o polietileno de alta densidad; en el caso de que no sea de acero son llamados tanques encaquetados, estos están contemplados en UL-1746, parte III. Comúnmente una vez fabricados se crea un vacío en el intersticio el mismo que sirve para detectar cualquier tipo de filtración en cualquiera de los dos tanques.



**Figura 2.19:** Esquema de tanque de contención secundaria Tipo II.

**Fuente:** Modern Welding Company.



**Figura 2.20:** Detalle de tanques de contención secundaria Tipo II, con tanque externo de acero y de FRP (enchafetado).

**Fuente:** Modern Welding Company.

Los tanques de contención secundaria han ganado popularidad a lo largo del tiempo, especialmente para su utilización en áreas consideradas sensibles, ya que se los considera ecológicamente amigables.

De ser necesario los tanques subterráneos pueden ser divididos en varios compartimentos internos pudiendo de esta forma contener múltiples productos en un mismo tanque; algunas de las razones para utilizar tanques compartidos son la reducción de los costos del seguro, los de instalación (referido a movimientos por grúa), la necesidad de utilización de un solo sistema para detección de intersticial de fugas (en vez de varios) en tanques Tipo II, y la fabricación de un único tanque de contención secundaria en tanques Tipo I o II.

Otra característica importante para tanques subterráneos es la relación largo / diámetro, que como se establece en UL-58 y en el Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador no deberá ser mayor a 6.

Los tanques para instalación sobre superficie según UL-142 pueden ser horizontales cilíndricos, verticales cilíndricos o de forma rectangular, de pared simple o de contención secundaria.

Para su uso en estaciones de servicio los tanques deben estar provistos de un manhole y varias conexiones para tubería, típicamente con los siguientes diámetros:

- 3 conexiones con un diámetro nominal de 4", una para carga de combustible, otra para la instalación de la bomba sumergible y una tercera para la instalación del sistema para medición electrónica del nivel de combustible.
- 2 conexiones de con un diámetro nominal de 2", una para la medición manual del nivel de combustible y otra para venteo (para tanques entre 3001 y 10000 galones según UL-58).

#### 2.4.4 Construcción de tanques de acero

Cada fabricante de tanques emplea un procedimiento propio de fabricación que puede diferir en muchas formas de los utilizados por los demás, sin embargo de manera general los tanques se construyen de la siguiente manera:

Una vez fabricadas, las planchas de acero son enrolladas en bobinas con la finalidad de facilitar su transporte y almacenamiento. La mayoría de fabricantes de tanques optan por comprar el acero a proveedores que se encargan de desenrollar y cortar a la medida requerida las planchas antes de proceder al envío.

Dentro del lugar de construcción las planchas de acero siguen uno de los dos procedimientos citados a continuación para la construcción del cuerpo cilíndrico de los tanques:

- a. El primero consiste en el rolado individual de cada uno de los anillos del cilindro a través de una baroladora, para su posterior ensamble.
- b. El segundo es un procedimiento que consiste en “enrollar” todos los anillos del cuerpo cilíndrico al mismo tiempo, a través de la utilización de tecles y cadenas, empleando como generatrices las cabezas de tanque. Dado que este procedimiento será utilizado para el desarrollo del presente proyecto se lo tratará más a fondo en el capítulo 4.



**Figura 2.21:** Procesos “a” y “b” para la construcción del cuerpo cilíndrico.

**Fuentes:** [www.alme.com](http://www.alme.com) y memoria fotográfica del proyecto.

Cuando el cilindro ha sido construido se efectúan los cordones de soldadura en la parte interna del tanque, una vez que éstos han sido completados, se procede buscar material sano en las juntas externas mediante el uso de moladoras para posteriormente ejecutar la soldadura en la parte externa del tanque. Los tipos de junta y sus características tanto para el cuerpo como para las cabezas se encuentran especificados en UL-58 partes 5 y 6 respectivamente. Dos de los procesos de soldadura más empleados en el país son el SMAW (Shielded Metal Arc Welding) y GMAW (Gas Metal Arc Welding) también conocido como MIG MAG, cada uno tiene su campo de aplicación adecuado. El proceso SMAW es el más común, los costos de equipos y materiales son bajos, es adecuado para su uso en exteriores y además es portátil, no obstante es un proceso lento ya que requiere del cambio de electrodo una vez que éste se ha consumido. El proceso GMAW tiene una elevada tasa de deposición de material, es un proceso de mayor velocidad y produce un cordón más uniforme que el proceso SMAW, sin embargo su uso en exteriores no es recomendado.

La mayoría de fabricantes opta por utilizar cabezas planas con ceja para la fabricación de sus tanques, en especial si emplean el procedimiento "b". El número de partes en las que puede estar dividida la cabeza y sus características están definidas de acuerdo al diámetro del tanque en UL-58.

Luego se realizan los cortes necesarios para la ubicación del manhole y de las conexiones de tubería necesarios y se procede a la colocación de los mismos, en UL-58 las especificaciones tanto para conexiones de tubería como para manholes se encuentran en las partes 8 y 9 correspondientemente.

En este punto es pertinente la realización de pruebas de hermeticidad en los tanques, si al realizar las pruebas se encuentran fugas, los cordones de soldadura defectuosos deben ser reparados tanto interna como externamente y el tanque debe ser sometido a una nueva prueba. En UL-58 la parte 11 corresponde a las pruebas de producción.

Finalmente, se aplica el recubrimiento contra la corrosión respectivo de acuerdo a las especificaciones de UL-1746.

#### **2.4.5 Pruebas de verificación**

UL-58 establece que la hermeticidad de todo tanque deber ser comprobada por el fabricante a través de uno de los siguientes procedimientos:

- a. Aplicando presión interna de aire de entre 3 y 5 psig; detectando posibles fugas a través de una solución jabonosa.
- b. Llenando el tanque con agua y aplicando una presión adicional de 5 psig, ubicando el tanque en una posición similar a la que tendrá durante la instalación.

Por otra parte, el Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador establece que los tanques deberán ser probados hidrostáticamente in situ con agua limpia para verificar su hermeticidad previamente a su utilización.

Según UL-1746 los tanques de contención secundaria enchaquetados deben ser probados contra fugas manteniendo en el intersticio una presión de vacío mayor o igual a 13 pulgadas de mercurio durante 24 horas.

# CAPÍTULO 3

## DISEÑO

### 3.1 DISEÑO MECÁNICO

#### 3.1.1 Códigos y estándares de referencia

El presente capítulo se basa en normas, especificaciones y códigos establecidos en el Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador para el diseño y la construcción de tanques subterráneos para almacenamiento de combustible líquido en estaciones de servicio.

Las normas y especificaciones a las que constantemente se hará referencia son: UL 58 para especificaciones de construcción (Steel Underground Tanks for Flammable and Combustible Liquids), UL 1746 para especificaciones del recubrimiento contra la corrosión (External Corrosion Protection Systems for Steel Underground Storage Tanks) y el Reglamento ambiental para operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador, Art 76. Tanques en estaciones de servicio.

En el desarrollo del diseño, además de los estándares ya mencionados, se acudirá a bibliografía especializada en el tema, a fin de tener las herramientas necesarias para que el diseño arroje resultados correctos.

#### 3.1.2 Cálculos

Para efectuar los cálculos, el diseñador debe tomar en consideración varios parámetros de diseño y aplicar criterios de ingeniería con el fin de que los resultados que se obtengan sean satisfactorios, tanto en el papel como en la práctica, ya que el proyecto en desarrollo no solo se queda en el diseño, sino, va más allá, con la construcción.

Los tanques para almacenamiento de combustible deben ser diseñados en base a lo que requiere el propietario y ciertas condiciones físicas del lugar de instalación, como son:

1. Número de tanques
2. La capacidad volumétrica de cada tanque
3. El número de compartimentos por tanque
4. El espacio físico con el que se cuenta en el área de almacenamiento.

El diseñador debe analizar estos requerimientos y con el manejo de los estándares y conocimientos de diseño, cumplirlos a cabalidad y al menor costo.

Según factores físicos y económicos, el diseñador debe plantear alternativas, para que sean analizadas en conjunto con el contratista y así determinar el camino seguir. En los proyectos de diseño es común considerar los factores económicos sobre los demás, por lo que se tendrá en cuenta que los costos de fabricación sean los menores, sin descuidar el cumplimiento de las normas de diseño.

Las variables que se pueden manejar para brindar algunas opciones de diseño son:

1. Tipo de tanque
2. Materiales
3. Dimensiones
4. Protección contra la corrosión

Mediante el manejo de estas variables el diseñador puede presentar alternativas al propietario, cada una con sus ventajas y desventajas, para tomar la decisión que más convenga.

### **3.1.2.1 Cantidad, capacidades y dimensiones de los tanques**

La capacidad volumétrica de los tanques se determina en base a los resultados obtenidos en un estudio de mercado sobre consumo de combustibles, que es realizado por la empresa comercializadora en el sector donde se piensa implementar la estación de servicio. El estudio indica cuantos galones se venderán

aproximadamente al mes de cada producto y el número de recargas mensuales que se deben realizar, con estos datos y otros parámetros tales como: el espacio disponible para el área de carga y las condiciones de diseño especificadas en las normas de referencia, se establece el número de tanques, las capacidades volumétricas, dimensiones y el número de compartimentos por tanque.

En la tabla 3.1 a continuación se muestra los resultados de los primeros estudios.

**Tabla 3.1:** Resultados del estudio de mercado de consumo de combustibles

#	Producto	Consumo aprox. (gal/mes)	Recargas mensuales	Volumen aprox. para almacenamiento (gal)	Volumen sugerido (gal)
1	Gasolina súper	9500	2	4750	6000
2	Gasolina extra	17000	2	8500	10000
3	Diesel	18500	2	9250	10000

Según los resultados obtenidos en el estudio se ha determinado fabricar tres tanques, uno para cada producto, con las características que se dan a continuación en la tabla 3.1.2.

**Tabla 3.2:** Cantidad y volumen nominal de los tanques de almacenamiento

#	PRODUCTO	No. DE TANQUES	COMPARTIMENTOS	VOLUMEN (gal)
1	Gasolina súper	1	1	6000
2	Gasolina extra	1	1	10000
3	Diesel	1	1	10000

La Norma UL 58 en su párrafo 3.3 indica el volumen real de almacenamiento que debe tener el tanque, éste no debe ser menor al nominal, ni superar el 105%, mientras que el Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador permite que el volumen máximo sea 110% del volumen nominal. Para este diseño el incremento es del 2.5% al volumen de cada tanque.

**Tabla 3.3:** Volúmenes reales de los tanques de almacenamiento

#	PRODUCTO	VOLUMEN NOMINAL (gal)	INCREMENTO (%)	VOL CALCULADO (gal)	VOLUMEN CALCULADO (m3)
1	Gasolina súper	6000	2.5	6150	23.28
2	Gasolina extra	10000	2.5	10250	38.80
3	Diesel	10000	2.5	10250	38.80

**Ejemplo de cálculo:**

$V_{nom} := 6000 \text{ gal}$

$Iv := 2.5 \%$

$$V := V_{nom} + \frac{Iv}{100} \cdot V_{nom} \tag{3.1}$$

$$V = 6.15 \times 10^3 \text{ gal}$$

$$Fc_1 := 0.003785412$$

$$V_I := V \cdot Fc_1$$

$$V_I = 23.28 \text{ m}^3$$

Donde:

$V_{nom}$ , volumen nominal (gal)

$Iv$ , incremento volumétrico (%)

$V$ , volumen real (gal)

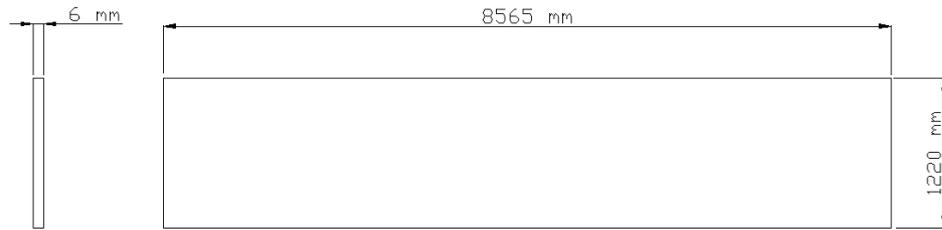
$Fc_1$ , factor de conversión de gal a m<sup>3</sup>

$V_I$ , volumen real en S.I. (m<sup>3</sup>)

Las planchas de acero A36 a utilizarse en el proyecto tienen las siguientes dimensiones:

- Largo: 8565 mm
- Ancho: 1220 mm
- Espesor: 6 mm

Según Norma UL 58, tabla 3.1



**Figura 3.1:** Dimensiones de las planchas de acero ASTM A36 para el proyecto

El espesor de las láminas de acero ha sido seleccionado de acuerdo a la tabla 3.1 de la Norma UL 58. Los cálculos del punto 3.1.2.2 validarán la selección realizada y en la tabla 3.12 se mostrarán los mínimos espesores permitidos.

Las láminas de acero van a formar el cuerpo del tanque, de manera que el largo de lámina es el perímetro del círculo que forma el tanque.

Es necesario conocer las dimensiones internas como externas de los tanques, para que futuros cálculos sean acertados.

**Tabla 3.4:** Diámetro interno y externo de los tanques

	m	plg
<b>Diámetro interno</b>	2.720	107.10
<b>Diámetro externo</b>	2.732	107.57

**Ejemplo de cálculo:**

$$Di_I := \frac{\frac{Lp}{\pi} - Ep}{1000} \tag{3.2}$$

$$Di_I = 2.72 \quad m$$

$$Fc2 := 39.37$$

$$Di := Di_I \cdot Fc2$$

$$Di = 107.1 \quad plg$$

$$De\_I := \frac{\frac{Lp}{\pi} + Ep}{1000} \quad (3.3)$$

$$De\_I = 2.732 \quad m$$

$$De := De\_I \cdot Fc2$$

$$De = 107.57 \quad plg$$

Donde:

Di\_I, diámetro interno en el S.I. (m)

Lp, longitud de la plancha de acero (mm)

Ep, espesor de la plancha de acero (mm)

Fc2, factor de conversión de m a plg

Di, diámetro interno (plg)

De\_I, diámetro externo en el S.I. (m)

De, diámetro externo (plg)

Ya con el valor del diámetro interno de los tanques, se realiza el cálculo de la longitud correspondiente a cada uno, utilizando el dato del volumen real de combustible para cada producto. Los resultados de las longitudes obtenidas son los siguientes.

**Tabla 3.5:** Longitudes de los tanques

Producto	Longitud	
	m	plg
Gasolina súper	4.01	157.7
Gasolina extra	6.68	262.83
Diesel	6.68	262.83

### Ejemplo de cálculo:

$$Fc3 := 231$$

$$L := \frac{V \cdot 4 \cdot Fc3}{\pi \cdot Di^2} \quad (3.4)$$

$$L = 157.7 \quad \text{plg}$$

$$Fc4 := 0.0254$$

$$L_I := L \cdot Fc4$$

$$L_I = 4.006 \quad \text{m}$$

$$L_I := 4.01 \quad \text{m}$$

Donde:

Fc3, factor de conversión de gal a plg<sup>3</sup>

L, longitud del tanque (plg)

V, volumen real (gal)

Di, diámetro interno (plg)

Fc4, factor de conversión de plg a m

L\_I, longitud del tanque en S.I. (m)

Con los datos de las longitudes, se obtiene el número de planchas de acero necesarias para el cuerpo de cada tanque.

**Tabla 3.6:** Número de planchas de acero

Producto	# de planchas	Planchas completas	Fracción (mm)
Gasolina súper	3.287	3	350
Gasolina extra	5.475	5	580
Diesel	5.475	5	580

### Ejemplo de cálculo:

$$N_p := \frac{L_I \cdot 1000}{A_p} \quad (3.5)$$

$$N_p = 3.287$$

$$F_p := (N_p - 3) \cdot A_p$$

$$F_p = 350 \text{ mm}$$

Donde:

$N_p$ , número de planchas

$F_p$ , fracción de plancha

$L_I$ , longitud del tanque (m)

$A_p$ , ancho de plancha (mm)

Posterior al cálculo de las dimensiones de longitud y diámetro de los tanques, es necesario que se determine sus masas, ya que es un dato importante que se debe tener en cuenta para su construcción y transporte.

Datos adicionales necesarios para el cálculo de las masas de los tanques son: la densidad del acero ASTM A36 y de la fibra de vidrio que se utilizará como recubrimiento contra la corrosión.

La masa de cada tanque va a ser calculada por partes: cuerpo, cabezas y recubrimientos.

Los resultados que se muestran a continuación exponen la masa de cada parte de los tanques exceptuando manhole y conexiones, cuyos valores se encuentran en el anexo A:

**Tabla 3.7:** Masas de los tanques

Tanque	Masas (kg)				Total
	Cuerpo	Cabezas	Recubrimiento cuerpo	Recubrimiento cabezas	
Gasolina súper	1618	569	156	53	2396
Gasolina extra	2695	569	259	53	3576
Diesel	2695	569	259	53	3576

### Ejemplo de cálculo:

$$\rho_{ac} := 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{frp} := 1500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Según el proveedor CEPSA

Donde:

$\rho_{ac}$ , densidad del acero ASTM A36 (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_{frp}$ , densidad del recubrimiento de fibra de vidrio (kg/m<sup>3</sup>)

### Masa del cuerpo

$$Fc7 := 0.001$$

$$m1 := (Ep \cdot Fc7) \cdot (Lp \cdot Fc7) \cdot L_I \cdot \rho_{ac}$$

$$m1 = 2.695 \times 10^3 \quad \text{kg}$$

(3.6)

Donde:

Fc7, factor de conversión de mm a m

m1, masa del cuerpo (kg)

Ep, espesor de plancha (mm)

Lp, largo de plancha (mm)

### Masa de las cabezas

$$m2 := 2 \cdot \left( \frac{\pi \cdot 2.772^2}{4} \cdot Ep \cdot Fc7 \cdot \rho_{ac} \right) \quad (3.7)$$

$$m2 = 568.496 \quad \text{kg}$$

$$m2 := 569 \quad \text{kg}$$

Donde:

m2, masa de las cabezas (kg)

### Masa del recubrimiento

El recubrimiento de fibra de vidrio en la superficie externa del tanque, debe tener un espesor mínimo de 0.1 plg (2.54 mm), según la norma UL 1746, párrafo 3.2. En este proyecto se utilizará un espesor de fibra de vidrio de 0.118 plg (3 mm).

En el cuerpo:

$$m3 := \frac{1}{4} \cdot \left[ (De_I + 2 \cdot tf_I \cdot Fc7)^2 - (De_I)^2 \right] \cdot (L_I) \cdot frp \quad (3.8)$$

$$m3 = 258.314 \quad \text{kg}$$

$$m3 := 259 \quad \text{kg}$$

Donde:

m3, masa del recubrimiento en el cuerpo (kg)

tf\_I, espesor de la fibra de vidrio (mm)

En las cabezas:

$$m4 := 2 \cdot \left[ \frac{De_I^2}{4} \cdot (tf_I \cdot Fc7) \cdot frp \right] \quad (3.9)$$

$$m4 = 52.771 \quad \text{kg}$$

$$m4 := 53 \quad \text{kg}$$

Donde:

m4, masa del recubrimiento en las cabezas (kg)

### Masa total del tanque

La masa total de cada tanque es obtenida sumando las masas parciales correspondientes al cuerpo y cabezas con sus recubrimientos.

$$m_t := m_1 + m_2 + m_3 + m_4 \quad (3.10)$$

$$m_t = 3.575 \times 10^3 \quad \text{kg}$$

$$m_t := 3576 \quad \text{kg}$$

Donde:

Mt, masa total del tanque (kg)

Es necesario que se tengan datos precisos respecto a las dimensiones de los tanques, para que su construcción, transporte e instalación sean realizadas de manera correcta, con las herramientas, materiales y equipos adecuados.

En la tabla a continuación se detalla los resultados obtenidos de los cálculos de cada tanque.

**Tabla 3.8:** Resultados obtenidos sobre cantidad, capacidad y dimensiones

Tanque	Súper	Extra	Diesel
No de tanques	1	1	1
Compartimentos por tanque	1	1	1
Capacidad nominal. (gal)	6000	10000	10000
Incremento al volumen (%)	2.5	2.5	2.5
Capacidad operativa (gal)	6150	10250	10250
Diámetro interno (m)	2.720	2.720	2.720
Diámetro externo (m)	2.732	2.732	2.732
Longitud (m)	4.010	6.680	6.680
Número de planchas	3.287	5.475	5.475
Planchas completas	3	5	5
Fracción de planchas (mm)	350	580	580
Masa total (kg)	2396	3576	3576

### 3.1.2.2 Espesor de láminas y de recubrimiento contra la corrosión

Es necesario realizar la validación de los espesores utilizados tanto en el cuerpo como en las cabezas mediante el uso de las fórmulas a las que se hace referencia en la Norma UL 1746 párrafo 4A.2.2.

La validación de los espesores utilizados consiste en determinar la presión que los tanques pueden soportar en la realidad y comprobar que ésta sea mayor a la presión a la cual van a estar sometidos.

En la tabla a continuación se muestra los valores del espesor mínimo requeridos para las láminas de acero dependiendo de la capacidad de los tanques.

**Tabla 3.9:** Espesores del acero mínimos y diámetros máximos

Espesor del acero								
Capacidad	Diámetro máximo		Espesor mínimo					
			Acero al carbono				Acero inoxidable	
			Desnudo		Galvanizado			
Galones	Plg	m	Plg	mm	Plg	mm	Plg	mm
menor a 285	a	a	0.067	1.70	0.070	1.78	0.071	1.80
de 286 a 560	48	1.22	0.093	2.36	0.097	2.46	0.071	1.80
de 561 a 1100	64	1.63	0.123	3.12	0.126	3.20	0.086	2.18
de 1101 a 4000	84	2.13	0.167	4.24			0.115	2.92
<b>de 4001 a 12000</b>	<b>126</b>	<b>3.20</b>	<b>0.24</b>	<b>6.10</b>			0.158	4.01
de 12001 a 20000	144	3.66	0.302	7.67			0.209	5.31
de 20001 a 50000	144	3.66	0.365	9.27			0.240	6.10

**Fuente:** Norma UL 58, tabla 3.1

La norma UL 58 recomienda un espesor mínimo de 6.1 mm, para un volumen entre 4001 gal a 12000 gal. Las láminas de acero que se utilizarán en el proyecto tienen un espesor nominal de 6 mm con una variación de 0.1 mm con el espesor recomendado que representa un 1.67%.

En el mercado ecuatoriano se encuentra láminas de acero A36 con el espesor de 6 mm y el siguiente espesor disponible es de 8 mm, lo cual representa una gran diferencia en capacidad estructural para soportar presión y sobre todo en aspecto de costos, por tal motivo se utilizará láminas de acero con espesor de 6 mm y se verificará la funcionalidad del espesor con los cálculos propuestos por la norma UL 1746, que se detallan a continuación:

Se debe calcular el ancho equivalente con el cual se va a trabajar, dicha magnitud es determinada tomando a consideración los módulos de elasticidad tanto del acero como de la fibra de vidrio.

$$E_s := 29500000 \text{ PSI}$$

$$E_f := 9427453 \text{ PSI}$$

$$w := \frac{E_f}{E_s} \quad \text{Norma UL 1746, párrafo 4A.2.8 (3.11)}$$

$$w = 0.32$$

Donde:

$E_s$ , módulo de elasticidad del acero A36, según norma UL 1746 (psi)

$E_f$ , módulo de elasticidad de la fibra de vidrio (psi)

$w$ , ancho equivalente (adimensional)

En el punto 3.1.2.1 se propuso el espesor de fibra de vidrio que va a recubrir el exterior de los tanques (3 mm), posteriores cálculos serán hechos con dicho valor. La distancia al eje neutral es tomada desde el diámetro interno del tanque hasta la fibra neutra.

$$y_n := \frac{\left[ w \cdot t_f \cdot \left( t_s + \frac{t_f}{2} \right) + \frac{t_s^2}{2} \right]}{(w \cdot t_f + t_s)} \quad \text{Norma UL 1746, párrafo 4A.2.8 (3.12)}$$

$$y_n = 0.143 \text{ plg}$$

Donde:

$y_n$ , distancia al eje neutral (plg)

$w$ , ancho equivalente (adimensional)

$t_f$ , espesor del recubrimiento de fibra de vidrio (plg)

$t_s$ , espesor de las láminas de acero (plg)

Con los resultados del ancho de pared equivalente y la distancia al eje neutral, se procede al cálculo del momento de inercia que se genera alrededor de dicho eje.

$$I_x := \frac{w \cdot t_f^3}{12} + \left[ w \cdot t_f \cdot \left[ t_s + \left( \frac{t_f}{2} \right) - y_n \right]^2 \right] + \frac{t_s^3}{12} + t_s \cdot \left[ y_n - \left( \frac{t_s}{2} \right) \right]^2$$

Norma UL 1746, párrafo 4A.2.8 (3.13)

$$I_x = 2.164 \times 10^{-3} \quad \text{plg}^4$$

Con el valor del momento de inercia que se genera alrededor del eje neutral se puede determinar el espesor equivalente de acero, según Norma UL 1746.

$$t_{eq} := (12 \cdot I_x)^{\frac{1}{3}}$$

Norma UL 1746, párrafo 4A.2.8 (3.14)

$$t_{eq} = 0.296 \quad \text{plg}$$

Donde:

$t_{eq}$ , espesor equivalente de acero (plg)

$I_x$ , momento de inercia alrededor del eje neutral (plg<sup>4</sup>)

A continuación se calcula el valor de la presión de falla de cada tanque, vale recalcar que todos los resultados encontrados hasta el momento en el punto 3.1.2.2 sirven para los tres tanques ya que involucran parámetros que son

constantes. La presión de falla será distinta para los tanques que no tengan igual longitud, y los resultados se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 3.10:** Presiones de falla

Tanque	Volumen nominal (gal)	Presión de falla (psi)
Gasolina súper	6000	19.606
Gasolina extra	10000	11.764
Diesel	10000	11.764

**Ejemplo de cálculo:**

**Presión de falla tomando en cuenta el aporte estructural del FRP**

$$P := \left( \frac{0.807 \cdot E_s \cdot t_{eq}^2}{L \cdot r} \right) \left[ (1 - u^2)^{-3} \cdot \left( \frac{t_{eq}}{r} \right)^2 \right]^{0.25}$$

Ecuación de Roark, Norma UL 1746, párrafo 4A.2.1 (3.15)

P = 19.606 psi

Donde:

Es, Módulo de elasticidad del acero A36 (psi)

ts, espesor del acero (plg)

L, Longitud del tanque (plg)

r, radio del tanque (plg)

u, coeficiente de Poisson (adimensional)

t<sub>eq</sub>, espesor equivalente del acero (plg)

P, presión de falla con FRP (psi)

La forma para determinar si la selección del espesor de lámina de acero es correcta, es comparando la presión que los tanques pueden soportar según la

fórmula de Roark con la presión hidrostática generada por una columna de agua con una altura igual al diámetro del tanque más 5 pies (1.5 m) o a su vez la profundidad de entierro especificada por el constructor, la que sea mayor. Para el caso de los tanques del proyecto estarán enterrados a menos de 5 pies.

A continuación detallan los cálculos de la presión hidrostática, que será la misma en los tres casos ya que su diámetro es el mismo.

$$P1 := \rho \cdot \left( 5 + \frac{D_i}{12} \right) \cdot \frac{1}{144}$$

Mecánica de fluidos aplicada, Robert Mott,  
cuarta edición, ecuación 3-3 (3.16)

$$P1 = 6.034 \quad \text{psi}$$

Donde:

P1, presión hidrostática

$\rho$ , densidad del agua dulce (62.4 libras/pie<sup>3</sup>)

$D_i$ , diámetro interno (plg)

La presión hidrostática de prueba calculada es menor a las presiones capaces de soportar los tanques según la fórmula de Roark, por lo tanto se concluye que los espesores de láminas de acero y de FRP son adecuados para la construcción de los tanques.

**Tabla 3.11:** Factor de seguridad de los tanques

Tanque	Presión de falla (psi)	Presión hidrostática (psi)	Factor de seguridad
Gasolina súper	19.606	6.034	3.25
Gasolina extra	11.764	6.034	1.95
Diesel	11.764	6.034	1.95

**Ejemplo de cálculo:**

$$FS := \frac{P}{P1} \tag{3.17}$$

$$FS = 3.25$$

Donde:

FS, factor de seguridad

P, presión de falla (psi)

P1, presión hidrostática (psi)

Se puede validar el espesor de lámina de acero de dos maneras más, una es determinando el espesor mínimo que debe tener la pared del tanque y la otra forma es determinando la máxima longitud que puede tener el tanque con el espesor de lámina que se tiene en realidad, estos conceptos se muestran en la norma UL 1746, párrafo 4A.2.2.

A continuación se presentan los espesores mínimos que pueden tener las paredes de los tanques calculados a partir de la fórmula de Roark:

**Tabla 3.12:** Espesores mínimos de pared

Tanque	Espesor	
	plg	mm
Gasolina súper	0.185	4.69
Gasolina extra	0.227	5.76
Diesel	0.227	5.76

**Ejemplo de cálculo:**

$$t_{\min} := \left[ \frac{\left[ P1 \cdot L \cdot r^{\frac{3}{2}} \cdot (1-u^2)^{\frac{3}{4}} \right]}{0.807 \cdot Es} \right]^{0.4} \tag{3.18}$$

Norma UL 1746, párrafo 4A.2.2

$t_{\text{min}} = 0.185 \text{ plg}$   
 $F_{c6} := 25.4$   
 $t_{\text{min}_I} := t_{\text{min}} \cdot F_{c6}$   
 $t_{\text{min}_I} = 4.694 \text{ mm}$

Donde:

$t_{\text{min}}$ , espesor mínimo (plg)

$t_{\text{min}_I}$ , espesor mínimo (mm)

$P_1$ , presión en el fondo del tanque sumergido en agua (psi)

$L$ , longitud del tanque (plg)

$E_s$ , módulo de elasticidad del acero (psi)

$r$ , radio del tanque (plg)

$u$ , Coeficiente de Poisson del acero (adimensional)

El espesor de la pared para los tanques calculados con los formulas de la Norma UL 1746, párrafo 4A.2.2, es menor al espesor de lámina que se utilizará en la construcción de los tanques, por lo tanto es aceptable el espesor seleccionado de acero ASTM A36 (6 mm).

El recubrimiento contra la corrosión de FRP, como mínimo puede tener un espesor de 0.1 plg (2.54 mm). En el proyecto se desea utilizar un espesor que en promedio sea de 3 mm, por lo cual se seleccionó la fibra de vidrio Woven Roving, que según el proveedor alcanza el espesor deseado con una sola capa.

Para determinar la cantidad de fibra de vidrio y los compuestos de la resina necesarios para la aplicación del recubrimiento contra la corrosión en los tres tanques, primero se debe saber el área total a cubrir con FRP.

**Tabla 3.13:** Superficie externa de los tanques

Tanque	Superficie externa (m2)
Gasolina súper	50.755
Gasolina extra	75.963
Diesel	75.963
<b>Total</b>	<b>202.681</b>

**Ejemplo de cálculo:**

$$De := 2.732 \text{ m}^2$$

$$L := 6.680 \text{ m}$$

$$Af := \pi \cdot De \cdot L + \frac{\pi \cdot De^2}{2} + 0.10 \left( \pi \cdot De \cdot L + \frac{\pi \cdot De^2}{2} \right) \quad (3.19)$$

$$Af = 75.963 \text{ m}^2$$

Donde:

De, diámetro externa (m)

L, longitud del tanque (m)

Af, superficie externa del tanque (m2)

A la superficie total se aumenta un 10%, por perdidas de material que se pueden dar durante el proceso de construcción. Luego se debe calcular la masa de fibra de vidrio, ya con los datos de las superficies a recubrir.

**Tabla 3.14:** Masa de fibra de vidrio Woven Roving por tanque

Tanque	Masa de fibra de vidrio (kg)
Gasolina súper	41.36
Gasolina extra	61.91
Diesel	61.91
<b>Total</b>	<b>165.18</b>

### Ejemplo de cálculo:

$$\delta_s := 0.815 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$M_f := \delta_s \cdot A_f \quad (3.20)$$

$$M_f = 41.366 \text{ kg}$$

Donde:

$\delta_s$ , densidad superficial de la fibra de vidrio (kg/m<sup>2</sup>)

$M_f$ , masa de fibra de vidrio (kg)

$A_f$ , superficie externa de tanque (m<sup>2</sup>)

Cuando ya se obtiene la masa de fibra de vidrio necesaria, se debe calcular las masas de los compuestos para la elaboración de la resina que se coloca sobre la fibra, como son la resina de poliéster, naftaleno de cobalto y peróxido de metil etil acetona.

**Tabla 3.15:** Masas de los compuestos de la resina

Tanque	Masas (kg)		
	Resina de poliéster	Naftaleno de cobalto	Peróxido de metil etil acetona
Gasolina súper	144.78	4.34	2.90
Gasolina extra	216.68	6.50	4.33
Diesel	216.68	6.50	4.33
<b>Total</b>	<b>578.14</b>	<b>17.34</b>	<b>11.56</b>

Con estos resultados respecto a la masa de recubrimiento contra la corrosión, ya se pueden tomar decisiones de cuanto comprar de cada compuesto.

### Ejemplo de cálculo:

$$M_r := M_f \cdot 3.5 \quad (3.21)$$

$$M_r = 144.78 \text{ kg}$$

$$M_{nc} := M_r \cdot \frac{3}{100} \quad (3.22)$$

$$M_{nc} = 4.343 \text{ kg}$$

$$M_{pma} := M_r \cdot \frac{2}{100} \quad (3.23)$$

$$M_{pma} = 2.896 \text{ kg}$$

Donde:

$M_r$ , masa de resina de poliéster (kg)

$M_f$ , masa de fibra de vidrio (kg)

$M_{nc}$ , masa de Naftaleno de cobalto (kg)

$M_{pma}$ , masa de peróxido de metil etil acetona (kg)

Los porcentajes en peso sugeridos por los proveedores de la resina son los siguientes:

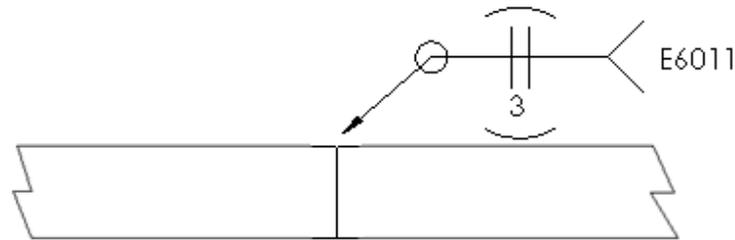
- 3,5 kg de resina de poliéster por cada kg de fibra de vidrio.
- 3% de Naftaleno de cobalto (acelerante) para una temperatura de 20°C.
- 2% de Peróxido metil etil acetona (catalizador)

Existe una ligera variación en la masa del recubrimiento contra la corrosión calculado a partir de la densidad dada por el fabricante y la masa calculada tomando en cuenta las dimensiones de los rollos de fibra de vidrio y las relaciones de masa de los compuestos que forman la resina de recubrimiento. En posteriores cálculos se utiliza la masa a partir de la densidad.

### 3.1.2.3 Juntas en el cuerpo

Los tipos de unión que se pueden realizar entre las láminas de acero en los cuerpos de los tanques están normadas por la UL 58, párrafo 5.1, donde se detallan las juntas de soldadura aceptables, con sus respectivas restricciones de construcción y las condiciones geométricas y dimensionales que deben cumplir.

En la figura 5.1, existen ocho diferentes tipos de juntas entre las láminas. Por el método de construcción y por experiencia de los fabricantes de los tanques se ha seleccionado la junta mostrada en la figura 5.1. No .1 de la norma UL 58 que se presenta a continuación:



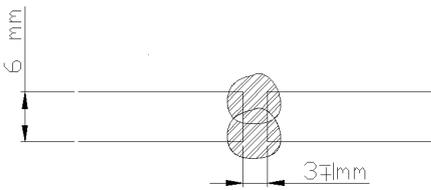
**Figura 3.2:** Tipo de junta en el cuerpo del tanque

**Fuente:** Norma UL 58, figura 5.1. No1

Como se puede ver, los datos que se ilustran en la figura son limitados, por lo tanto es necesario que se establezcan parámetros adicionales con el fin de definir en forma completa la junta y brindar a los soldadores la información necesaria para la adecuada ejecución de la soldadura.

Las especificaciones de la junta se presentan a continuación:

**Tabla 3.16:** Procedimiento de soldadura para el cuerpo del tanque

<b>ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA</b>							
<b>PROCESO(S) DE SOLDADURA :</b> SMAW				<b>TIPO(S) :</b> MANUAL			
<b>JUNTA:</b>							
<p><i>Diseño de la junta:</i> <b>A TOPE "RECTA"</b>  <i>Respaldo:</i> NO  <i>Método de preparación del bisel:</i>  <b>N/A</b></p>				<p>Detalles de junta:</p> 			
<b>METAL BASE</b>				<b>METALES DE APORTE</b>			
<i>Especificación :</i> <b>ASTM A36</b>				<b>PROCESO:</b>		<b>SMAW</b>	
<i>Espesor:</i> <b>6 mm</b>				<i>Clasificación (AWS) N°</i>		<b>E6011</b>	
<i>Recubrimiento:</i> <b>NINGUNO</b>				<i>F-N°</i>		<b>3</b>	
<b>ó</b>				<i>A-N°</i>		<b>1</b>	
<i>Composición Química y Propiedades Mecánicas:</i>				<i>Largo electrodo (mm):</i>		<b>356</b>	
				<i>Otro:</i>			
<i>RANGO DE ESPESORES-Topo:</i> <b>6 mm</b>							
<i>RANGO DE DIAMETROS:</i> <b>N/A</b>							
<i>Otro:</i>							
<b>POSICIONES</b>				<b>PRECALENTAMIENTO</b>			
<i>Posición(es) de la Junta:</i> <b>1G, 3G</b>				<i>T de precalentamiento:</i> <b>TEMP AMB., QUITAR HUMEDAD</b>			
<i>Progresión de Soldadura:</i> <b>DESCENDENTE</b>				<i>Mantenimiento:</i>			
<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS</b>				<b>TRATAMIENTO TÉRMICO POST</b>			
<i>Tipo de corriente:</i> <b>ALTERNA</b>		<i>Polaridad:</i> <b>N/A</b>		<i>Rango de temperatura:</i>		<b>N.A</b>	
<i>Amperaje (rango):</i> <b>90-120</b>				<i>Rango de tiempo de alivio:</i>		<b>N.A</b>	
				<i>Otro:</i>			
<b>TÉCNICA</b>							
<i>Cordón recto u oscilante:</i>				<b>OSCILANTE</b>			
<i>Método de limpieza inicial:</i>				<b>CEPILLADO</b>			
<i>Método de limpieza entre pasadas:</i>				<b>PIQUETA, CEPILLADO Y AMOLADO SEGUN NECESIDAD</b>			
<i>Método de repelado de la raíz:</i>				<b>N.A</b>			
<i>Pasadas múltiples ó simples (por lado):</i>				<b>SIMPLE</b>			
<i>Electrodo único ó múltiple:</i>				<b>UNICO</b>			
<i>Velocidad de la soldadura (rango):</i>				<b>S/N</b>			
<i>Martillado:</i>				<b>NO</b>			
<i>Espesor máximo por pasada (Sólo para requerimientos de impacto):</i>				<b>N.A</b>			
<i>Otro:</i>							
<b>CUADRO DE VARIABLES OPERATIVAS</b>							
<b>PASADA</b>	<b>PROCESO</b>	<b>AWS</b>	<b>DIA.</b>	<b>AMPERAJE</b>	<b>CORRIENTE</b>	<b>VEL.(cm/min)</b>	<b>DIREC.</b>
1 por lado	SMAW	E6011	3,175	90-120	ALTERNA	8-10	D↓
<b>OBSERVACIONES:</b>							

### 3.1.2.4 Cabezas y juntas de cabezas

Al igual que en el caso del cuerpo, existe diferencia entre las normas UL y el Reglamento ambiental, en lo que respecta a las especificaciones del espesor mínimo que pueden tener las cabezas, en el primer caso se permite un mínimo de 6.1 mm y en el segundo caso se permite 6 mm cuando el acero sea A36.

Para el presente proyecto tanto el cuerpo como las cabezas van a ser construidos con láminas de acero ASTM A36 de espesor 6 mm.

Las cabezas deben ser fabricadas con un máximo de 4 partes, unidas por juntas soldadas, según la norma UL 58, párrafo 6.1, donde se especifica lo siguiente:

**Tabla 3.17:** Construcción de cabezas

Diámetro de cabeza		Máximo número de partes
Pulg	m	
hasta 48	hasta 1.22	2
desde 49 hasta 96	desde 1.24 hasta 2.44	3
<b>desde 97 hasta 144</b>	<b>desde 2.46 hasta 3.66</b>	<b>4</b>

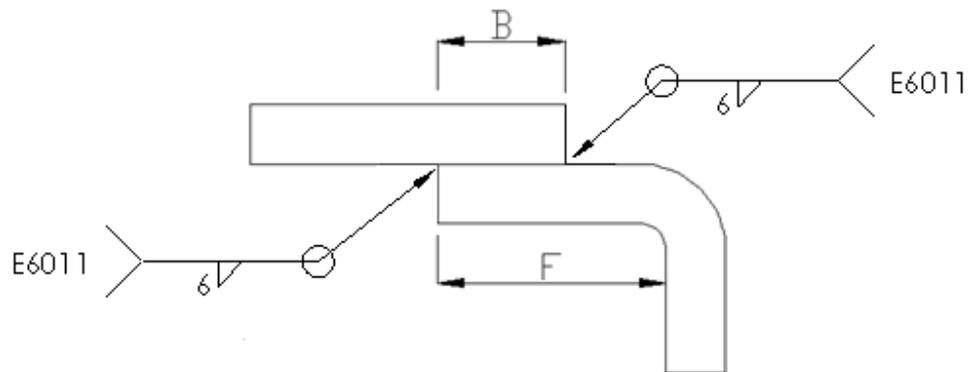
Fuente: Norma UL 58, párrafo 6.1

Los detalles geométricos de las cabezas se pueden ver en el anexo 1, planos constructivos de los tanques.

Las juntas que se hagan entre las cuatro partes de cada cabeza deben ser soldadas como se muestra en la figura 3.2, con las especificaciones que se dan en el punto 3.1.2.3.

Las juntas entre cabezas y cuerpo de cada tanque se detallan en la norma UL 58, figura 6.1, con las consideraciones geométricas y dimensionales para su construcción y además algunas restricciones para determinadas juntas.

El tipo de junta que se ha seleccionado es a traslape, con suelda continua a los dos lados como se muestra en la siguiente figura:



B.- Traslape mínimo de 0.5 plg (12.7 mm)

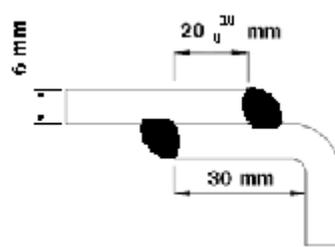
F.- Ceja mínima de 0.5 plg (12.7 mm), no debe ser menor a 5 veces el espesor de lámina

**Figura 3.3:** Tipo de junta entre cabeza y cuerpo

**Fuente:** Norma UL 58, figura 6.1. No 23

La norma UL 58 no establece especificaciones precisas del tipo de suelda, solo brinda la geometría básica de ésta, por tal motivo a continuación se presenta características que debe tener la soldadura.

**Tabla 3.18:** Procedimiento de soldadura entre las cabezas y el cuerpo

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA							
PROCESO(S) DE SOLDADURA : SMAW				TIPO(S) : MANUAL			
<b>JUNTA:</b>							
Diseño de la junta: <b>DE FILETE</b> Respaldo: <b>NO</b>  Método de preparación del bisel: <b>N/A</b>				Detalles de junta: 			
<b>METAL BASE</b>				<b>METALES DE APORTE</b>			
Especificación : <b>ASTM A36</b>				PROCESO:		<b>SMAW</b>	
Espesor: <b>6 mm</b>				Clasificación (AWS) N°		<b>E6011</b>	
Recubrimiento: <b>NINGUNO</b>				F-N°		<b>3</b>	
ó				A-N°		<b>1</b>	
Composición Química y Propiedades Mecánicas:				Largo electrodo (mm):		<b>356</b>	
				Otro:			
RANGO DE ESPESORES - filete: <b>6 mm</b>							
RANGO DE DIAMETROS: <b>TODOS</b>							
Otro:							
<b>POSICIONES</b>				<b>PRECALENTAMIENTO</b>			
Posición(es) de la Junta: <b>2F, 3F</b>				Temp de precalentamiento: <b>T AMBIENTE, QUITAR HUMEDAD</b>			
Progresión de Soldadura: <b>DESCENDENTE</b>				Mantenimiento:			
<b>CARACTERISTICAS ELÉCTRICAS</b>				<b>TRATAMIENTO TÉRMICO POST</b>			
Tipo de corriente: <b>ALTERNA</b>		Polaridad: <b>N/A</b>		Rango de temperatura:		<b>N.A</b>	
Amperaje (rango): <b>90-120</b>		Voltaje (rango): <b>8-22</b>		Rango de tiempo de alivio:		<b>N.A</b>	
<b>TÉCNICA</b>							
Cordón recto u oscilante:				<b>OSCILANTE</b>			
Método de limpieza inicial:				<b>CEPILLADO</b>			
Método de limpieza entre pasadas:				<b>PIQUETA, CEPILLADO Y AMOLADO SEGUN NECESIDAD</b>			
Método de repelado de la raíz:				<b>N.A</b>			
Pasadas múltiples ó simples (por lado):				<b>SIMPLE</b>			
Electrodo único ó múltiple:				<b>UNICO</b>			
Velocidad de la soldadura (rango):				<b>S/N</b>			
Martillado:				<b>NO</b>			
Espesor máximo por pasada (Sólo para requerimientos de impacto):				<b>N.A</b>			
Otro:							
<b>CUADRO DE VARIABLES OPERATIVAS</b>							
<b>PASADA</b>	<b>PROCESO</b>	<b>AWS</b>	<b>DIA.</b>	<b>AMPERAJE</b>	<b>CORRIENTE</b>	<b>VEL.(cm/min)</b>	<b>DIREC.</b>
1 por lado	SMAW	E6011	3,175	90-120	ALTERNA	10-12	D↓
OBSERVACIONES:							

### Cantidad de electrodos de soldadura necesarios

Al llegar a este punto se conoce el tipo de electrodo y las juntas que se emplearán, con estos datos se puede obtener la cantidad de electrodos necesaria, que será determinada a partir de los siguientes cálculos.

Primero se calcula el área transversal que tendrán las juntas, la longitud total de los cordones de soldadura y por último la masa de los cordones, los resultados se presentan en las siguientes tablas.

**Tabla 3.19:** Soldaduras de un tanque de 10000 gal

Tipo de junta	Área transversal de la junta(m2)	Longitud de los cordones (m)	Peso de las soldaduras (kg)	Masa Total requerida (kg)
Rectas	0.0000216	62.31	10.57	16.01
Traslape	0.0000180	37.24	5.26	7.97
<b>Subtotal 1 (kg)</b>				23.98
<b>Incremento (%)</b>				5.00
<b>Total 1 (kg)</b>				25.18

**Tabla 3.20:** Soldaduras del tanque de 6000 gal

Tipo de junta	Área transversal de la junta(m2)	Longitud de los cordones (m)	Peso de las soldaduras (kg)	Masa Total requerida (kg)
Rectas	0.0000216	42.422	7.193	10.90
Traslape	0.000018	37.24	5.262	7.97
<b>Subtotal 2 (kg)</b>				18.87
<b>Incremento (%)</b>				5.00
<b>Total 2 (kg)</b>				19.81

### Ejemplo de cálculos:

$$t_s := 6 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$a := 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$A_{sr} := a \cdot t_s + 0.2 \cdot a \cdot t_s \quad (3.24)$$

$$A_{sr} = 2.16 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\rho_{ac} := 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{sr} := A_{sr} \cdot \rho_{ac} \quad (3.25)$$

$$m_{sr} = 0.17 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$L_{sr} := 5 \cdot 2.732\pi + 6.68 + 6.362 \quad (3.26)$$

$$L_{sr} = 62.314 \text{ m}$$

$$M_{sr} := m_{sr} \cdot L_{sr} \quad (3.27)$$

$$M_{sr} = 10.566 \text{ kg}$$

$$M_{ec} := \frac{M_{sr} + M_{st}}{1 - 0.14 - 0.1 - 0.1} \quad (3.28)$$

$$M_{ec} := M_{ec} + 0.05 \cdot M_{ec} \quad (3.29)$$

$$M_{ec} = 25.181 \text{ kg}$$

Donde:

$t_s$ , espesor de las placas de acero (m)

$a$ , distancia entre placas (m)

Asr, área transversal de la soldadura (m<sup>2</sup>)  
pac, densidad del acero (kg/m<sup>3</sup>)  
msr, densidad lineal de las soldaduras (kg/m)  
Lsr, longitud total de cordones de soldadura (m)  
Msr, masa de las soldaduras rectas (kg)  
Mst, masa de las soldaduras de traslape (kg)  
Mec, masa de electrodos (kg)

Al área transversal de las soldaduras se les aumenta un 10% por cada refuerzo que posea, en este caso sería 20%, ya que se soldó por ambos lados. En el cálculo de la masa total de electrodos se tomó en cuenta el rendimiento del metal de soldadura, el cual se define como el cociente entre la masa de soldadura depositada en las juntas con relación al peso del electrodo que se debe adquirir, las pérdidas se originan debido a los extremos de electrodo no quemados, por recubrimiento y salpicaduras.

Por extremos no quemados, tomando en cuenta que no se queman 2 plg, de las 14 plg que mide el electrodo, produce una pérdida del 14%.

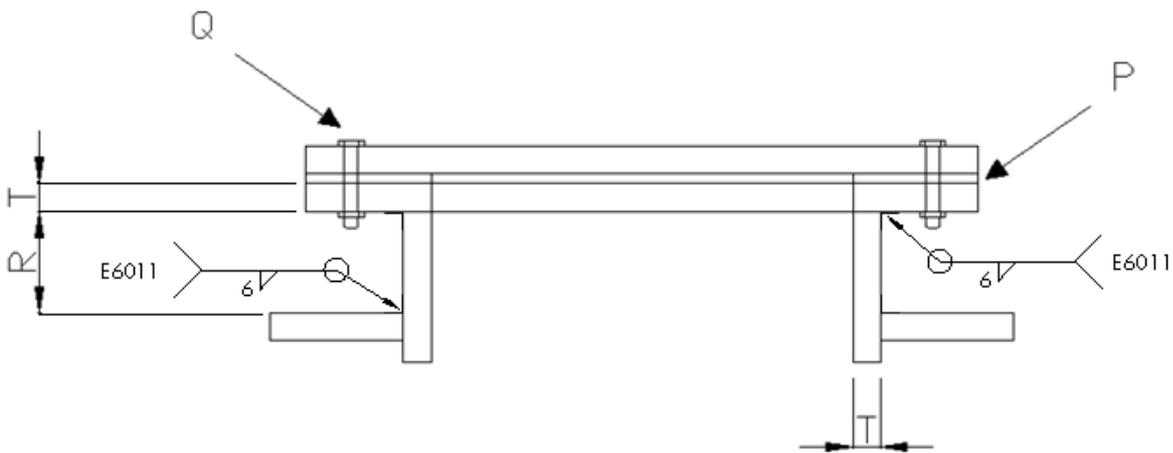
Las pérdidas por recubrimiento para el electrodo E6011 se estiman en 10% y por salpicaduras el 10%, además a la masa total se aumentó un 5% por soldaduras no tomadas en cuenta.

El total de masa de electrodos necesarios para la construcción de los tanques es 71 kg.

### **3.1.2.5 Manhole**

Cada tanque debe estar provisto de un manhole, que deberá ser colocado por encima del nivel máximo de líquido y ser asegurado con pernos alrededor, según la norma UL 58, párrafo 9.1. En la figura 9.1 de la norma UL 58 se muestran los tipos convencionales de manholes que se pueden construir.

El tipo de manhole que se construirá en los tanques es el que se muestra en la figura 9.1 No 93, el cual se ilustra a continuación:



R.- Mínimo 2 plg (51 mm)

T.- Lámina de acero 6 mm

Q.- Mínimo pernos de  $\frac{1}{2}$  plg, espaciados máximo 4 plg (102 mm) entre centros

P.- Empaque de espesor mínimo  $\frac{1}{8}$  plg (3.2 mm)

**Figura 3.4:** Tipo de manhole

**Fuente:** Norma UL 58, figura 9.1 No 93

Los detalles sobre pernos, dimensiones, materiales y soldadura entre el manhole y el cuerpo del tanque se muestran en el anexo A, planos constructivos de los tanques.

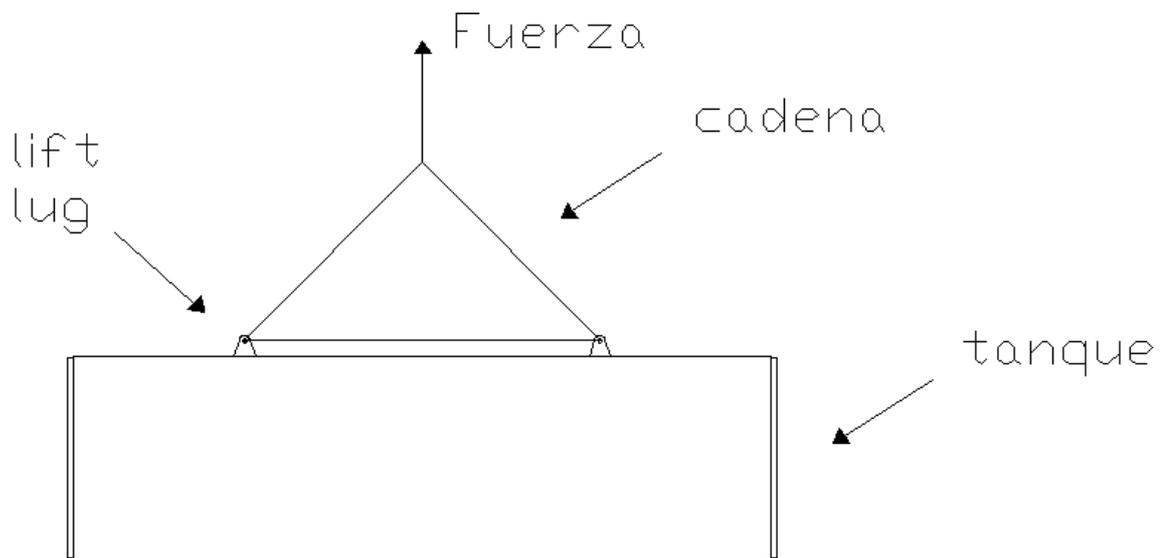
### 3.1.2.6 Lift lugs

Los lift lugs son los elementos estructurales que permiten la movilización de los tanques. La carga que se considera para su diseño es el peso del tanque vacío.

En este proyecto se analizará con el peso de un tanque de 10000 gal vacío como carga de trabajo para los tres tanques.

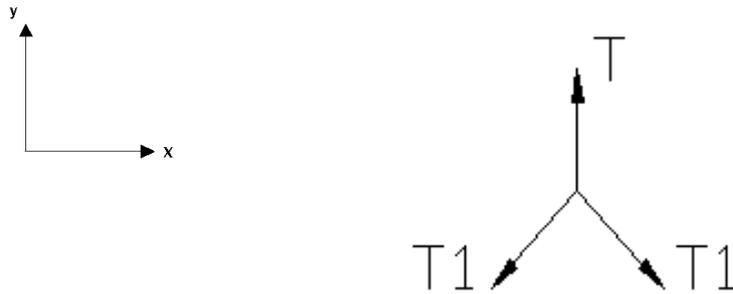
El material base y las soldadura son los parámetros fundamentales que se deben estudiar en el análisis de lift lugs.

La situación crítica de levantamiento del tanque es cuando se realiza solo con una cadena como se muestra en la siguiente figura, y es así como se considerará para su respectivo análisis.



**Figura 3.5:** Levantamiento del tanque (S/E)

La reacción en el estrobo superior se presenta en la siguiente configuración, es importante recalcar que se considera un ángulo formado por la cadena en el lift lug de 45°:



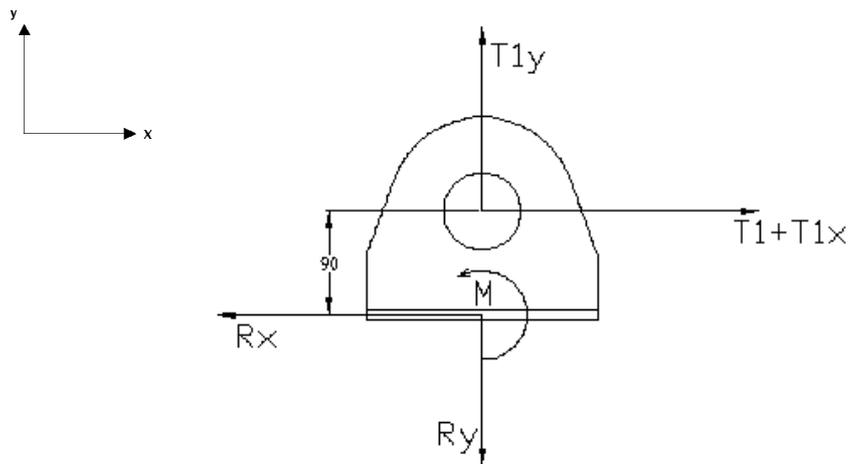
T.- Fuerza que se ejerce para el levantamiento del tanque

T1.- Reacción en la cadena

**Figura 3.6:** Diagrama de cuerpo libre en el gancho

La fuerza T es igual al peso del tanque vacío 35080 N, mientras que la fuerza que ejerce tensión en la cadena que sujeta el tanque tiene un valor de 24810 N.

Para el estudio se considerará el lift lug izquierdo de la figura 3.5, el cual tiene las siguientes reacciones que se detallan en el diagrama de cuerpo libre.



T1.- Fuerza en la cadena

Rx.- Reacción en el eje X

Ry.- Reacción en el eje Y

M.- Momento generado en la mitad del lift lug

**Figura 3.7:** Diagrama de cuerpo libre en un lift lug

Los valores de las fuerzas que se ejercen en el lift lug son las siguientes:

T1.- 24810 N

T1y.- 17540 N

T1x.- 17540 N

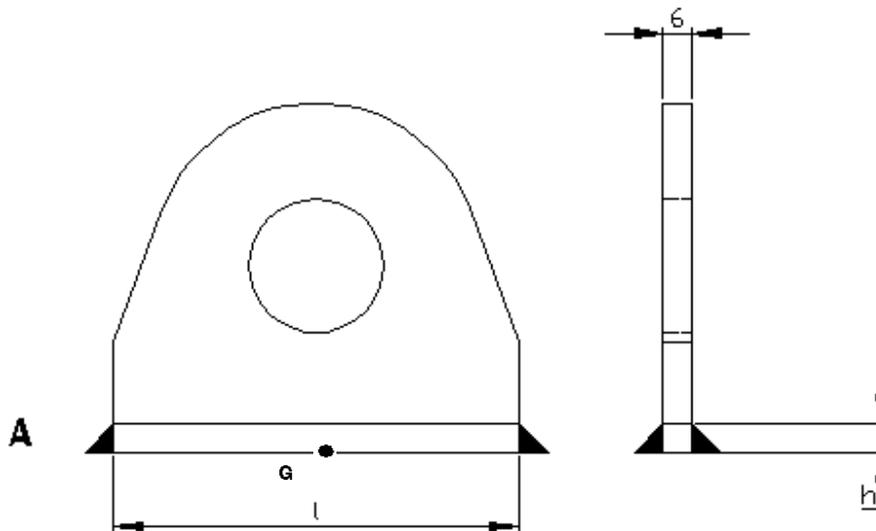
Rx.- 42350 N

Ry.- 17540 N

M.- 3811500 N.mm

Las reacciones tanto en el estrobo como en el lift lug han sido calculadas con sumatorias de fuerzas y momentos, aplicando la primera ley de Newton sobre el equilibrio ( $\Sigma F=0$ ).

La junta entre los lift lugs y el cuerpo del tanque debe ser realizada por una soldadura de filete, que va tener un cateto de 6 mm, que es el máximo que se puede utilizar ya que es igual al espesor de las planchas de acero con las que se construyen los tanques.



l.- Largo del lift lug (225 mm)

h.- Cateto de la soldadura de filete (6 mm)

**Figura 3.8:** Lift lug con la suelda de unión al tanque

La junta debe ser verificada aplicando un criterio de falla, para lo cual primero se debe determinar los esfuerzos que la afectan.

El esfuerzo máximo que se presenta en la soldadura de filete es en la garganta. El área de la garganta se calcula con la siguiente fórmula (Shigley J, Diseño en Ingeniería Mecánica, Quinta edición, Tabla 9-3, Propiedades a la flexión de uniones de soldadura de filete):

$$A = 1.414 * h * (l + Ep) \quad (3.30)$$

Donde:

A.- área de la garganta

h.- cateto de soldadura

l.- largo de la placa

Ep.- ancho de la placa

El área de la garganta es 1960 mm<sup>2</sup>. Con este dato se encuentra el esfuerzo cortante 1 generado por la fuerza sobre el eje Y.

$$\tau_1 = \frac{Ry}{A} \quad (3.31)$$

El valor de  $\tau_1$  es 8.95 MPa, este esfuerzo es debido a la tensión. También existe un esfuerzo debido a la flexión que de igual manera es crítico en el área de la garganta del filete de soldadura, para calcularlo se debe determinar el segundo momento generado en el área unitaria, mediante la fórmula siguiente (Shigley J, Diseño en Ingeniería Mecánica, Quinta edición, Tabla 9-3, Propiedades a la flexión de uniones de soldadura de filete):

$$lu = \frac{l^2}{6} * (3 * Ep + l) \quad (3.32)$$

lu es  $2.05 \times 10^6 \text{ mm}^3$ , y a paso siguiente se calcula el segundo momento de área con respecto al eje que pasa por G y que es paralelo al eje z, de la figura 3.8, que es igual a:

$$I = 0.707 * h * lu \quad (3.33)$$

El valor de I es  $8.697 \times 10^6 \text{ mm}^4$ , luego se procede al cálculo del esfuerzo cortante generado por el momento alrededor del punto g que es el centro de gravedad del área en contacto entre el lift lug y el tanque.

$$\tau_2 = \frac{M * c}{I} \quad (3.34)$$

$\tau_2$  es 49.297 MPa, cuando c es 112.5 mm. En el punto A que se muestra en la figura 3.8, los esfuerzos debidos a la fuerza en el eje Y y el esfuerzo debido al

momento se suman para el metal soldante, por lo tanto el esfuerzo total de corte es:

$$\tau_{12} = \tau_1 + \tau_2 \quad (3.35)$$

El esfuerzo de corte en el punto A es 58.247 MPa. Ahora se debe calcular el esfuerzo que es generado por la fuerza en el eje X.

$$\tau_3 = \frac{Rx}{A} \quad (3.36)$$

$\tau_3$  es 21.607 MPa. Los esfuerzos  $\tau_{12}$  y  $\tau_3$  son perpendiculares entre sí, y su resultante es igual a:

$$\tau = \sqrt{\tau_{12}^2 + \tau_3^2} \quad (3.37)$$

El valor total de cortante que actúa sobre la garganta de la soldadura es igual a 62.125 MPa, este valor será el que se utilice en la aplicación de la teoría de falla.

Existen varias teorías de falla para materiales dúctiles que pueden ser utilizadas, pero las dos más validas por su cercanía con datos experimentales son la teoría del esfuerzo cortante máximo y la teoría de la energía de distorsión (Von Mises). Para el análisis de las soldaduras se utilizará la última mencionada por ser la de mayor exactitud.

Para dar validez a la soldadura se debe encontrar el límite de fluencia elástico a cortante  $S_{sy}$ , que es una fracción del límite de fluencia elástico a tensión en los materiales dúctiles, determinado por un ensayo a tensión.

$$S_{sy} = 0.577 * S_y \quad (3.38)$$

Para el caso del electrodo E6011, su límite de fluencia a la tensión es de 345 MPa, y su límite a la fluencia por cortante calculado es 199 Mpa. La forma de comprobar

que la soldadura no falla, es comparando la resistencia del material con el esfuerzo por cortante al que está expuesto.

$$FS = \frac{Ssy}{\tau} \quad (3.39)$$

FS.- factor de seguridad

El factor de seguridad con el que cuenta la soldadura entre los lift lugs y el cuerpo del tanque es de 3.204, el cual es un índice aceptable para que el transporte e instalación de los tanques brinden confianza y los riesgos sean menores.

Es importante que se analice al material base, el cual obviamente es también sometido a esfuerzos.

En el material base existe un esfuerzo cortante causado por la reacción en el eje X; un esfuerzo por tensión causado por la reacción en el eje Y; y a un esfuerzo de flexión causado por un momento como se muestra en la figura 3.7.

El esfuerzo cortante en el material base es igual a:

$$\tau_{yx} = \frac{Rx}{l * Ep} \quad (3.40)$$

$\tau_{yx}$ .- esfuerzo cortante en el plano yx (MPa)

Rx.- reacción en el eje X (N)

l.- longitud del área de contacto entre lift lug y material base (mm)

Ep.- ancho del área de contacto entre lift lug y material base (mm)

$\tau_{yx}$  tiene un valor de 31.367 Mpa.

El esfuerzo por tensión del material base se calcula de la siguiente manera:

$$\sigma_{y1} = \frac{Ry}{l * Ep} \quad (3.41)$$

$\sigma y1$ .- esfuerzo por tensión (MPa)

Ry.- reacción en el eje Y (N)

El valor de  $\sigma y1$  es 12.993 MPa. A continuación se debe calcular el esfuerzo por flexión, para lo cual se debe encontrar el momento de inercia (I) del área de contacto.

$$I = \frac{Ep * l^3}{12} \quad (3.42)$$

El valor de I es  $5.695 \times 10^6 \text{ mm}^4$ .

$$\sigma y2 = \frac{M * c}{I} \quad (3.43)$$

$\sigma y2$  es 75.282 MPa. En el punto A de la figura 3.8 los esfuerzos generados por la tensión y por el momento, se suman.

$$\sigma y = \sigma y1 + \sigma y2 \quad (3.44)$$

$\sigma y$  tiene un valor de 88.275 MPa. Con estos valores se procede a encontrar el esfuerzo equivalente, encontrando primero  $\sigma 1$  y  $\sigma 3$ :

$$\sigma 1 = \frac{\sigma y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma y}{2}\right)^2 + \tau y x^2} \quad (3.45)$$

$$\sigma 3 = \frac{\sigma y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma y}{2}\right)^2 + \tau y x^2} \quad (3.46)$$

Donde  $\sigma_1$  es 98.285 MPa y  $\sigma_3$  es -10.011 MPa. El esfuerzo equivalente se calcula de la siguiente manera:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 * \sigma_3 + \sigma_3^2} \quad (3.47)$$

$\sigma_{eq}$  tiene un valor de 103.653 MPa, el cual debe ser menor que la resistencia a la fluencia por tensión del acero ASTM A36, para verificar que no falla el material base.

El límite a la fluencia del acero A36 es 248.2 MPa.

$$FS = \frac{Sy}{\sigma_{eq}} \quad (3.48)$$

El material base no falla según el criterio de Von Mises, ya que el índice del factor de seguridad es 2.39.

El agujero en el lift lug puede fallar por aplastamiento, por lo que es necesario que se realice su análisis. El estudio se debe hacer considerando el ancho de los ganchos que van a sujetar el tanque, en este caso tienen un ancho de 30 mm.

El esfuerzo por aplastamiento es igual a:

$$\sigma = \frac{T1}{Ep * 30} \quad (3.49)$$

$\sigma$  tiene un valor de 137.809 MPa, el cual se compara con la resistencia a la fluencia por tensión del acero A36, para verificar que no se produce la falla en el agujero.

$$FS = \frac{Sy}{\sigma} \quad (3.50)$$

El factor de seguridad para el aplastamiento es 1.801 lo cual representa un margen de seguridad suficiente para este caso ya que los tanques únicamente serán movidos para su instalación.

De esta manera se comprueba que los lift lugs, el filete de soldadura y el material base no fallarán por la carga a la que están sometidos.

Los detalles geométricos y dimensionales de los lift lugs, como también su ubicación en los tanques se ilustran en el anexo A, correspondiente a planos constructivos de los tanques.

### 3.1.2.7 Conexiones para tuberías

Los tanques subterráneos para almacenamiento de combustible deben tener las siguientes conexiones:

- Tubería para venteo, que sirve para desfogar vapores formados dentro del tanque al exterior y debe ubicarse en la parte superior del tanque. El diámetro de la tubería es 2 plg según norma UL 58, tabla 8.2, y su longitud debe ser 6 m por encima de la superficie. La conexión entre la tubería y el tanque se realiza por un medio neplo, cuya longitud de rosca debe ser mínimo de 0.75 plg (19.1 mm), según Norma UL 58, tabla 8.1. (Anexo B).

La junta soldada entre el cuerpo del tanque y el medio neplo se realiza como indica la figura 8.1 No 61 de la norma UL 58 (Anexo B).

- Tuberías para carga y descarga, sirven para el llenado del tanque y para la ubicación de la bomba sumergible encargada de enviar el combustible a los surtidores, respectivamente. Deben tener un diámetro de 4 plg, cédula estándar, la longitud de rosca debe ser de por lo menos 1 1/8 plg (28.6 mm) según Norma UL 58, tabla 8.1. Las conexiones se deben ubicar en la parte superior de los tanques y ser hechas como indica la figura 8.1 de la Norma UL 58 (Anexo B).

- Tuberías de medición manual y electrónica, sirven para determinar el nivel de líquido combustible en el tanque. La primera tiene un diámetro de 2 plg, cédula estándar, con una longitud de rosca de mínimo 0.75 plg (19.1 mm). La segunda tiene un diámetro de 4 plg, cédula estándar, 1 1/8 plg (28.6 mm) mínimo de rosca. Se las ubica en la parte superior del tanque y sus conexiones soldadas se las realiza según la figura 8.1 de la Norma UL 58 (Anexo B).

Todos los detalles sobre la ubicación de las tuberías en los tanques, sus dimensiones y las juntas con el cuerpo se los puede ver en el anexo A, planos constructivos de los tanques. Los criterios para determinar las variables que se manejan en este punto como dimensiones y ubicación han sido acordados según los planos de las instalaciones de la estación de servicio con el propietario.



# CAPÍTULO 4

## FABRICACIÓN

### 4.1 ANÁLISIS DEL PROCESO DE MANUFACTURA

La construcción de los tanques se llevó a cabo en las instalaciones de la Metalmecánica Cajo, ubicada en Quito sobre la vía Panamericana Sur a la altura del antiguo peaje, ésta lleva 20 años dentro del negocio de fabricación de tanques para almacenamiento de combustible a nivel nacional y hace 12 años ofrece sus productos a las estaciones de servicio filiales de la comercializadora Petróleos y Servicios.

En observaciones realizadas en visitas previas a la construcción de los tanques a la metalmecánica se determinó que durante el proceso constructivo de los tanques se incurre en algunos errores, teniendo entre los principales a los siguientes:

- La inexistencia de un diseño preliminar de los tanques, así como de planos constructivos.
- El largo del tanque no cumplía con las tolerancias establecidas por los estándares y reglamentos para satisfacer el volumen total del líquido a almacenar.
- El largo y radio de rebordeo en la ceja de la cabeza son inferiores a los establecidos en los estándares.
- Reducido diámetro del manhole, además en su cuello presentaban una longitud sobresaliente menor a la mínima especificada. La cantidad y diámetro de pernos menores a los necesarios.
- Espesor de láminas para la construcción del cuerpo y cabezas inferior al especificado en los estándares.

- Longitudes sobresalientes para conexiones de tubería no cumplen con el mínimo requerido.
- Excesivo número de partes para la construcción de cabezas.
- Realización de cortes sobre uniones soldadas en el cuerpo para la ubicación del manhole y conexiones de tubería.
- Deficiente limpieza de la escoria, polvo y óxido en la superficie previo a la aplicación del recubrimiento de fibra de vidrio.
- Espesor del recubrimiento de fibra de vidrio menor al especificado.
- Ausencia de registros de inspección durante todo proceso constructivo.
- Falta de previsión en el suministro de materias primas.

Todos estos errores surgen ante la falta de un adecuado criterio técnico, así como también por el desconocimiento de los estándares y reglamentos para la construcción de este tipo de tanques. Debido a que todos los errores antes mencionados son susceptibles de corrección se tomaron las medidas pertinentes para evitar que se repitan durante la construcción de los tanques del proyecto en desarrollo.

El proceso de fabricación bajo el cual se desarrolló el proyecto se divide en cuatro etapas claramente definidas que son: construcción de cabezas, conformado del tanque, soldadura y ubicación de conexiones, y por último aplicación del recubrimiento. A continuación se detallará cada una de las etapas antes mencionadas, tomando en cuenta que para cada uno de los tres tanques se siguió exactamente el mismo proceso, avanzando cada etapa de forma simultánea con la finalidad de agilizar los procesos al evitar pérdidas de tiempo durante los cambios de una actividad a otra.

#### **4.1.1 Construcción de cabezas**

Para la fabricación de las cabezas se emplearon planchas de acero ASTM A36 de (2440x1220x6)mm, las cuales primeramente se ubicaron y puntearon

mediante soldadura de forma conveniente a fin de aprovechar el material disponible y conseguir las cuatro partes por cabeza requeridas, luego se trazó la circunferencia equivalente al desarrollo de la cabeza con la ceja y se ejecutó el corte de las planchas, empleando como guía la circunferencia trazada anteriormente.



**Figura 4.1:** Corte de las planchas acero.

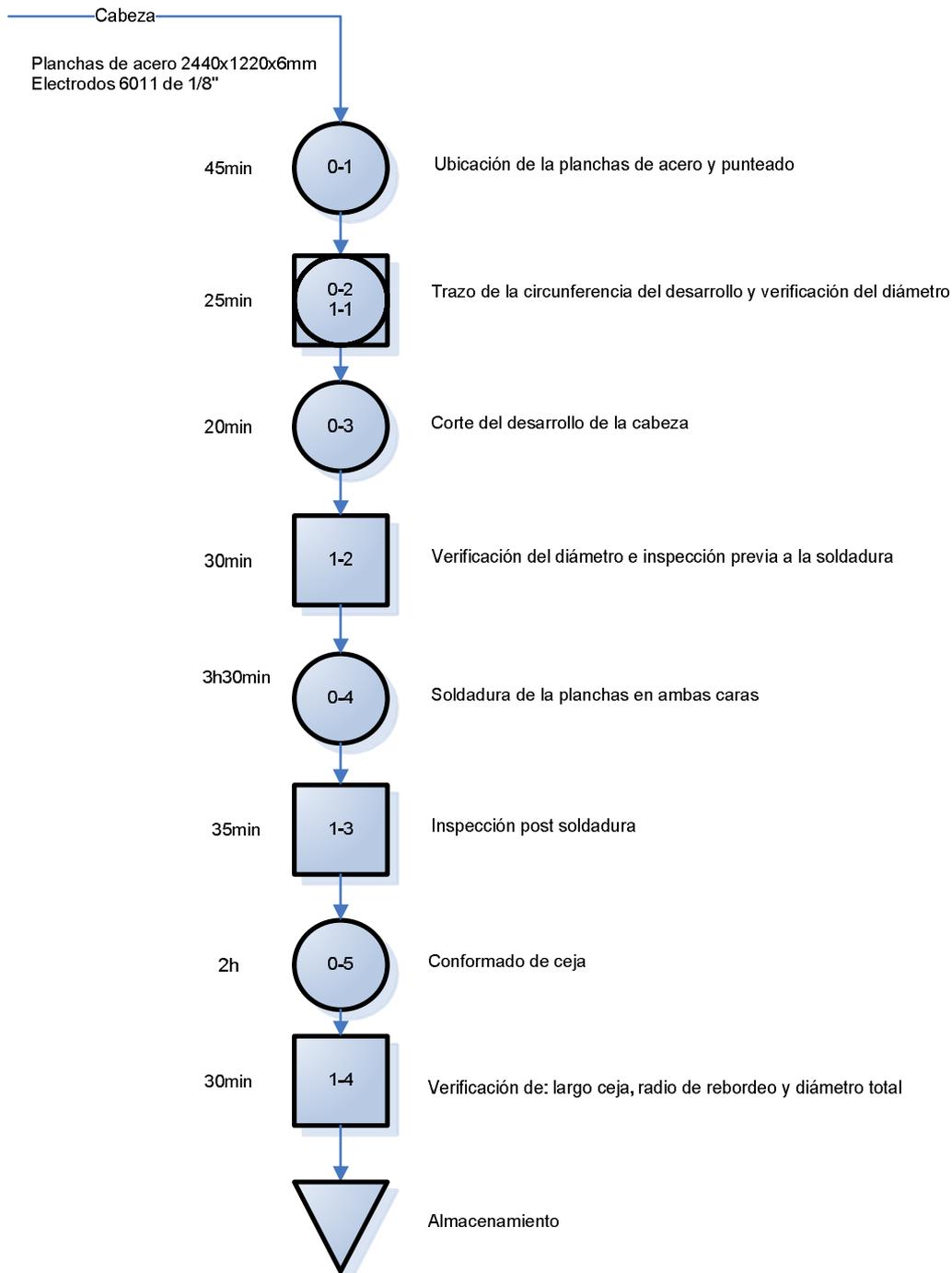
A continuación se realizaron los cordones de soldadura, en ambas caras de cada cabeza.



**Figura 4.2:** Soldadura de las planchas.

Por último se hizo la ceja en todo el perímetro de la cabeza, mediante el empleo de un perro, siendo necesarias tres a cuatro pasadas para completarla.

El diagrama de proceso para la construcción de las cabezas se presenta a continuación:



**Figura 4.3:** Diagrama de proceso para cabezas

#### 4.1.2 Conformado del tanque

Una vez construidas las dos cabezas del tanque se procedió a la etapa de conformado, los anillos fueron fabricados con láminas de acero ASTM A36 con dimensiones de (8565x1220x6) mm.

En primera instancia se ubicaron contiguamente las planchas que conformarían los anillos del cuerpo, tomando en cuenta una separación de 3mm entre ellas, luego éstas fueron unidas a través de cordones intermitentes de soldadura de 30mm cada 250mm y se cortó la fracción de lámina necesaria para completar el largo calculado del tanque. Adicionalmente se ubicaron dos polipastos en el sentido longitudinal de las láminas y se los enganchó en los extremos de las mismas.



**Figura 4.4:** Soldadura intermitente en las planchas del cuerpo.

A continuación, las dos cabezas del tanque fueron punteadas sobre el inicio de las planchas ubicadas en los extremos transversales del conjunto y se procedió al templado de las cadenas mediante el accionamiento de los polipastos, con lo cual se dio inicio a la envoltura del tanque utilizando sus propias cabezas para generar el cilindro. A medida que las cabezas iban avanzando en su recorrido estas fueron

punteadas sobre las láminas de los extremos a fin de evitar cualquier deslizamiento transversal.



**Figura 4.5:** Cabezas ubicadas sobre los extremos de las planchas del cuerpo



**Figura 4.6:** Recorrido nominal de los polipastos completo

Cuando el recorrido nominal de los polipastos se completó, éstos fueron retirados y se soldó un pedazo de correa en la parte externa de la sección ya rolada, para que sirva como nuevo punto de sujeción; después se colocó un solo polipasto con un nuevo punto de anclaje ubicado aproximadamente a 6 metros del extremo no rolado de las láminas. De esta forma nuevamente a través del accionamiento del polipasto se cerró el cilindro.

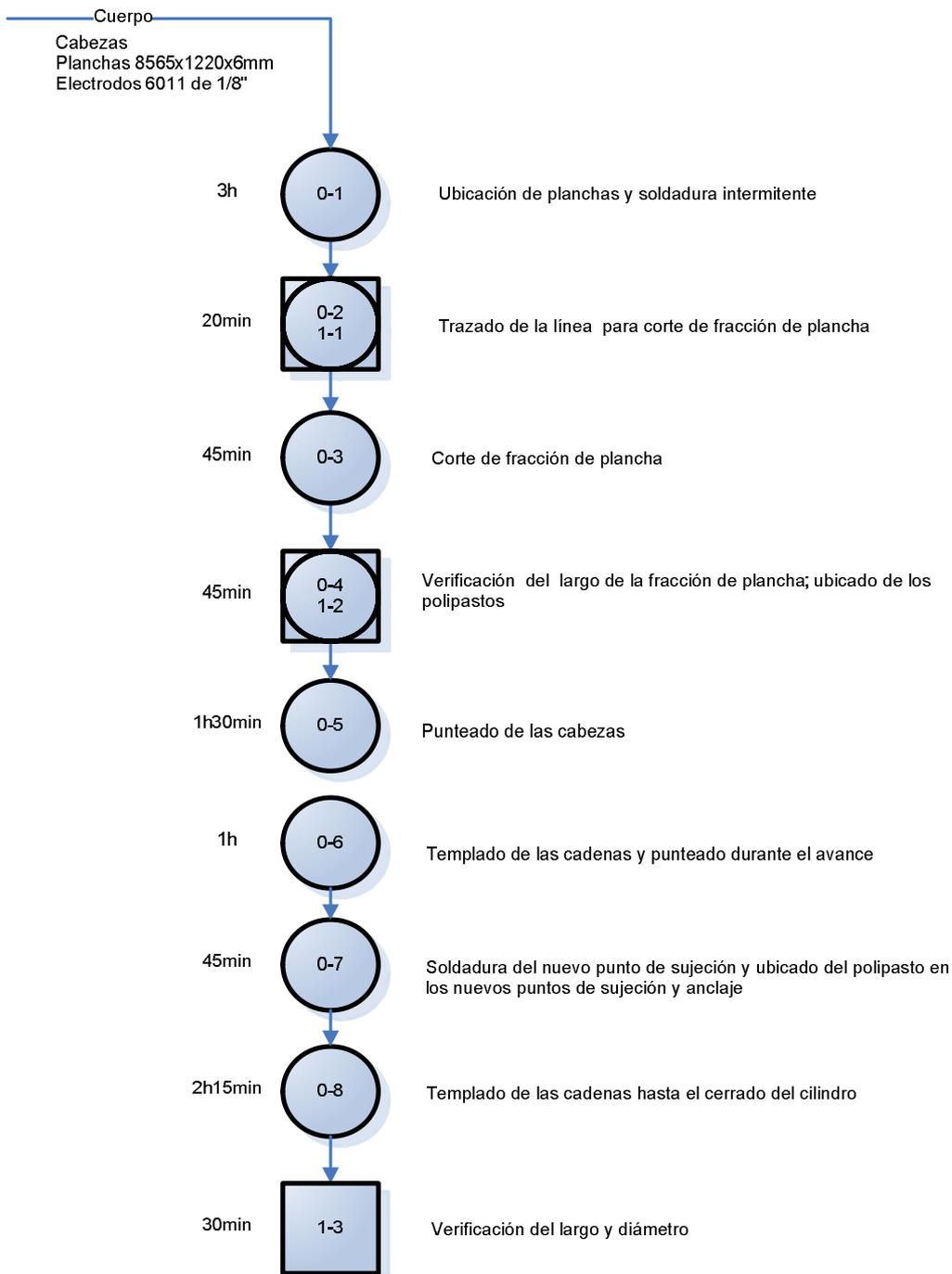


**Figura 4.7:** Finalización del rolado.



**Figura 4.8:** Tanque de 6.000 galones cerrado

El diagrama de proceso para el conformado del tanque se presenta a continuación:



**Figura 4.9:** Diagrama de proceso del conformado del tanque

### 4.1.3 Soldadura y ubicación de conexiones

Esta etapa es de especial importancia, ya que básicamente sólo de la soldadura depende el que los tanques sean estancos o no. La soldadura del tanque se realizó primero en la parte interna y posteriormente en la parte externa. Los cordones fueron realizados de una sola pasada con electrodos E-6011 de 1/8”.



**Figura 4.10:** Soldadura interna del tanque.



**Figura 4.11:** Soldadura externa del tanque.

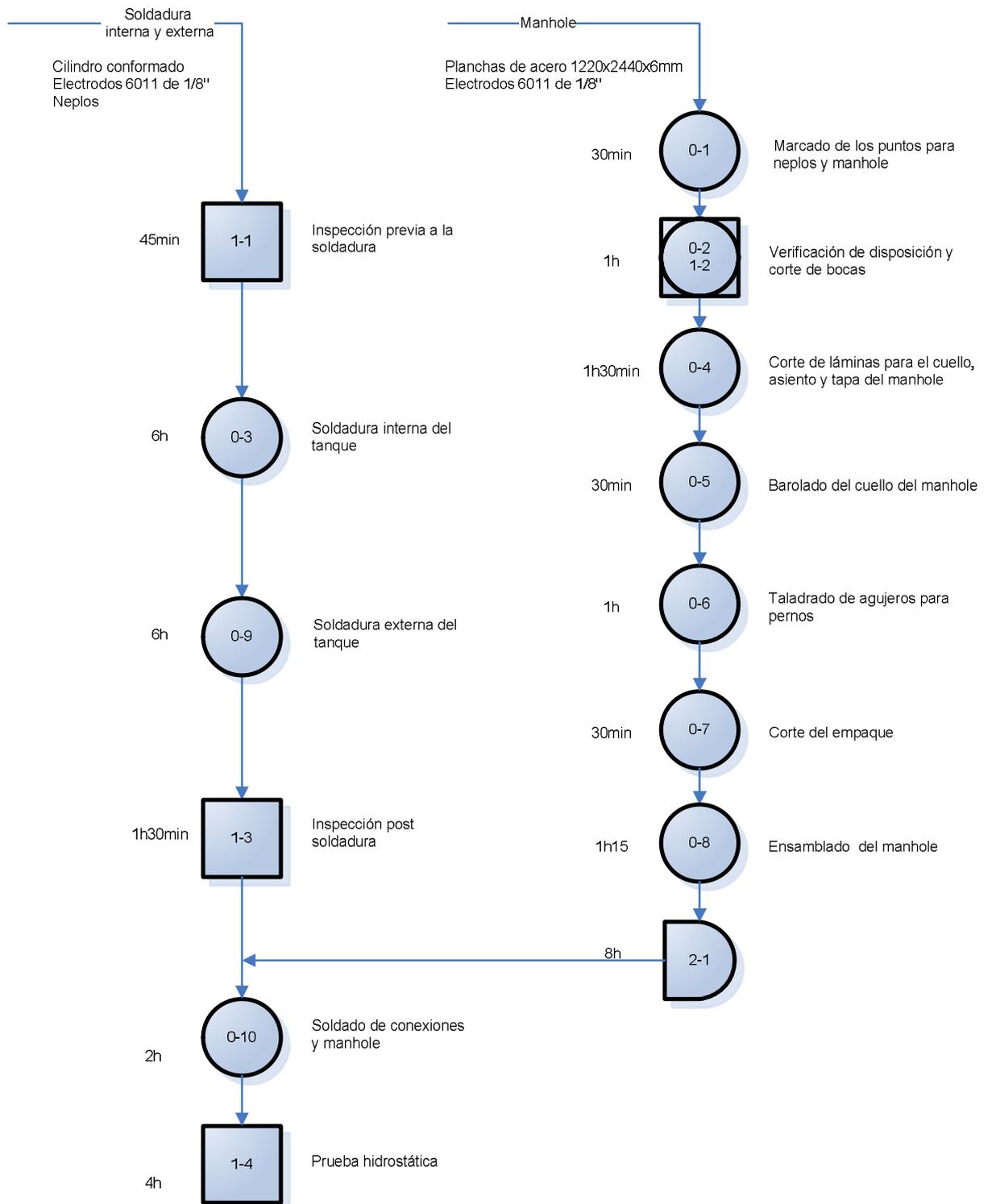


**Figura 4.12:** Cordón de soldadura de la parte externa de cuerpo.

Al mismo tiempo que se realizaba la soldadura se hicieron los cortes necesarios para la ubicación de los neplós de tubería y el manhole según la disposición y las dimensiones descritas en los planos. El cuello del manhole fue barolado y soldado al anillo que serviría de asiento para la tapa, ésta última fue cortada y se le realizaron las perforaciones necesarias para 16 pernos de  $\frac{1}{2}$ ". Finalmente tanto el manhole como los neplós fueron soldados en su posición definitiva de acuerdo a los detalles de soldadura especificados en los planos constructivos.

Las pruebas para la verificación de la estanquidad de los tanques fueron realizadas una vez finalizada la soldadura, su desarrollo será explicado en forma detallada durante el capítulo cinco.

El diagrama de proceso que muestra los pasos seguidos para la elaboración de las soldaduras en los tanques se muestra a continuación:



**Figura 4.13:** Diagrama de proceso de soldaduras en el cuerpo

#### **4.1.4 Aplicación del recubrimiento**

La etapa final dentro del proceso constructivo de cada tanque fue la aplicación del recubrimiento de fibra vidrio tomando en cuenta un espesor mínimo de 2,54mm, para esto se empleo fibra de vidrio tipo woven roving, la misma que viene en rollos con un ancho de 1400 mm.

Primeramente se realizó la limpieza de la escoria de los cordones de soldadura y de pequeñas áreas que presentaban corrosión superficial mediante el uso de moladoras equipadas con gratas, a su vez se limpió la superficie externa del tanque para retirar suciedad como partículas de polvo, grasa, etc.

A continuación se preparó la matriz de poliéster mediante la mezcla de naftaleno de cobalto (acelerante), peróxido de metil etil acetona (catalizador), y resina de poliéster en las cantidades descritas en la etapa de diseño, además del pigmento necesario para obtener un tono azul en la resina. También se cortaron las mantas de fibra de vidrio de acuerdo a las dimensiones de cada uno de los tanques.

Posteriormente se aplicó una capa de poliéster sobre la superficie externa del tanque mediante el uso de rodillos, a continuación se ubicaron las mantas de fibra de vidrio y sobre éstas una nueva pasada de poliéster.

Debido a que los tanques estaban asentados sobre el piso, fue necesario esperar alrededor de dos horas para aplicar la fibra de vidrio en esta sección, ya que en este tiempo la fibra de vidrio aplicada en el resto del tanque estaba lo suficientemente seca como para girar los tanques y aplicar la fibra sobre la superficie de la base.



**Figura 4.14:** Ubicación de la manta de fibra de vidrio



**Figura 4.15:** Remates de fibra de vidrio en las zonas necesarias



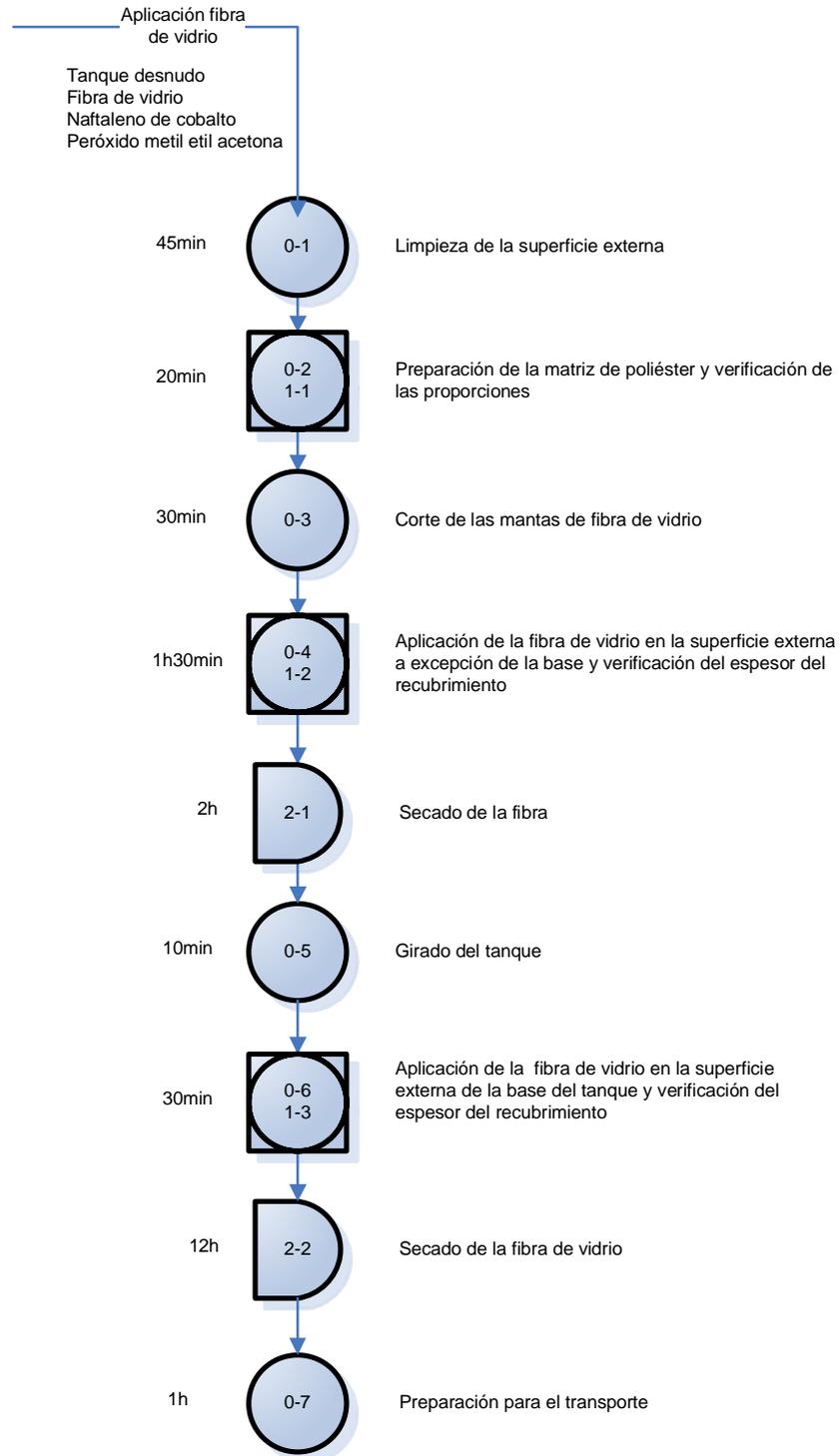
**Figura 4.16:** Tanque de 10000 galones recubierto.

Una vez finalizada la construcción, los tres tanques fueron enviados a la estación de servicio para su posterior instalación en la excavación previamente preparada.



**Figura 4.17:** Tanques ubicados en la estación de servicio.

El diagrama de proceso para el recubrimiento con FRP de los tanques se presenta a continuación:



**Figura 4.18:** Diagrama de proceso para el recubrimiento del tanque

## 4.2 DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE EQUIPOS, PERSONAL Y MATERIALES.

En todo proyecto que involucre construcción es preciso determinar los requerimientos de equipos y personal necesarios para llevarlo a cabo, en cuanto a los equipos para la construcción de tanques, no es imprescindible que sean nuevos, pero si que estén en condiciones adecuadas de funcionamiento, que brinden seguridad para los operarios y que ofrezcan garantías del trabajo realizado con ellos. Adicionalmente los operarios deben tener experiencia en el procedimiento empleado para la fabricación de tanques.

### 4.2.1 Equipos y herramientas

En base a las observaciones previas a la construcción, se determinó que las especificaciones con las que debían cumplir los equipos y herramientas son las descritas en la tabla 4.1.

**Tabla 4.1:** Especificaciones para equipos y herramientas.

<b>EQUIPOS</b>		
<b>Ord.</b>		
<b>1.</b>	<b>Equipo de soldadura</b>	<b>Cantidad: 2</b>
1.1	Tipo:	Soldadora de arco para proceso con electrodo revestido (SMAW)
1.2	Corriente de entrada:	Corriente alterna CA
1.3	Voltaje de entrada:	220 V
1.4	Rango de corriente de salida:	70 a 120 A
1.5	Ciclo de trabajo:	100% a 120 A
1.6	Largo del cable:	10 m mínimo
<b>2.</b>	<b>Amoladora</b>	<b>Cantidad: 2</b>
2.1	Tipo:	Amoladora angular
2.2	Potencia:	2000W
2.3	Voltaje:	120 V
2.4	RPM en vacío	6600 RPM
2.5	Diámetro del disco:	7"
<b>3.</b>	<b>Taladro</b>	<b>Cantidad:1</b>
3.1	Tipo:	Taladro de banco
3.2	Potencia:	250 W
3.3	Voltaje:	120V
3.4	Capacidad portabrocas:	13mm

<b>Cont. Tabla 4.1: Especificaciones para equipos y herramientas</b>		
<b>3.5</b>	Desplazamiento del broquero:	30 mm
<b>4.</b>	<b>Equipo de oxicorte</b>	<b>Cantidad: 1</b>
<b>4.1</b>	Capacidad del cilindro de oxígeno:	6 m3.
<b>4.2</b>	Cilindro de acetileno	
<b>4.3</b>	Accesorios:	Regulador para oxígeno, regulador para acetileno, válvula anti retroceso, mangueras, válvula de control de gas y boquilla para corte
<b>5.</b>	<b>Polipasto</b>	<b>Cantidad: 2</b>
<b>5.1</b>	Tipo:	Polipasto manual de cadena
<b>5.2</b>	Capacidad:	3 Ton
<b>5.3</b>	Recorrido nominal	5m
<b>6.</b>	<b>Roladora</b>	<b>Cantidad:1</b>
<b>6.1</b>	Tipo:	Roladora manual
<b>6.2</b>	Calibre de lámina:	6 mm
<b>6.3</b>	Longitud de rolado:	1000 mm
<b>HERRAMIENTAS</b>		
<b>7.</b>	<b>Combo de 14 lb.</b>	<b>Cantidad:1</b>
<b>8.</b>	<b>Perro</b>	<b>Cantidad:1</b>
<b>8.1</b>	Largo de ceja:	30mm
<b>8.2</b>	Largo de palanca:	1500mm
<b>9.</b>	<b>Cadena ganchos</b>	<b>Cantidad:2</b>
<b>9.1</b>	Largo:	8m
<b>9.2</b>	Diámetro nominal:	3/8"

#### 4.2.2 Personal

En lo referente a personal se determinó el número requerido en cada cargo y la experiencia mínima laborando en la metalmecánica encargada de la construcción de los tanques, a fin de cumplir con los plazos establecidos y garantizar la calidad del trabajo realizado.

**Tabla 4.2: Requerimientos de personal**

<b>PERSONAL</b>			
<b>ORD</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>EXPERIENCIA MÍNIMA</b>
1	Maestro metal mecánico	1	5 años
2	Soldador	2	2 años
3	Ayudantes mecánicos	4	4 meses

### 4.2.3 Materiales e insumos:

En base a la información obtenida en la etapa de diseño y la elaboración de los planos constructivos se determinaron las características y cantidades necesarias de materiales e insumos para la construcción de los tres tanques, dicha información se resume en la tabla 4.3.

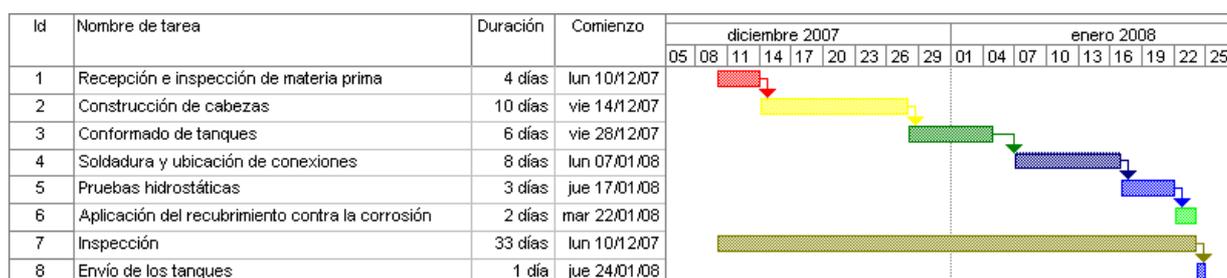
**Tabla 4.3:** Requerimientos de materiales e insumos

ORD	CANT	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
<b>MATERIALES</b>			
1	15	uu.	Lámina de acero ASTM A-36 1220 x 8565 x 6mm
2	20	uu.	Lámina de acero ASTM A-36 1220 x 2440 x 6mm
3	2	uu.	Tubo Ø4" SCH STD x 6000mm
4	1	uu.	Tubo Ø2" SCH STD x 6000mm
5	166	kg	Fibra de vidrio Woven Roving 815 g/m <sup>2</sup>
6	579	kg	Resina de poliéster
7	18	kg	Naftaleno de Cobalto
8	12	kg	Peróxido de metil etil acetona MEKP
9	6	kg	Pigmento azul para resina de poliéster
10	71	kg	Electrodo 6011 de 1/8"
11	48	uu.	Perno con tuerca 1/2" x 1 1/2" UNC
12	96	uu.	Arandela plana 1/2"
13	3	uu	Papel victoria de 5/32" 500X500 mm
<b>INSUMOS</b>			
14	6	uu	Grata con cerda de acero
15	6	uu	Disco para desbaste de 7"
16	2	uu	Broca de 1/2" para acero
17	8	uu	Cepillo de cerdas de acero
18	8	uu.	Rodillos ovejeros para pintura
19	8	uu.	Pares de guantes de caucho
20	38	m <sup>3</sup>	Agua

### 4.3 CRONOGRAMA DE FABRICACIÓN

Para la construcción de los tres tanques se siguió el cronograma presentado a continuación, en base a observaciones previas realizadas durante el proceso constructivo donde se determinaron los tiempos para las tareas:

**Tabla 4.4:** Cronograma de fabricación



### 4.4 INSPECCIÓN DURANTE EL PROCESO DE FABRICACIÓN

La inspección consiste en verificar que se cumplan con las características tanto cuantitativas como cualitativas que se especifican en la etapa de diseño y los planos constructivos.

Las normas UL 58 y UL 1746 no especifican ningún procedimiento de inspección durante la construcción de los tanques, solo hacen referencia las pruebas a las cuales deben ser sometidos los tanques para comprobar su estanqueidad previo a la aplicación del recubrimiento contra la corrosión.

El proceso de inspección es necesario durante todo el proceso de fabricación, no solamente cuando el producto esté terminado, por este motivo es indispensable que en cada paso constructivo de los tanques se realice una revisión de los parámetros que se deben cumplir en dicha etapa y verificar si se encuentra o no dentro de las tolerancias permitidas.

Las fases en las que se dividió la inspección son las siguientes:

- Inspección de materia prima.
- Inspección del proceso constructivo.

#### 4.4.1 Inspección de materia prima

La inspección de materia prima o de recibo consiste en verificar que los materiales suministrados cumplan con los requisitos y condiciones adecuadas para la fabricación de los tanques.

Es necesario adquirir materia prima de calidad, por este motivo se la debe obtener de proveedores reconocidos, como en el caso los materiales de acero, la empresa proveedora es DIPAC, para los electrodos de soldadura es AGA, para la fibra de vidrio CEPESA y para la resina REQUIMEC.

La empresa proveedora de las láminas de acero debe poseer los MTR (Reportes de Pruebas de Materiales) emitido por el fabricante o un C.C. (Certificado de Conformidad) donde se declara de forma escrita por parte del fabricante o del suministrador que el material que provee cumple con las especificaciones propias del material.

Las planchas de acero que se reciben en el taller son inspeccionadas para determinar el material, la cantidad, el estado de la superficie y sus dimensiones.

En el proyecto se utilizó planchas de acero ASTM A36 con dos medidas nominales distintas (8565x1220x6)mm para la construcción de los cuerpos y (2440x1220x6)mm para la construcción de las cabezas.

La verificación se realizó con la ayuda de tablas como se muestra a continuación:

**Tabla 4.5:** Verificación de planchas de acero (8565x1220x6) mm

Verificación de planchas de acero				
Datos del producto			Datos de proceso de verificación	
Denominación: Planchas de acero ASTM A36			Responsables: Luis Jiménez, Carlos Maldonado	
Código: Varios			Fecha: 10 de diciembre del 2007	
Dimensiones nominales: (8565 x 1220 x 6)mm			Cantidad: 15	
criterio de verificación:	Bien	Mal	Método:	Observaciones:
Material	x		Revisión de etiquetas en planchas	Acero ASTM A36
Dimensiones	x		Revisión de documentación y toma de medidas	Nominales (8565x1220x6)mm
Superficies	x		Inspección visual	Buen estado, sin óxidos
Otros				
<b>Conclusiones:</b> Las planchas de acero cumplen con las condiciones para la fabricación de los tanques.				

**Tabla 4.6:** Verificación de planchas de acero (2440x1220x6) mm

Verificación de planchas de acero				
Datos del producto			Datos de proceso de verificación	
Denominación: Planchas de acero ASTM A36			Responsables: Luis Jiménez, Carlos Maldonado	
Código: Varios			Fecha: 11 de diciembre del 2007	
Dimensiones nominales: (2440 x 1220 x 6)mm			Cantidad: 20	
Criterio de verificación:	Bien	Mal	Método:	Observaciones:
Material	x		Revisión de etiquetas en planchas	Acero ASTM A36
Dimensiones	x		Revisión de documentación y toma de medidas	Nominales (2440x1 220x6)mm
Superficies	x		Inspección visual	Buen estado, sin óxidos
Otros				
<b>Conclusiones: Las planchas de acero cumplen con las condiciones para la fabricación de los tanques.</b>				

Las tolerancias del espesor de láminas no se encuentran detalladas en los códigos de referencia con los cuales se construyen los tanques por lo que se investigó en códigos para construcción de tanques a presión bajo norma ASME sección VIII div 1, la cual dice que los espesores de láminas no podrán ser menores al 6% del espesor nominal o 0.01 plg, la que sea menor. En este proyecto la tolerancia de las láminas es de 0.01 plg (0.254 mm), por lo tanto el espesor mínimo aceptable debe ser 5.746 mm, todas las medidas tomadas en diferentes partes de las láminas en forma aleatoria estuvieron por encima de este valor, por tal motivo son aceptables según el criterio aplicado. Los valores mínimos de espesor encontrados en las láminas se detallan en los Check list en el punto 4.4.2. referente a la inspección del proceso constructivo.

Los electrodos de soldadura deben ser adquiridos en cajas selladas sin señales de daño por humedad. Deben ser del tipo y medida especificados en el diseño, lo cual se puede verificar con facilidad por el color del revestimiento y de la punta del electrodo.

**Tabla 4.7:** Verificación de electrodos de soldadura

Verificación de electrodos				
Datos del producto			Datos de proceso de verificación	
Denominación: Electrodo de soldadura E6011			Responsables: Luis Jiménez, Carlos Maldonado	
Código: Varios			Fecha: 12 de diciembre del 2007	
Diámetro: 1/8 plg			Cantidad: 71 kg	
criterio de verificación:	Bien	Mal	Método:	Observaciones:
Tipo	x		Revisión de marcas en cajas y electrodos, verificación del color de identificación	E6011 de 1/8 plg, revestimiento blanco, punta azul
Cantidad	x		Conteo de cajas	3 cajas y 11 kg sueltos, marca AGA
Humedad	x		Inspección visual	Sin daños por humedad
Otros				
<b>Conclusiones:</b> Los electrodos están en condiciones aceptables para que se realice las juntas soldadas. El electrodo E6011 de 1/8" se lo puede mantener a temperatura ambiente con la caja sellada y no es recomendable realizar su secado a través de hornos.				

#### 4.4.2 Inspección del proceso constructivo

La construcción de los tanques es un conjunto de procedimientos los cuales deben cumplirse en conformidad a las especificaciones de los planos constructivos, por tal motivo es necesario que se realicen inspecciones continuas durante la construcción para garantizar que los resultados finales sean los deseados.

Existen diversas formas de inspección, una de las cuales es realizar un "check list", donde se incluyan todos los parámetros dimensionales importantes que se deben cumplir en los tanques y verificar que las medidas reales que tenemos se encuentren dentro de las tolerancias permitidas por las normas de fabricación.

A continuación se presenta un Check list con la mayor cantidad de información concerniente a cada tanque exceptuando las soldaduras que serán analizadas en el punto 4.4.4.

Las observaciones a las que hacen referencia las tablas de inspección se encuentran a continuación de ellas.

**Tabla 4.8:** Check list del tanque para almacenamiento de diesel

TANQUES PARA ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE					
<b>DATOS DEL FABRICANTE</b>					
DISEÑADORES: Luis Jiménez, Carlos Maldonado			NOMBRE DE LA CONSTRUCTORA: Metal-Mecánica Cajo		
ESTÁNDARES DE REFERENCIA: UL 58, UL 1746			REPRESENTANTE DE LA CONSTRUCTORA: Salomón Cajo		
<b>DATOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO</b>					
COD TANQUE: GPDIE10000			FECHA INICIO DE CONSTRUCCIÓN: 10 de diciembre del 2007		
TIPO DE TANQUE: Horizontal subterráneo			PRODUCTO A ALMACENAR: Diesel		
USO DEL TANQUE: Almacenamiento de comb. Líquido			DIÁMETRO NOMINAL DEL TANQUE: 2.726 m		
TIPO DE MATERIAL: A-36			TIPO DE CABEZAS: Planas		
TIPO DE RECUBRIMIENTO: FRP			FECHA FIN DE CONSTRUCCIÓN: 15 de enero del 2008		
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>					
CAPACIDAD NOMINAL: 10000 gal			LARGO NOMINAL: 6.68 m		
CAPACIDAD OPERATIVA: 10250 gal			ESPESOR DE LÁMINA: 6 mm		
NÚMERO DE ANILLOS: 6			ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO: 3 mm		
	<b>CRITERIO DE EVALUACIÓN</b>	<b>NOMINAL</b>	<b>REAL</b>	<b>RANGO</b>	<b>OBS:</b>
<b>CABEZAS</b>	MATERIAL	A-36	A-36	N/A	
	ESPESOR (mm)	6	Min 5.96	5.746≤X≤6.254	OA1
	CABEZA A DIÁMETRO DE DESARROLLO (mm)	2797	Prom 2814	2797≤X≤2840	OA2
	CABEZA B DIÁMETRO DE DESARROLLO (mm)	2797	Prom 2812	2797≤X≤2840	OA2
	RADIO DE REBORDEO EXTERNO CABEZA A (mm)	Min 18	20	≥18	OA3
	RADIO DE REBORDEO EXTERNO CABEZA B (mm)	Min 18	19	≥18	OA3
	DIÁMETRO FINAL CABEZA A (mm)	2720	Prom 2730	2720≤X≤2747	OA4
	DIÁMETRO FINAL CABEZA B (mm)	2720	Prom 2727	2720≤X≤2747	OA4
<b>CUERPO</b>	MATERIAL	A-36	A-36	N/A	
	ESPESOR (mm)	6	Min 5.94	5.746≤X≤6.254	OB1
	LONGITUD ÚLTIMO ANILLO (mm)	580	Prom 587	565≤X≤595	OB2
	LARGO (m)	6.680	6.693	6.680≤X≤6.705	OB3
	DIÁMETRO INTERIOR (mm)	2720	Prom 2731	2720≤X≤2747	OB4
	CONEXIONES DE TUBERÍAS				OB5
<b>RECUBRIMIENTO</b>	MATERIAL	FRP	FRP	N/A	OC1
	ESPESOR (mm)	3	Prom 2.8	≥2.5	OC2

**Tabla 4.9:** Check list del tanque para almacenamiento de gasolina extra

TANQUES PARA ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE					
<b>DATOS DEL FABRICANTE</b>					
DISEÑADORES: Luis Jiménez, Carlos Maldonado			NOMBRE DE LA CONSTRUCTORA: Metal-Mecánica Cajo		
ESTÁNDARES DE REFERENCIA: UL 58, UL 1746			REPRESENTANTE DE LA CONSTRUCTORA: Salomón Cajo		
<b>DATOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO</b>					
COD TANQUE: GPEXT10000			FECHA INICIO DE CONSTRUCCIÓN: 10 de diciembre del 2007		
TIPO DE TANQUE: Horizontal subterráneo			PRODUCTO A ALMACENAR: Gasolina Extra		
USO DEL TANQUE: Almacenamiento de comb. Líquido			DIÁMETRO NOMINAL DEL TANQUE: 2.726 m		
TIPO DE MATERIAL: A-36			TIPO DE CABEZAS: Planas		
TIPO DE RECUBRIMIENTO: FRP			FECHA FIN DE CONSTRUCCIÓN: 15 de enero del 2008		
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>					
CAPACIDAD NOMINAL: 10000 gal			LARGO NOMINAL: 6.68 m		
CAPACIDAD OPERATIVA: 10250 gal			ESPEJOR DE LÁMINA: 6 mm		
NÚMERO DE ANILLOS: 6			ESPEJOR DEL RECUBRIMIENTO: 3 mm		
	<b>CRITERIO DE EVALUACIÓN</b>	<b>NOMINAL</b>	<b>REAL</b>	<b>RANGO</b>	<b>OBS:</b>
<b>CABEZAS</b>	MATERIAL	A-36	A-36	N/A	
	ESPEJOR (mm)	6	Min 5.96	5.746≤X≤6.254	OA1
	CABEZA A DIÁMETRO DE DESARROLLO (mm)	2797	Prom 2817	2797≤X≤2840	OA2
	CABEZA B DIÁMETRO DE DESARROLLO (mm)	2797	Prom 2814	2797≤X≤2840	OA2
	RADIO DE REBORDEO EXTERNO CABEZA A (mm)	Min 18	20	≥18	OA3
	RADIO DE REBORDEO EXTERNO CABEZA B (mm)	Min 18	20	≥18	OA3
	DIÁMETRO FINAL CABEZA A (mm)	2720	Prom 2726	2720≤X≤2747	OA4
	DIÁMETRO FINAL CABEZA B (mm)	2720	Prom 2728	2720≤X≤2747	OA4
<b>CUERPO</b>	MATERIAL	A-36	A-36	N/A	
	ESPEJOR (mm)	6	Min 5.94	5.746≤X≤6.254	OB1
	LONGITUD ÚLTIMO ANILLO (mm)	580	Prom 584	565≤X≤595	OB2
	LARGO (m)	6.680	6.702	6.680≤X≤6.705	OB3
	DIÁMETRO INTERIOR (mm)	2720	Prom 2732	2720≤X≤2747	OB4
	CONEXIONES DE TUBERÍAS				OB5
<b>RECUBRIMIENTO</b>	MATERIAL	FRP	FRP	N/A	OC1
	ESPEJOR (mm)	3	Prom 2.8	≥2.5	OC2

**Tabla 4.10:** Check list del tanque para almacenamiento de gasolina súper

TANQUES PARA ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE					
<b>DATOS DEL FABRICANTE</b>					
DISEÑADORES: Luis Jiménez, Carlos Maldonado			NOMBRE DE LA CONSTRUCTORA: Metal-Mecánica Cajo		
ESTÁNDARES DE REFERENCIA: UL 58, UL 1746			REPRESENTANTE DE LA CONSTRUCTORA: Salomón Cajo		
<b>DATOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO</b>					
COD TANQUE: GPSUP6000			FECHA INICIO DE CONSTRUCCIÓN: 10 de diciembre del 2007		
TIPO DE TANQUE: Horizontal subterráneo			PRODUCTO A ALMACENAR: Gasolina Súper		
USO DEL TANQUE: Almacenamiento de comb. Líquido			DIÁMETRO NOMINAL DEL TANQUE: 2.726 m		
TIPO DE MATERIAL: A-36			TIPO DE CABEZAS: Planas		
TIPO DE RECUBRIMIENTO: FRP			FECHA FIN DE CONSTRUCCIÓN: 15 de enero del 2008		
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>					
CAPACIDAD NOMINAL: 6000 gal			LARGO NOMINAL: 4.01 m		
CAPACIDAD OPERATIVA: 6150 gal			ESPEJOR DE LÁMINA: 6 mm		
NÚMERO DE ANILLOS: 4			ESPEJOR DEL RECUBRIMIENTO: 3 mm		
	<b>CRITERIO DE EVALUACIÓN</b>	<b>NOMINAL</b>	<b>REAL</b>	<b>RANGO</b>	<b>OBS:</b>
<b>CABEZAS</b>	MATERIAL	A-36	A-36	N/A	
	ESPEJOR (mm)	6	Min 5.96	5.746≤X≤6.254	OA1
	CABEZA A DIÁMETRO DE DESARROLLO (mm)	2797	Prom 2810	2797≤X≤2840	OA2
	CABEZA B DIÁMETRO DE DESARROLLO (mm)	2797	Prom 2806	2797≤X≤2840	OA2
	RADIO DE REBORDEO EXTERNO CABEZA A (mm)	Min 18	20	≥18	OA3
	RADIO DE REBORDEO EXTERNO CABEZA B (mm)	Min 18	20	≥18	OA3
	DIÁMETRO FINAL CABEZA A(mm)	2720	Prom 2734	2720≤X≤2747	OA4
	DIÁMETRO FINAL CABEZA B(mm)	2720	Prom 2731	2720≤X≤2747	OA4
<b>CUERPO</b>	MATERIAL	A-36	A-36	N/A	
	ESPEJOR (mm)	6	Min 5.94	5.746≤X≤6.254	OB1
	LONGITUD ÚLTIMO ANILLO (mm)	350	Prom 358	338≤X≤362	OB2
	LARGO (m)	4.010	4.012	4.010≤X≤4.023	OB3
	DIÁMETRO INTERIOR (mm)	2720	Prom 2736	2720≤X≤2747	OB4
	CONEXIONES DE TUBERÍAS				OB5
<b>RECUBRIMIENTO</b>	MATERIAL	FRP	FRP	N/A	OC1
	ESPEJOR (mm)	3	Prom 2.8	≥2.5	OC2

## **Observaciones:**

**OA1:** El mínimo espesor que pueden tener las láminas es de 5.746 mm, según el criterio de aceptación que permite una tolerancia de 0.01 plg o 6% del espesor, el que sea menor. Para este caso es 0.01 plg (0.254 mm). En las planchas para la elaboración de las cabezas el espesor mínimo encontrado fue de 5.96 mm equivalente a una variación respecto a la medida nominal de 0.67%.

**OA2:** El corte de las láminas para el diámetro de desarrollo de las cabezas en todos los casos fue mayor al diámetro nominal por tal motivo las cejas de las cabezas fueron realizadas de mayor longitud para que el diámetro externo final de cabeza fuese el requerido en los planos de construcción. El diámetro mayor encontrado fue en el tanque de código GPEXT10000 con 2817 mm que equivale a una variación respecto al diámetro nominal de 0.72% que se encuentra dentro del rango permisible.

**OA3:** El mínimo radio de rebordeo exterior que se debe tener es tres veces el espesor de la láminas con las cuales se construyan las cabezas para evitar fisuras en la superficie del material, en este proyecto el espesor de lámina fue de 6 mm por lo que el radio nominal de rebordeo se consideró 18 mm y el menor encontrado fue de 20 mm equivalente a una variación respecto al nominal de 11%, lo cual es beneficioso ya que disminuye la posibilidad de fisuras en el material. Se utilizó un flexómetro con una apreciación de 1 mm para realizar estas mediciones.

**OA4:** El diámetro nominal es 2720 mm, y el diámetro de cabeza que presentó mayor variación fue en el tanque de código GPSUP6000, con un diámetro de 2734 mm, equivalente a una variación de 0.51%, lo cual se encuentra dentro del rango permisible.

**OB1:** El mínimo espesor que pueden tener las láminas es de 5.746 mm, según el criterio de aceptación que permite una tolerancia de 0.01 plg o 6% del espesor, el que sea menor. Para este caso es 0.01 plg (0.254 mm). En las planchas para la elaboración de los cuerpos el espesor mínimo encontrado fue de 5.94 mm equivalente a una variación respecto a la medida nominal de 1%. Las medidas fueron tomadas con un calibrador pie de rey, con una apreciación de 0.02 mm.

**OB2:** Se refiere a la fracción de lámina que debe ser cortada y que es el último anillo del cuerpo para alcanzar el largo de tanque requerido, considerando a la dimensión del diámetro de las cabezas como la mayor aceptable, para que el volumen esté dentro del rango permisible. Las medidas tomadas están dentro del rango aceptable para los tres tanques.

**OB3:** El largo máximo permitido, se lo considera como si las cabezas fuesen construidas al límite del rango de aceptación de su diámetro, es decir el diámetro nominal más el 1 % (2747 mm). Para los tres tanques se encontraron medidas en el largo dentro del rango aceptable. Las medidas fueron tomadas con cinta metálica con apreciación de 1 mm.

**OB4:** La mayor variación del diámetro interior se dio en el tanque de código GPSUP6000 es igual a 16 mm que equivale a 0.58%, el cual está dentro del rango de aceptación del 1 %. Las medidas fueron tomadas con cinta metálica con apreciación de 1 mm.

**OB5:** Las distancias entre los agujeros para las conexiones de tuberías de cumplen de acuerdo a los planos constructivos.

**OC1:** La fibra de vidrio seleccionada es del tipo Woven Roving ya que tiene una densidad superficial de 815 gr/m<sup>2</sup> además es el único tipo de fibra que con una sola manta se logra el espesor requerido de 3 mm.

**OC2:** El espesor mínimo según norma UL 1746 párrafo 3.2 es de 0.1" (2.54 mm), en los planos se determinó un espesor de 3 mm y en la construcción se consiguió un espesor promedio de 2.8 mm, que está por encima del mínimo recomendado. Las medidas fueron tomadas con un calibrador pie de rey con apreciación de 0.02 mm.

#### **4.4.3 Soldadura**

La soldadura es fundamental para garantizar estanqueidad de los tanques, por este motivo es necesario realizar inspecciones antes y después que las juntas estén terminadas, tanto en el cuerpo como en las cabezas.

#### 4.4.3.1 Inspección previa a la soldadura

Antes de la realización de los trabajos de suelda, se debe chequear algunos parámetros fundamentales que intervienen en el proceso. Ya que los procesos fueron realizados simultáneamente para los tres tanques, la inspección previa a la soldadura se presenta por proceso, es decir una para cabezas y una para los cuerpos como se indica en las siguientes tablas:

**Tabla 4.11:** Inspección previa a las soldaduras de las cabezas

<b>Inspección de soldaduras de cabezas de tanques</b>			
<b>Datos del proceso</b>			
Tipo de inspección: Previo a la soldadura	Responsables: Luis Jiménez, Carlos Maldonado		
Procedimiento de soldadura: SMAW	Fecha: 14 de diciembre del 2007		
Soldador: Juan Chacha	Hora: 8H30		
Equipo: INFRA MI 250 L- CA/CD	Tipo de electrodo: E 6011 1/8"		
<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Bien</b>	<b>Mal</b>	<b>Observaciones:</b>
Tamaño del material base	x		Espesor 6 mm Acero A36
Condiciones de electrodos	x		Sin humedad
Pre calentamiento de material	x		Temperatura ambiente
Equipo de suelda	x		Corriente alterna, 95 A
Limpieza del área a soldar	x		Superficies libres de aceites, óxidos y moho al menos 50 mm desde el área de la suelda
Distancia entre planchas de acero	x		3 mm entre las planchas $\pm$ 1 mm
Ángulo del bisel	x		Bisel 0° (sin bisel)
<b>Conclusiones: Las condiciones son las necesarias y adecuadas para proceder a la realización de los cordones de soldadura</b>			

**Tabla 4.12:** Inspección previa a las soldaduras de los cuerpos

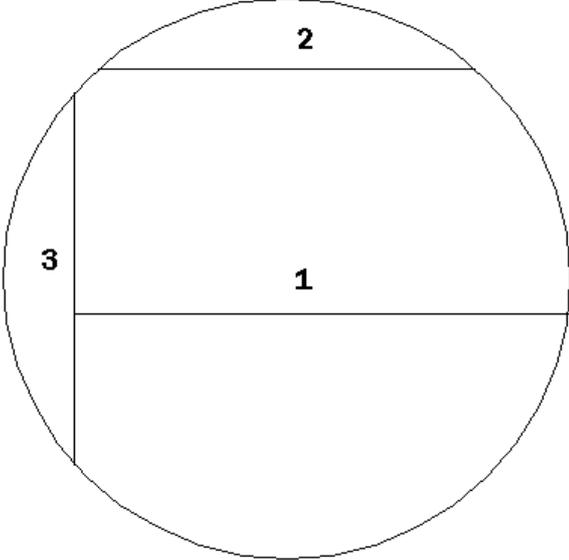
<b>Inspección de soldaduras de los cuerpos de tanques</b>			
<b>Datos del proceso</b>			
Tipo de inspección: Previo a la soldadura	Responsables: Luis Jiménez, Carlos Maldonado		
Procedimiento de soldadura: SMAW	Fecha: 28 de diciembre del 2007		
Soldador: Pedro Holguín/Juan Chacha	Hora: 8H15		
Equipo: INFRA MI 250 L- CA/CD	Tipo de electrodo: E 6011 1/8"		
<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Bien</b>	<b>Mal</b>	<b>Observaciones:</b>
Tamaño del material base	x		Espesor 6 mm Acero A36
Condiciones de electrodos	x		Sin humedad
Pre calentamiento de material	x		Temperatura ambiente (sin pre calentamiento)
Equipo de suelda	x		Corriente alterna, 95 A
Limpieza del área a soldar	x		Superficies libres de aceites, óxidos y moho al menos 50 mm desde el área de la suelda
Distancia entre planchas de acero	x		3 mm entre las planchas $\pm$ 1 mm
Ángulo del bisel	x		Bisel 0° (sin bisel)
<b>Conclusiones: Las condiciones son las necesarias y adecuadas para proceder a la realización de los cordones de soldadura</b>			

#### 4.4.3.2 Inspección post-soldadura

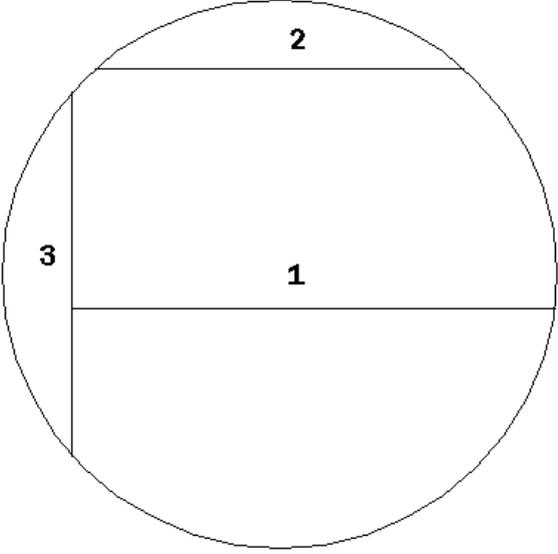
Los cordones de soldadura realizados deben contar con una buena apariencia, uniformidad, continuidad, limpieza de escoria y sin presentar porosidades ni fisuras como también una buena fusión entre el material base y el material de aporte. La inspección de las soldaduras fue realizada de forma visual con la ayuda de una lupa en cada uno de los cordones de los tanques tanto en el cuerpo, cabezas y conexiones a tuberías en el interior como en el exterior de los tanques.

La inspección post-soldadura es un proceso necesario para evitar contratiempos que pueden ocasionar derrames de combustible que afecten a la naturaleza, comunidades como también a los intereses económicos de la estación de servicio.

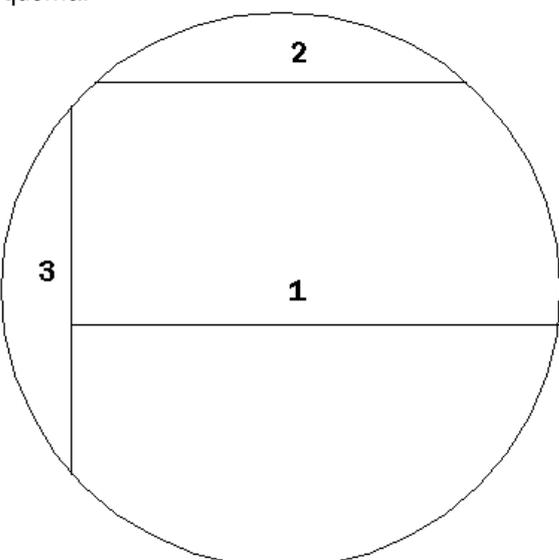
**Tabla 4.13:** Inspección post-soldadura de cabezas (diesel)

Inspección de soldaduras de cabezas GPDIE10000				
Datos del proceso				
Tipo de inspección: Post-soldadura		Responsables: Luis Jiménez, Carlos Maldonado		
Procedimiento de soldadura: SMAW		Fecha: 27 de diciembre del 2007		
Soldador: Juan Chacha/Pedro Holguín		Hora: 16H00		
Equipo: INFRA MI 250 L- CA/CD		Tipo de electrodo: E 6011 1/8"		
Esquema:				
			<p><b>AD.- Cabeza 1 tanque diesel</b>  <b>BD.- Cabeza 2 tanque diesel</b>  <b>E.- Soldaduras externas</b>  <b>I.- Soldaduras internas</b></p>	
Criterio de evaluación	Bien	Mal	Observaciones:	Ubicación:
Apariencia	x			
Uniformidad de los cordones	x		Ondas uniformes	
Continuidad de los cordones		x	Traslapes y espacios entre cordones	BD1E
Fisuras	x		No existen fisuras	
Fusión Mat. Base / Mat. aporte	x		Buena fusión	
Limpieza de escoria		x	Limpieza no realizada en la totalidad de los cordones	Todos los cordones
Porosidad		x	Zonas presentan porosidades	AD2I, AD3E, BD2E
<b>Conclusiones: Los cordones donde la limpieza no ha sido realizada adecuadamente y los lugares de las soldaduras que presentaron discontinuidades y porosidades fueron identificados y marcados para que se hagan los trabajos correctivos necesarios.</b>				

**Tabla 4.14:** Inspección post-soldadura de cabezas (gasolina extra)

<b>Inspección de soldaduras de cabezas GPEXT10000</b>				
<b>Datos del proceso</b>				
Tipo de inspección: Post-soldadura		Responsables: Luis Jiménez, Carlos Maldonado		
Procedimiento de soldadura: SMAW		Fecha: 28 de diciembre del 2007		
Soldador: Juan Chacha/ Pedro Holguín		Hora: 10H30		
Equipo: INFRA MI 250 L- CA/CD		Tipo de electrodo: E 6011 1/8"		
Esquema:				
			<p><b>AX.- Cabeza 1 tanque gasolina extra</b>  <b>BX.- Cabeza 2 tanque gasolina extra</b>  <b>E.- Soldaduras externas</b>  <b>I.- Soldaduras internas</b></p>	
<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Bien</b>	<b>Mal</b>	<b>Observaciones:</b>	<b>Ubicación:</b>
Apariencia	<b>x</b>			
Uniformidad de los cordones	<b>x</b>		Ondas uniformes	
Continuidad de los cordones	<b>x</b>		Sin traslapes y sin espacios entre cordones	
Fisuras	<b>x</b>		No existen fisuras	
Fusión Mat. Base / Mat. aporte	<b>x</b>		Buena fusión	
Limpieza de escoria		<b>x</b>	Limpieza no realizada en la totalidad de los cordones	Todos los cordones
Porosidad		<b>x</b>	Zonas presentan porosidades	BX2E
<b>Conclusiones:</b> Los cordones donde la limpieza no ha sido realizada adecuadamente y los lugares de las soldaduras que presentaron porosidades fueron identificados y marcados para que se hagan los trabajos correctivos necesarios.				

**Tabla 4.15:** Inspección post-soldadura de cabezas (gasolina súper)

Inspección de soldaduras de cabezas GPSUP6000				
<b>Datos del proceso</b>				
Tipo de inspección: Post-soldadura		Responsables: Luis Jiménez, Carlos Maldonado		
Procedimiento de soldadura: SMAW		Fecha: 28 de diciembre del 2007		
Soldador: Juan Chacha		Hora: 12H30		
Equipo: INFRA MI 250 L- CA/CD		Tipo de electrodo: E 6011 1/8"		
Esquema:				
		<p><b>AS.- Cabeza 1 tanque gasolina súper</b>  <b>BS.- Cabeza 2 tanque gasolina súper</b>  <b>E.- Soldaduras externas</b>  <b>I.- Soldaduras internas</b></p>		
Criterio de evaluación	Bien	Mal	Observaciones:	Ubicación:
Apariencia	x			
Uniformidad de los cordones	x		Ondas uniformes	
Continuidad de los cordones	x		Sin traslapes y sin espacios entre cordones	
Fisuras	x		No existen fisuras	
Fusión Mat. Base / Mat. aporte	x		Buena fusión	
Limpieza de escoria		x	Limpieza no realizada en la totalidad de los cordones	Todos los cordones
Porosidad		x	Zonas presentan porosidades	AS1I, BS3E
<b>Conclusiones: Los cordones donde la limpieza no ha sido realizada adecuadamente y los lugares de las soldaduras que presentaron porosidades fueron identificados y marcados para que se hagan los trabajos correctivos necesarios.</b>				

En los sitios en los cuales la escoria no fue removida adecuadamente solo se realizó una limpieza extra con cepillo metálico y un cincel o martillo o grata,

mientras que en los cordones que presentaron porosidades y discontinuidades se removió el material de suelda con amoladora hasta encontrar material sano para después realizar un nuevo cordón, y luego se realizó una nueva inspección en estas zonas.

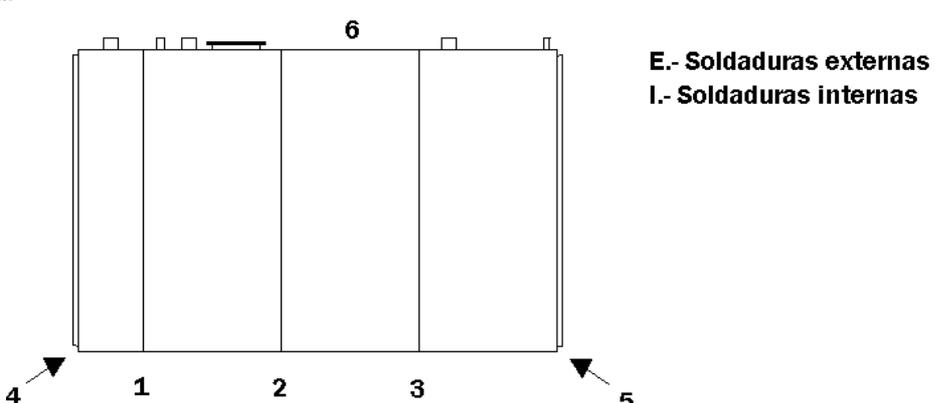
**Tabla 4.16:** Inspección post-soldadura de cuerpo (diesel)

Inspección de soldaduras del cuerpo del tanque GPDIE10000				
Datos del proceso				
Tipo de inspección: Post-soldadura		Responsables: Luis Jiménez, Carlos Maldonado		
Procedimiento de soldadura: SMAW		Fecha: 16 de enero del 2008		
Soldador: Pedro Holguín/ Juan Chacha		Hora: 15H00		
Equipo: INFRA MI 250 L- CA/CD		Tipo de electrodo: E 6011 1/8"		
Esquema:				
Criterio de evaluación	Bien	Mal	Observaciones:	Ubicación:
Apariencia	x			
Uniformidad de los cordones	x		Ondas uniformes	
Continuidad de los cordones		x	Existen espacios pequeños entre algunos cordones de suelda	E3, E7, I7
Fisuras	x		No se presentaron fisuras	
Fusión Mat. Base / Mat. aporte	x		Buena fusión	
Limpieza de escoria		x	Limpieza no realizada en la totalidad de los cordones	Todos los cordones
Porosidad		x	Algunos cordones presentan porosidades	I6, I7, E8, I8
<b>Conclusiones:</b> Los cordones donde la limpieza no ha sido realizada adecuadamente, los lugares de las soldaduras que presentan porosidades y los espacios donde existen discontinuidad entre sueldas son identificados y marcados para que se hagan los trabajos necesarios.				

**Tabla 4.17:** Inspección post-soldadura de cuerpo (gasolina extra)

Inspección de soldaduras del cuerpo del tanque GPEXT10000				
Datos del proceso				
Tipo de inspección: Post-soldadura		Responsables: Luis Jiménez, Carlos Maldonado		
Procedimiento de soldadura: SMAW		Fecha: 17 de enero del 2008		
Soldador: Pedro Holguín/ Juan Chacha		Hora: 7H00		
Equipo: INFRA MI 250 L- CA/CD		Tipo de electrodo: E 6011 1/8"		
Esquema:				
<b>E.- Soldaduras externas</b> <b>I.- Soldaduras internas</b>				
Criterio de evaluación	Bien	Mal	Observaciones:	Ubicación:
Apariencia	x			
Uniformidad de los cordones	x		Ondas uniformes	
Continuidad de los cordones		x	Existen espacios pequeños entre algunos cordones de suelda	E2, E5
Fisuras	x		No se presentaron fisuras	
Fusión Mat. Base / Mat. aporte	x		Buena fusión	
Limpieza de escoria		x	Limpieza no realizada en la totalidad de los cordones	Todos los cordones
Porosidad		x	Algunos cordones presentan porosidades	E7, I7, E8
<b>Conclusiones:</b> Los cordones donde la limpieza no ha sido realizada adecuadamente, los lugares de las soldaduras que presentan porosidades y los espacios donde existen discontinuidad entre sueldas son identificados y marcados para que se hagan los trabajos necesarios.				

**Tabla 4.18:** Inspección post-soldadura de cuerpo (gasolina súper)

Inspección de soldaduras del cuerpo del tanque GPSUP6000				
<b>Datos del proceso</b>				
Tipo de inspección: Post-soldadura		Responsables: Luis Jiménez, Carlos Maldonado		
Procedimiento de soldadura: SMAW		Fecha: 17 de enero del 2008		
Soldador: Pedro Holguín		Hora: 14H00		
Equipo: INFRA MI 250 L- CA/CD		Tipo de electrodo: E 6011 1/8"		
Esquema:				
 <p style="text-align: right;"><b>E.- Soldaduras externas</b> <b>I.- Soldaduras internas</b></p>				
Criterio de evaluación	Bien	Mal	Observaciones:	Ubicación:
Apariencia	x			
Uniformidad de los cordones	x		Ondas uniformes	
Continuidad de los cordones	x		No existen espacios entre cordones de suelda	
Fisuras	x		No se presentaron fisuras	
Fusión Mat. Base / Mat. aporte	x		Buena fusión	
Limpieza de escoria		x	Limpieza no realizada en la totalidad de los cordones	Todos los cordones
Porosidad		x	Algunos cordones presentan porosidades	E1, E5, I5, I6
<b>Conclusiones: Los cordones donde la limpieza no ha sido realizada adecuadamente, los lugares de las soldaduras que presentan porosidades son identificados y marcados para que se hagan los trabajos necesarios.</b>				

Al igual que en las cabezas, se realizó la limpieza en las zonas donde la escoria no fue removida por completo y los sitios con porosidades y con discontinuidades fueron amolados hasta encontrar material sano y se volvió a soldar, posteriormente se realizó otra inspección en los sitios donde se hicieron nuevos cordones de soldadura para verificar el estado en el cual quedaron.



## **CAPÍTULO 5**

### **PRUEBAS DE VERIFICACIÓN**

#### **5.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO**

Las condiciones de seguridad en las instalaciones de una estación servicio deben ser verificadas para disminuir los riesgos a la naturaleza, a la comunidad, y al personal, por lo tanto, se debe comprobar la estanqueidad e integridad estructural de sus equipos y sistemas, con la finalidad de garantizar su confiabilidad durante la normal operación de la estación.

Respecto a los tanques que forman parte del sistema de almacenamiento de combustible, según norma UL 58 párrafo 11.1, pueden ser sometidos a una prueba neumática con una presión de prueba de 3 a 5 psig y la utilización de agua jabonosa a lo largo de los cordones de soldadura para la detección de fugas, o también se los puede someter a una prueba hidrostática con una sobre presión de prueba de 5 psig, en la posición en que los tanques serán instalados en la estación de servicio. Dichas pruebas deben efectuarse antes de la aplicación de la fibra de vidrio sobre la superficie externa de los tanques.

Si durante el desarrollo de las pruebas se detectan fugas, se debe realizar la reparación de la junta defectuosa en ambas caras para posteriormente llevar a cabo una nueva prueba neumática o hidrostática.

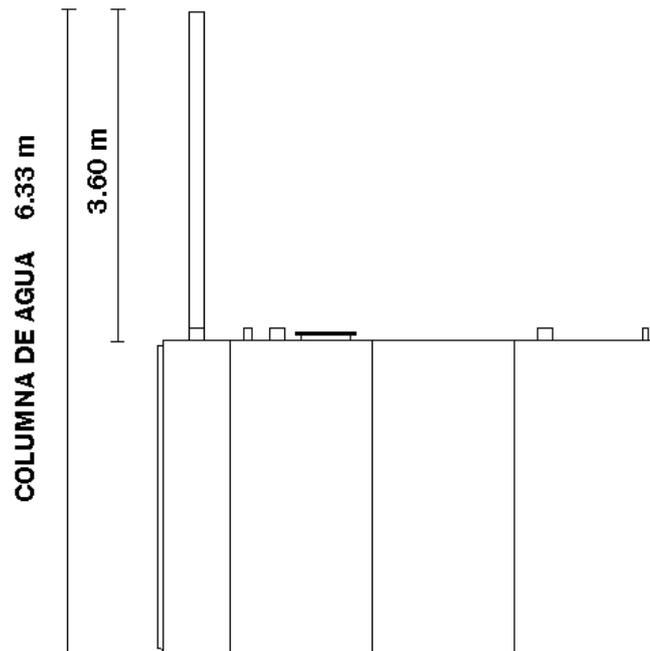
Con relación al presente proyecto se eligió realizar pruebas hidrostáticas en los tres tanques, estas pruebas según la norma deben ser desarrolladas en el sitio de fabricación, para este caso en las instalaciones de la Metal Mecánica Cajo.

Para lograr la sobre presión que se requiere, se colocó una columna de agua sobre los tanques equivalente a 5 psig o 3.52 mH<sub>2</sub>O, roscando un tubo del largo requerido a la unión para carga de combustible, posteriormente se llenó el tanque; en el proyecto se utilizó un tubo de 3.60 m, para la columna de agua.

Las normas de referencia no indican condiciones para el desarrollo de la prueba como son temperaturas mínimas y máximas así como el tiempo de duración, por lo que solo se verificó que la temperatura ambiente este por encima del punto de congelamiento del agua, y que el tiempo de duración de la prueba sea el necesario para realizar un revisión completa de las soldaduras.

Las inspecciones durante las pruebas hidrostáticas a las juntas soldadas son para descartar la existencia de fugas; en caso de haberlas, se debe marcar los sitios que requieren reparaciones y posterior al vaciado del tanque se debe realizar las debidas reparaciones en los cordones tanto internos como externos.

Para la realización de las prueba hidrostáticas en los tanques fue necesario colocar tapones en las conexiones de tuberías excepto por donde se va a realizar el llenado, como también se empernó el manhole con su respectivo empaque para evitar fugas.



**Figura 5.1:** Esquema de la realización de la prueba hidrostática.

### 5.1.1 Toma de datos

Para realizar las pruebas de verificación de los tanques se debe considerar las condiciones en las cuales van a ser desarrolladas dichas pruebas. En las siguientes tablas se detallan los parámetros que intervinieron en la verificación de cada tanque.

**Tabla 5.1:** Prueba hidrostática del tanque para diesel

<b>PRUEBA HIDROSTÁTICA</b>	
<b>DATOS GENERALES</b>	
CÓDIGO TANQUE: GPDIE10000	RESPONSABLES: Luis Jiménez, Carlos Maldonado
CAPACIDAD NOMINAL: 10000 gal	FECHA: 17 de enero del 2008
MATERIAL: Acero A36	HORA DE INICIO: 9H00
SERVICIO: Almacenamiento de comb. líquido (diesel)	LUGAR DE PRUEBA: Metal-mecánica Cajo
<b>PARÁMETROS</b>	
PRESIÓN DE DISEÑO: Atmosférica	DURACIÓN DE LA PRUEBA (min): 45
PRESIÓN DE OPERACIÓN: Atmosférica	ALTO DE LA COLUMNA DE AGUA (m): 3.60
SOBREPRESIÓN DE PRUEBA (PSI): 5	TEMPERATURA AMBIENTE (° C) : 19

**Tabla 5.2:** Prueba hidrostática del tanque para gasolina extra

<b>PRUEBA HIDROSTÁTICA</b>	
<b>DATOS GENERALES</b>	
CÓDIGO TANQUE: GPEXT10000	RESPONSABLES: Luis Jiménez, Carlos Maldonado
CAPACIDAD NOMINAL: 10000 gal	FECHA: 18 de enero del 2008
MATERIAL: Acero A36	HORA DE INICIO: 10H30
SERVICIO: Almacenamiento de comb. líquido (extra)	LUGAR DE PRUEBA: Metal-mecánica Cajo
<b>PARÁMETROS</b>	
PRESIÓN DE DISEÑO: Atmosférica	DURACIÓN DE LA PRUEBA (min): 35
PRESIÓN DE OPERACIÓN: Atmosférica	ALTO DE LA COLUMNA DE AGUA (m): 3.60
SOBREPRESIÓN DE PRUEBA (PSI): 5	TEMPERATURA AMBIENTE (° C) : 20

**Tabla 5.3:** Prueba hidrostática del tanque para gasolina súper

<b>PRUEBA HIDROSTÁTICA</b>	
<b>DATOS GENERALES</b>	
CÓDIGO TANQUE: GPSUP6000	RESPONSABLES: Luis Jiménez, Carlos Maldonado
CAPACIDAD NOMINAL: 6000 gal	FECHA: 19 de enero del 2008
MATERIAL: acero A36	HORA DE INICIO: 10H20
SERVICIO: Almacenamiento de comb. líquido (súper)	LUGAR DE PRUEBA: Metal-mecánica Cajo
<b>PARÁMETROS</b>	
PRESIÓN DE DISEÑO: Atmosférica	DURACIÓN DE LA PRUEBA (min): 25
PRESIÓN DE OPERACIÓN: Atmosférica	ALTO DE LA COLUMNA DE AGUA (m): 3.60
SOBREPRESIÓN DE PRUEBA (PSI): 5	TEMPERATURA AMBIENTE (° C): 20

Para el desarrollo de la pruebas en los tanques, en primera instancia, se procedió al llenado del tanque de 10000 gal para diesel, una vez que se realizó la verificación de las mismas se vació el tanque, descargando el agua en el tanque de 10000 galones para extra y se procedió a la inspección de éste último. Luego de vació el tanque descargando parte del agua en el tanque de 6000 galones y desechando el sobrante. Luego de realizar la inspección, el último tanque fue vaciado.

## **5.2 RESULTADOS**

Durante la prueba hidrostática, se revisan todas las soldaduras del tanque, con lo cual se determina si existen fugas en cada cordón tanto de las cabezas como del cuerpo y de las conexiones para tuberías. Los resultados obtenidos son tabulados, éstos solo pueden ser satisfactorios o no satisfactorios, no existen valoraciones intermedias. Los resultados obtenidos en las pruebas se los presenta a continuación:

**Tabla 5.4:** Resultados de prueba hidrostática (tanque de diesel)

<b>RESULTADOS DE PRUEBA HIDROSTÁTICA</b>		
<b>DATOS GENERALES</b>		
CÓDIGO TANQUE: GPDIE10000	RESPONSABLES: Luis Jiménez, Carlos Maldonado	
CAPACIDAD NOMINAL: 10000 gal	LUGAR DE PRUEBA: Metal-mecánica Cajo	
SERVICIO: Almacenamiento de comb. líquido (diesel)		
ESQUEMA:		
Ord	SOLDADURAS EN LAS CABEZAS	RESULTADOS
1	CABEZA 1	No presenta fugas
2	CABEZA 2	No presenta fugas
<b>SOLDADURAS EN EL CUERPO</b>		
3	SOLD CIRCUNFERENCIAL 1	No presenta fugas
4	SOLD CIRCUNFERENCIAL 2	No presenta fugas
5	SOLD CIRCUNFERENCIAL 3	No presenta fugas
6	SOLD CIRCUNFERENCIAL 4	No presenta fugas
7	SOLD CIRCUNFERENCIAL 5	No presenta fugas
8	SOLD LONGITUDINAL	No presenta fugas
<b>SOLDADURAS ENTRE CUERPO Y CABEZAS</b>		
9	SOLD CUERPO-CABEZA 1	No presenta fugas
10	SOLD CUERPO-CABEZA 2	No presenta fugas
<b>SOLDADURAS DE CONEXIONES SOLDADAS Y MANHOLE</b>		
11	TUBERÍA DE CARGA	No presenta fugas
12	MEDICIÓN MANUAL	No presenta fugas
13	TUBERIA DE DESCARGA	No presenta fugas
14	MANHOLE	No presenta fugas
15	MEDICIÓN ELECTRÓNICA	No presenta fugas
16	VENTEO	No presenta fugas

**Tabla 5.5:** Resultados de prueba hidrostática (tanque de gasolina extra)

RESULTADOS DE PRUEBA HIDROSTÁTICA		
<b>DATOS GENERALES</b>		
CÓDIGO TANQUE: GPEXT10000	RESPONSABLES: Luis Jiménez, Carlos Maldonado	
CAPACIDAD NOMINAL: 10000 gal	LUGAR DE PRUEBA: Metal-mecánica Caja	
SERVICIO: Almacenamiento de comb. líquido (gasolina extra)		
ESQUEMA:		
<b>Ord</b>	<b>SOLDADURAS EN LAS CABEZAS</b>	<b>RESULTADOS</b>
1	CABEZA 1	No presenta fugas
2	CABEZA 2	No presenta fugas
<b>SOLDADURAS EN EL CUERPO</b>		
3	SOLD CIRCUNFERENCIAL 1	No presenta fugas
4	SOLD CIRCUNFERENCIAL 2	No presenta fugas
5	SOLD CIRCUNFERENCIAL 3	No presenta fugas
6	SOLD CIRCUNFERENCIAL 4	No presenta fugas
7	SOLD CIRCUNFERENCIAL 5	No presenta fugas
8	SOLD LONGITUDINAL	No presenta fugas
<b>SOLDADURAS ENTRE CUERPO Y CABEZAS</b>		
9	SOLD CUERPO-CABEZA 1	No presenta fugas
10	SOLD CUERPO-CABEZA 2	No presenta fugas
<b>SOLDADURAS DE CONEXIONES SOLDADAS Y MANHOLE</b>		
11	TUBERÍA DE CARGA	No presenta fugas
12	MEDICIÓN MANUAL	No presenta fugas
13	TUBERIA DE DESCARGA	No presenta fugas
14	MANHOLE	No presenta fugas
15	MEDICIÓN ELECTRÓNICA	No presenta fugas
16	VENTEO	No presenta fugas

**Tabla 5.6:** Resultados de prueba hidrostática (tanque de gasolina súper)

<b>RESULTADOS DE PRUEBA HIDROSTÁTICA</b>		
<b>DATOS GENERALES</b>		
CÓDIGO TANQUE: GPSUP6000	RESPONSABLES: Luis Jiménez, Carlos Maldonado	
CAPACIDAD NOMINAL: 6000 gal	LUGAR DE PRUEBA: Metal-mecánica Cajo	
SERVICIO: Almacenamiento de comb. líquido (gasolina súper)		
ESQUEMA:		
<b>Ord</b>	<b>SOLDADURAS EN LAS CABEZAS</b>	<b>RESULTADOS</b>
1	CABEZA 1	No presenta fugas
2	CABEZA 2	No presenta fugas
<b>SOLDADURAS EN EL CUERPO</b>		
3	SOLD CIRCUNFERENCIAL 1	No presenta fugas
4	SOLD CIRCUNFERENCIAL 2	No presenta fugas
5	SOLD CIRCUNFERENCIAL 3	No presenta fugas
6	SOLD LONGITUDINAL	No presenta fugas
<b>SOLDADURAS ENTRE CUERPO Y CABEZAS</b>		
7	SOLD CUERPO-CABEZA 1	No presenta fugas
8	SOLD CUERPO-CABEZA 2	No presenta fugas
<b>SOLDADURAS DE CONEXIONES SOLDADAS Y MANHOLE</b>		
9	TUBERÍA DE CARGA	No presenta fugas
10	MEDICIÓN MANUAL	No presenta fugas
11	TUBERIA DE DESCARGA	No presenta fugas
12	MANHOLE	No presenta fugas
13	MEDICIÓN ELECTRÓNICA	No presenta fugas
14	VENTEO	No presenta fugas

### **5.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Los tanques han sido evaluados durante la prueba hidrostática a la cual fueron sometidos, los cordones de soldadura fueron revisados uno por uno en toda su extensión.

Los resultados obtenidos en la prueba hidrostática son satisfactorios en los tres tanques ya que no se registraron filtraciones de agua en ningún tanque, como tampoco se observó deformación en su estructura cuando fueron sometidos a la presión de prueba.

Como se conoce, la columna de agua que sirve para lograr la presión de prueba, genera la mayor presión en el fondo del tanque evaluado, por tal motivo se inspeccionó las soldaduras en el fondo con especial cuidado, ya que las posibles fallas pueden aparecer allí, por ser los sectores más vulnerables respecto a la presión interna.

### **5.4 VALIDACIÓN**

El hecho de que los resultados arrojados de la prueba hidrostática hayan sido satisfactorios, significa que los tanques son aptos para ser llenados de combustible líquido a presión atmosférica sin tener riesgos de filtraciones, también se comprueba que los tanques tienen la suficiente rigidez estructural para soportar la presión interna generada por el almacenamiento de un líquido sin presentar deformaciones mayores que puedan afectar el normal desempeño de éstos en el tiempo al producir fallas por fatiga por la continua variación en el nivel de líquido a la cual van a estar sometidos los tanques durante la normal operación de la estación de servicio.

## **CAPÍTULO 6**

### **EVALUACIÓN ECONÓMICA**

#### **6.1 ANÁLISIS SOBRE COSTOS REALES DEL PROYECTO**

En la elaboración de los tanques para almacenamiento de combustible del presente proyecto se realizaron gastos indispensables, tanto en el diseño como en la construcción, para lograr los objetivos planteados.

Antes de comenzar con el proyecto se elaboró un presupuesto teórico presentado en el perfil del proyecto de grado que fue de 24122,00 USD correspondiente a los costos totales que involucran diseñar y construir los tanques, este presupuesto sirvió como base y referencia de cuanto dinero se necesitaría para alcanzar los objetivos de la empresa dueña de los tanques. Después de concluida la construcción, se logró establecer los costos reales en los que se incurrió.

Para la realización del análisis económico y el financiamiento de los costos reales se consideró a los costos directos y a los costos indirectos del proyecto que se detallarán en los siguientes puntos.

##### **6.1.1 Costos directos**

Los costos correspondientes al producto en sí, tanto en su contenido como en el proceso de fabricación son llamados costos directos, en el presente proyecto de grado los costos directos se refieren a las remuneraciones a personas profesionales como son el director y codirector de tesis, remuneraciones a los estudiantes responsables del proyecto de grado y a las personas no profesionales como los trabajadores de la Metal Mecánica Cajo que mediante su esfuerzo físico

y mental colaboraron para la construcción de los tanques. También forma parte de este rubro los materiales utilizados.

**Tabla 6.1:** Remuneración a profesionales

No	DESCRIPCIÓN	No DE HORAS	\$/HORA	TOTAL (USD)
1	Director de tesis	40	15.00	600.00
1	Codirector de tesis	40	15.00	600.00
			<b>TOTAL (2.1) USD</b>	<b>1200.00</b>

**Tabla 6.2:** Remuneración a no profesionales

No	DESCRIPCIÓN	No DE HORAS	\$/HORA HOMBRE	TOTAL (USD)
1	Maestro metal mecánico	160	2.00	320.00
2	Soldador	45	1.70	153.00
4	Ayudantes mecánicos	180	1.11	799.20
			<b>TOTAL (2.2) USD</b>	<b>1272.20</b>

**Tabla 6.3:** Remuneración a estudiantes

NOMBRE	CARGO	No DE HORAS	\$/HORA	TOTAL (USD)
Sr. Luis Jiménez	Responsable del proyecto	400	3.00	1200.00
Sr. Carlos Maldonado	Responsable del proyecto	400	3.00	1200.00
			<b>TOTAL (2.3) USD</b>	<b>2400.00</b>

Los materiales son los recursos que se transforman en bienes terminados, en la construcción de los tanques se utilizaron los que se presentan a continuación.

**Tabla 6.4:** Costos de adquisición de materiales

ORD	CANT	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	V unitario USD	TOTAL USD
1	15	Lámina de acero ASTM A-36 (1220x8565x6)mm	uu.	771.70	11575.50
2	20	Lámina de acero ASTM A-36 (1220x2440x6)mm	uu.	219.85	4397.00
3	2	Tubos Ø4" SCH STD x 6000mm	uu.	34.57	69.14
4	1	Tubos Ø2" SCH STD x 6000mm	uu.	11.70	11.70
5	166	Fibra de vidrio Woven Roving 815 g/m2	kg	3.80	630.80
6	579	Resina de poliéster	kg	2.77	1603.83
7	18	Naftaleno de Cobalto	kg	22.44	403.92
8	12	Peróxido de metil etil acetona MEKP	kg	4.59	55.08
9	6	Pigmento azul para resina de poliéster	kg	17.05	102.30
10	71	Electrodo 6011 de 1/8"	kg	2.74	194.54
11	48	Perno con tuerca 1/2" x 1 1/2" UNC	uu.	0.40	19.20
12	96	Arandela plana 1/2"	uu.	0.03	2.88
13	3	Papel victoria de 5/32" 500X500 mm	uu.	5.00	15.00
				<b>TOTAL (2.4) USD</b>	<b>19080.89</b>

Con los costos de mano de obra directa y materiales, se puede determinar los costos directos totales, que para este proyecto son los costos de construcción:

**Tabla 6.5:** Costos directos totales

ORD	DESCRIPCIÓN	TOTAL USD
1	Remuneración a profesionales	1200.00
2	Remuneración a no profesionales	1272.20
3	Remuneración a estudiantes	2400.00
4	Materiales	19080.89
<b>TOTAL (2) USD</b>		<b>23953.09</b>

### 6.1.2 Costos indirectos

Por este concepto se agrupan a los recursos utilizados para la fabricación pero que no se encuentran en el producto final. En el proyecto estos costos son los insumos, consultoría y materiales varios que se emplearon.

**Tabla 6.6:** Costos de adquisición de insumos

ORD	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	V. unitario USD	TOTAL USD
1	6	Gratas con cerdas acero	uu.	9.52	57.12
2	6	Disco para desvaste 7 plg	uu.	2.8	16.80
3	2	Broca 1/2 plg para acero	uu.	4.2	8.40
4	8	Cepillo de cerdas metálicas	uu.	0.83	6.64
5	8	Rodillos ovejeros	uu.	1.77	14.16
6	8	Pares de guantes de caucho	uu.	1.24	9.92
7	38	Agua de tanquero	m3	2.5	95.00
				<b>TOTAL (1.1) USD</b>	<b>208.04</b>

**Tabla 6.5:** Consultoría

No	PERSONAL	No DE HORAS	\$/HORA	TOTAL USD
1	Arq. Eduardo Carrillo	20	10.00	200.00
			<b>TOTAL (1.2) USD</b>	<b>200.00</b>

**Tabla 6.6:** Misceláneos

ORD	DESCRIPCIÓN	TOTAL USD
1	Suministros de oficina	100.00
2	Combustible	300.00
3	Otros	50.00
4	Bibliografía	1064.00
<b>TOTAL (1.3) USD</b>		<b>1514.00</b>

Los costos indirectos totales se consiguen de la sumaria correspondiente a los valores de insumos, consultoría y misceláneos.

**Tabla 6.7:** Costos indirectos totales

<b>ORD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TOTAL USD</b>
1	Insumos	208.04
2	Consultoría	200.00
3	Misceláneos	1514.00
	<b>TOTAL (1) USD</b>	<b>1922.04</b>

### 6.1.3 Costos totales

Los costos totales del proyecto son obtenidos por la suma de los costos directos y los costos indirectos.

**Tabla 6.7:** Costo total del proyecto

<b>ORD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TOTAL USD</b>
1	Costos directos	23953.09
2	Costos indirectos	1922.04
	<b>COSTO TOTAL USD</b>	<b>25875.13</b>

### 6.1.4 Financiamiento

El financiamiento del proyecto de grado, en lo referente a los costos directos, fue hecho por GAS PLUS excepto en los costos correspondientes a remuneraciones a profesionales y a estudiantes que corren a cuenta de las propias personas.

**Tabla 6.8:** Total costos directos financiados

<b>ORD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TOTAL USD</b>
1	Mano de obra directa	4872.20
2	Remuneración a profesionales	-1200.00
3	Remuneración a estudiantes	-2400.00
4	Materiales	19080.89
	<b>COSTOS DIRECTOS FINANCIADOS USD</b>	<b>20353.09</b>

En los costos indirectos del proyecto, la consultoría brindada por el Arq. Eduardo Carrillo fue gratuita, al igual que la bibliografía que nos fue facilitada por el Ing. Juan Alcóser, por lo que se restan estos valores.

**Tabla 6.9:** Total costos indirectos financiados

<b>ORD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TOTAL USD</b>
1	Costos indirectos totales	1922.04
2	Consultoría	-200.00
3	Bibliografía	-1064.00
	<b>COSTOS INDIRECTOS FINANCIADOS USD</b>	<b>658.04</b>

Los costos totales del proyecto a ser financiados son los siguientes:

**Tabla 6.10:** Costos totales financiados

<b>ORD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TOTAL USD</b>
1	TOTAL Costos Directos	20353.09
2	TOTAL Costos Indirectos	658.04
	<b>COSTO TOTAL FINANCIADO USD</b>	<b>21011.13</b>

El costo del proyecto de grado fue financiado por la empresa dueña de los tanques GAS PLUS y los desembolsos fueron realizados en los plazos según el cronograma planteado en el perfil del proyecto de grado. El tiempo previsto para el diseño y construcción de los tanques fue de 6 meses desde la aprobación del perfil, es decir, agosto del 2007.

**Tabla 6.11:** Cronograma de inversiones

<b>RUBROS</b>	<b>MES 1</b>	<b>MES 2</b>	<b>MES 3</b>	<b>MES 4</b>	<b>MES 5</b>	<b>MES 6</b>	<b>PRESUPUESTO</b>
Costos Indirectos (USD)	100	100	100	100	100	158.04	658.04
Costos Directos (USD)	700	700	17500.09	700	700	53	20353.09
<b>TOTAL USD</b>	<b>800</b>	<b>800</b>	<b>17600.09</b>	<b>800</b>	<b>800</b>	<b>211.04</b>	<b>21011.13</b>
<b>TOTAL ACUMULADO USD</b>	800	1600	19200.09	20000.09	20800.09	21011.13	
<b>PORCENTAJE ACUMULADO (%)</b>	3.81%	7.62%	91.38%	95.19%	99.00%	100.00%	



## **CAPÍTULO 7**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **7.1 CONCLUSIONES**

1. Se cumplió con el objetivo general del proyecto al diseñar y construir dos tanques de 10.000 gal y uno de 6.000 gal para el almacenamiento de combustible en la Estación de Servicio Gas Plus, bajo las recomendaciones de los estándares UL 58 y UL 1746 y a su vez cumpliendo totalmente con los requerimientos y el presupuesto de la empresa. En cuanto al plazo de entrega hubo un retraso de 19 días con relación a lo planificado en el perfil del proyecto, debido que para la elaboración de dicho cronograma se utilizaron tiempos aproximados, este retraso no ocasionó ningún tipo de inconveniente para el avance de la obra.
2. A través del desarrollo del diseño se determinó que los tres tanques cuentan con la capacidad estructural suficiente para resistir la presión externa ocasionada por el entierro, demostrando que para el caso más crítico, es decir los tanques de 10.000 gal, la presión externa que pueden resistir sin pandearse es 1,9 veces superior a la presión externa al estar sumergidos 1,52 m en agua.
3. El proceso constructivo así como los requerimientos mínimos de equipos, herramientas y personal fueron determinados de forma precisa previamente a la construcción de los tanques, gracias a observaciones preliminares del proceso constructivo empleado en la metalmecánica, éstas observaciones también permitieron establecer los errores que se cometían a lo largo de la fabricación brindando así la oportunidad de tomar las medidas necesarias y evitar que se incurra en los mismos errores durante la construcción de los tanques motivo del presente proyecto.

4. Producto del proceso constructivo se obtuvieron tres tanques de almacenamiento cuyas dimensiones y características cumplieron con las indicadas en la etapa de diseño y los planos constructivos, dentro de las tolerancias establecidas para la verificación en cuanto a los parámetros cualitativos y cuantitativos; esto se logró gracias a la continua inspección realizada sobre cada uno de los procedimientos en los talleres de la Metal mecánica Cajo.

5. Mediante la realización de la prueba hidrostática en cada uno de los tanques, se comprobó que todos los tanques son totalmente estancos y capaces de soportar la presión interna generada por los combustibles almacenados sin sufrir deformaciones.

6. Durante el desarrollo de las tablas de calibración de los tanques se comprobó que el volumen real es superior al volumen nominal e inferior al máximo admisible establecido por el estándar UL-58 del 5%. El mayor incremento de volumen obtenido es del 4.42 % en el tanque de 6000 gal para almacenamiento de gasolina súper. Sin embargo en la realización de estas tablas no se tomó en cuenta ningún tipo de desnivel generado durante la instalación.

7. El análisis de los costos reales del proyecto determina que Gas Plus ha financiado 21011,13 USD por lo que se concluye que se ha cumplido con el presupuesto de financiamiento establecido para la empresa que en el plan de tesis fue de 24.122,00 USD. El ahorro se debió a la optimización del uso de materias primas e insumos como es el caso de las láminas de acero, fibra de vidrio y electrodos de soldadura, además de una adecuada planificación del proceso constructivo.

## 7.2 RECOMENDACIONES

1. Es importante que la ESPE como una institución que forma profesionales, mantenga convenios para la realización de proyectos de tesis con la empresa privada, a fin de que los estudiantes cuenten con un respaldo que garantice la seriedad y cumplimiento por parte de la empresa, en especial con lo referente a los desembolsos económicos requeridos.
2. Es recomendable que la Carrera de Ingeniería Mecánica de la ESPE organice talleres de capacitación dirigidos por docentes y estudiantes para instruir a la gente que trabaja en la fabricación de tanques de acero y otras áreas de la industria, ya que existen un sinnúmero de aspectos en los cuales se puede mejorar mediante un asesoramiento técnico adecuado, y así lograr beneficio mutuo ya que las personas que asistan obtendrán productos de mejor calidad además de mayores beneficios económicos y a su vez los estudiantes tomarán contacto con los problemas reales que se suscitan durante todo proceso constructivo.
3. Durante el desarrollo del presente proyecto se ha corroborado que los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera en su mayoría han sido adecuados y suficientes, sin embargo en lo referente a soldadura se considera necesario que la Carrera de Ingeniería Mecánica estudie la posibilidad de incluir a la malla curricular un curso de Soldadura II donde se trate el tema a nivel técnico incluyendo el manejo de normas, procedimientos, ensayos e inspección.
4. Durante el desarrollo del diseño para la construcción de tanques para almacenamiento de combustible es importante considerar algunos aspectos como:
  - El presupuesto de la empresa contratante y los plazos de entrega requeridos.
  - La disponibilidad de materiales en el mercado, así como sus características mecánicas y físicas.

- El espacio físico disponible en el lugar de instalación, y si existirá tránsito o no sobre éste.
- Las necesidades de bocas tanto en número como en disposición y diámetro nominal.
- El nivel freático del sitio de instalación.

5. En el diseño de tanques subterráneos es importante prestar mayor atención a la presión externa generada por el entierro, de ser posible además de los cálculos pertinentes se recomienda la realización de una simulación en un software de elemento finitos.

6. Siempre que se utilice un método constructivo nuevo para cualquier aplicación es recomendable realizar varias observaciones previas sobre el mismo a fin de determinar sus ventajas o desventajas, requerimientos y los errores en los que se incurre.

7. Al construir tanques en metalmecánicas que trabajen a nivel artesanal, es importante llevar un control estricto sobre cada una de las operaciones realizadas a fin de evitar errores de carácter técnico e imprecisiones, ya que en este tipo de metalmecánicas no se suele manejar planos, ni tampoco registros.

8. Para la realización de las pruebas para la verificación de la estanqueidad en tanques para almacenamiento de combustible se recomienda emplear preferiblemente pruebas hidrostáticas y utilizar métodos sencillos para la aplicación de la sobrepresión (como el expuesto en el presente proyecto).

9. Al realizar el diseño de un tanque para el almacenamiento de cualquier sustancia es preciso que el volumen con el que se dimensione sea superior al nominal (por ejemplo en un 2,5%) con la finalidad de contrarrestar cualquier falla constructiva y evitar que el tanque presente un volumen de operación menor al nominal.

**10.** De ser necesario, se recomienda realizar una nueva calibración de los tanques llenándolos y midiendo el volumen de líquido ingresado a través de un caudalímetro y efectuando mediciones de las alturas en uno de los puntos del tanque con la finalidad de obtener un volumen real de almacenamiento que considere cualquier tipo de desnivel y deformación que se haya dado durante la instalación.



## **ANEXOS**



## **CAPÍTULO 1**

<b>GENERALIDADES</b> .....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES .....	2
1.4 OBJETIVOS .....	4
1.4.1 Objetivo General .....	4
1.4.2 Objetivos específicos .....	4
1.5 ALCANCE.....	5
1.6 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA .....	5

## **CAPÍTULO 2**

<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	7
2.1 HIDROCARBUROS.....	7
2.1.1 Definiciones.....	7
2.1.2 Clasificación de los hidrocarburos.....	9
2.1.3 Mezclas de hidrocarburos .....	11

2.2	ACTIVIDAD HIDROCARBURÍFERA EN EL ECUADOR.....	12
2.2.1	Reseña histórica.....	12
2.2.2	Perforación.....	13
2.2.3	Transporte de petróleo crudo.....	13
2.2.4	Comercialización de petróleo crudo.....	14
2.2.5	Industrialización de petróleo crudo.....	14
2.2.6	Comercialización de derivados.....	15
2.3	CORROSIÓN DEL ACERO.....	15
2.3.1	Definición.....	15
2.3.2	Clasificación.....	16
2.3.3	Sistemas de protección contra la corrosión.....	27
2.4	TANQUES HORIZONTALES PARA ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE LÍQUIDO.....	35
2.4.1	ESTÁNDARES UL-58 y UL-1746.....	35
2.4.2	Materiales.....	36
2.4.3	Características generales.....	38
2.4.4	Construcción de tanques de acero.....	42
2.4.5	Pruebas de verificación.....	44

### CAPÍTULO 3

<b>DISEÑO</b> .....	45
3.1 DISEÑO MECÁNICO.....	45
3.1.1 Códigos y estándares de referencia.....	45
3.1.2 Cálculos.....	45
3.1.2.1 Cantidad, capacidades y dimensiones de los tanques.....	46
3.1.2.2 Espesor de láminas y de recubrimiento contra la corrosión.....	56
3.1.2.3 Juntas en el cuerpo.....	65
3.1.2.4 Cabezas y juntas de cabezas.....	68
3.1.2.5 Manhole.....	73
3.1.2.6 Lift lugs.....	74
3.1.2.7 Conexiones para tuberías.....	84

## **CAPÍTULO 4**

<b>FABRICACIÓN</b> .....	87
4.1 ANÁLISIS DEL PROCESO DE MANUFACTURA .....	87
4.1.1 Construcción de cabezas .....	88
4.1.2 Conformado del tanque.....	91
4.1.3 Soldadura y ubicación de conexiones.....	95
4.1.4 Aplicación del recubrimiento .....	98
4.2 DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE EQUIPOS, PERSONAL Y MATERIALES.....	102
4.2.1 Equipos y herramientas .....	102
4.2.2 Personal.....	103
4.2.3 Materiales e insumos: .....	104
4.3 CRONOGRAMA DE FABRICACIÓN.....	105
4.4 INSPECCIÓN DURANTE EL PROCESO DE FABRICACIÓN .....	105
4.4.1 Inspección de materia prima .....	106
4.4.2 Inspección del proceso constructivo .....	108
4.4.3 Soldadura.....	113
4.4.3.1 Inspección previa a la soldadura .....	114
4.4.3.2 Inspección post-soldadura.....	115

## **CAPÍTULO 5**

<b>PRUEBAS DE VERIFICACIÓN</b> .....	123
5.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	123
5.1.1 Toma de datos .....	125
5.2 RESULTADOS .....	126
5.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	130
5.4 VALIDACIÓN.....	130

## **CAPÍTULO 6**

<b>EVALUACIÓN ECONÓMICA</b> .....	131
6.1 ANÁLISIS SOBRE COSTOS REALES DEL PROYECTO.....	131
6.1.1 Costos directos .....	131
6.1.2 Costos indirectos.....	134

6.1.3	Costos totales .....	135
6.1.4	Financiamiento .....	135

## **CAPÍTULO 7**

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	139
7.1 CONCLUSIONES .....	139
7.2 RECOMENDACIONES .....	141
<b>ANEXOS</b> .....	145

## LISTADO DE FIGURAS

### CAPÍTULO 2

#### MARCO TEÓRICO

Figura 2.1: Diagrama de un hidrocarburo alifático, Etano $C_2H_6$ .....	9
Figura 2.2: Diagrama de un alcano, Metano $CH_4$ .....	9
Figura 2.3: Diagrama de un alqueno, Eteno $C_2H_4$ .....	10
Figura 2.4: Diagrama de un alquino, Acetileno $C_2H_2$ .....	10
Figura 2.5: Diagrama de un hidrocarburo aromático, Benceno $C_6H_6$ .....	11
Figura 2.6: Esquema de barra de acero corroída .....	17
Figura 2.7: Corrosión por picadura en un tanque para almacenamiento de combustible exhumado.....	20
Figura 2.8: Esquema de la corrosión uniforme .....	23
Figura 2.9: Esquema de la corrosión intergranular .....	24
Figura 2.10: Esquema de la corrosión por picadura .....	24
Figura 2.11: Esquema de la corrosión galvánica.....	25
Figura 2.12: Esquema de la corrosión por hendidura .....	25
Figura 2.13: Esquema de la corrosión-erosión .....	26
Figura 2.14: Esquema de la corrosión bajo tensión .....	26
Figura 2.15: Esquema de protección catódica con ánodos de sacrificio. ....	33
Figura 2.16: Esquema de protección catódica con corriente impresa. ....	34
Figura 2.17: Detalle de tanque compuesto de pared simple. ....	38
Figura 2.18: Esquema de tanque de contención secundaria Tipo I.....	39
Figura 2.19: Esquema de tanque de contención secundaria Tipo II.....	40
Figura 2.20: Detalle de tanques de contención secundaria Tipo II, con tanque ....	40
Figura 2.21: Procesos “a” y “b” para la construcción del cuerpo cilíndrico. ....	42

### CAPÍTULO 3

#### DISEÑO

Figura 3.1: Dimensiones de las planchas de acero ASTM A36 para el proyecto ..	49
Figura 3.2: Tipo de junta en el cuerpo del tanque .....	66

Figura 3.3: Tipo de junta entre cabeza y cuerpo.....	69
Figura 3.4: Tipo de manhole .....	74
Figura 3.5: Levantamiento del tanque (S/E).....	75
Figura 3.6: Diagrama de cuerpo libre en el gancho .....	76
Figura 3.7: Diagrama de cuerpo libre en un lift lug (longitud en mm).....	77
Figura 3.8: Lift lug con la suelda de unión al tanque.....	78

## **CAPÍTULO 4**

### **FABRICACIÓN**

Figura 4.1: Corte de las planchas acero. ....	89
Figura 4.2: Soldadura de las planchas.....	89
Figura 4.3: Diagrama de proceso para cabezas .....	90
Figura 4.4: Soldadura intermitente en las planchas del cuerpo. ....	91
Figura 4.5: Cabezas ubicadas sobre los extremos de las planchas del cuerpo.....	92
Figura 4.6: Recorrido nominal de los polipastos completo.....	92
Figura 4.7: Finalización del rolado. ....	93
Figura 4.8: Tanque de 6.000 galones cerrado .....	93
Figura 4.9: Diagrama de proceso del conformado del tanque .....	94
Figura 4.10: Soldadura interna del tanque.....	95
Figura 4.11: Soldadura externa del tanque.....	95
Figura 4.12: Cordón de soldadura de la parte externa de cuerpo.....	96
Figura 4.13: Diagrama de proceso de soldaduras en el cuerpo.....	97
Figura 4.14: Ubicación de la manta de fibra de vidrio .....	99
Figura 4.15: Remates de fibra de vidrio en las zonas necesarias.....	99
Figura 4.16: Tanque de 10,000 galones recubierto. ....	100
Figura 4.17: Tanques ubicados en la estación de servicio. ....	100
Figura 4.18: Diagrama de proceso para el recubrimiento del tanque .....	101

## **CAPÍTULO 5**

### **PRUEBAS DE VERIFICACIÓN**

Figura 5.1: Esquema de la realización de la prueba hidrostática.....	124
--	-----

## LISTADO DE TABLAS

### CAPÍTULO 2

#### MARCO TEÓRICO

Tabla 2.1: Propiedades mecánicas y requerimientos químicos del acero A-36 calidad estructural. ....	37
--	----

### CAPÍTULO 3

#### DISEÑO

Tabla 3.1: Resultados del estudio de mercado de consumo de combustibles .....	47
Tabla 3.2: Cantidad y volumen nominal de los tanques de almacenamiento .....	47
Tabla 3.3: Volúmenes reales de los tanques de almacenamiento .....	48
Tabla 3.4: Diámetro interno y externo de los tanques .....	49
Tabla 3.5: Longitudes de los tanques.....	50
Tabla 3.6: Número de planchas de acero.....	51
Tabla 3.7: Masas de los tanques.....	52
Tabla 3.8: Resultados obtenidos sobre cantidad, capacidad y dimensiones.....	55
Tabla 3.9: Espesores del acero mínimos y diámetros máximos.....	56
Tabla 3.10: Presiones de falla .....	59
Tabla 3.11: Factor de seguridad de los tanques .....	60
Tabla 3.12: Espesores mínimos de pared.....	61
Tabla 3.13: Superficie externa de los tanques .....	63
Tabla 3.14: Masa de fibra de vidrio Woven Roving por tanque.....	63
Tabla 3.15: Masas de los compuestos de la resina.....	64
Tabla 3.16: Procedimiento de soldadura para el cuerpo del tanque.....	67
Tabla 3.17: Construcción de cabezas .....	68
Tabla 3.18: Procedimiento de soldadura entre las cabezas y el cuerpo.....	70
Tabla 3.19: Soldaduras de un tanque de 10000 gal.....	71
Tabla 3.20: Soldaduras del tanque de 6000 gal.....	71

## **CAPÍTULO 4**

### **FABRICACIÓN**

Tabla 4.1: Especificaciones para equipos y herramientas.....	102
Tabla 4.2: Requerimientos de personal .....	103
Tabla 4.3: Requerimientos de materiales e insumos .....	104
Tabla 4.4: Cronograma de fabricación.....	105
Tabla 4.5: Verificación de planchas de acero (8565x1220x6) mm.....	106
Tabla 4.6: Verificación de planchas de acero (2440x1220x6) mm.....	107
Tabla 4.7: Verificación de electrodos de soldadura .....	108
Tabla 4.8: Check list del tanque para almacenamiento de diesel .....	109
Tabla 4.9: Check list del tanque para almacenamiento de gasolina extra .....	110
Tabla 4.10: Check list del tanque para almacenamiento de gasolina súper .....	111
Tabla 4.11: Inspección previa a las soldaduras de las cabezas .....	114
Tabla 4.12: Inspección previa a las soldaduras de los cuerpos .....	115
Tabla 4.13: Inspección post-soldadura de cabezas (diesel) .....	116
Tabla 4.14: Inspección post-soldadura de cabezas (gasolina extra) .....	117
Tabla 4.15: Inspección post-soldadura de cabezas (gasolina súper) .....	118
Tabla 4.16: Inspección post-soldadura de cuerpo (diesel).....	119
Tabla 4.17: Inspección post-soldadura de cuerpo (gasolina extra).....	120
Tabla 4.18: Inspección post-soldadura de cuerpo (gasolina súper).....	121

## **CAPÍTULO 5**

### **PRUEBAS DE VERIFICACIÓN**

Tabla 5.1: Prueba hidrostática del tanque para diesel.....	125
Tabla 5.2: Prueba hidrostática del tanque para gasolina extra .....	125
Tabla 5.3: Prueba hidrostática del tanque para gasolina súper .....	126
Tabla 5.4: Resultados de prueba hidrostática (tanque de diesel) .....	127
Tabla 5.5: Resultados de prueba hidrostática (tanque de gasolina extra) .....	128
Tabla 5.6: Resultados de prueba hidrostática (tanque de gasolina súper) .....	129

## **CAPÍTULO 6**

### **EVALUACIÓN ECONÓMICA**

Tabla 6.1: Remuneración a profesionales .....	132
Tabla 6.2: Remuneración a no profesionales .....	132
Tabla 6.3: Remuneración a estudiantes .....	132
Tabla 6.4: Costos de adquisición de materiales .....	133
Tabla 6.5: Costos directos totales .....	133
Tabla 6.6: Costos de adquisición de insumos .....	134
Tabla 6.5: Consultoría .....	134
Tabla 6.6: Misceláneos.....	134
Tabla 6.7: Costos indirectos totales.....	135
Tabla 6.7: Costo total del proyecto .....	135
Tabla 6.8: Total costos directos financiados.....	136
Tabla 6.9: Total costos indirectos financiados .....	136
Tabla 6.10: Costos totales financiados.....	136
Tabla 6.11: Cronograma de inversiones.....	137

## LISTADO DE ANEXOS

**ANEXO A:** Planos constructivos de los tanques para almacenamiento de combustible.

**ANEXO B:** Norma UL 58.

**ANEXO C:** Norma UL 1746.

**ANEXO D:** Tablas de aforo.

**ANEXO E:** Reglamento ambiental para operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador, Art. Tanques en estaciones de servicio.

**ANEXO F:** Modelado en software de elementos finitos de un tanque de 10000 gal y uno de 6000 gal.

**ANEXO G:** Planos de la implantación arquitectónica de la E/S Gas-Plus hechos por Petróleos y Servicios.

**ANEXO H:** Reportes de verificación.

**ANEXO I:** Reportes de pruebas hidrostáticas.

**ANEXO J:** Memoria de cálculo.