

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

“Estudio del proceso de rediseño de un tanque para almacenamiento de  
soda cáustica al 50 % de acuerdo al código API 653”

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentado por:

Juan Carlos Peralta Garcia

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2015

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, mi Familia y demás personas quienes han aportado importantes contribuciones para la consecución de este trabajo.

Al **Ing. Omar Serrano V.** Director de Tesis e **Ing. Rodolfo Paz** Coordinador de la materia integradora, por el apoyo y herramientas brindadas para la ejecución de este trabajo.

## **DEDICATORIA**

A Dios, a mis padres, tíos, hermanos, abuelos, familia, mi novia y amigos por su apoyo incondicional durante mis años de estudios

## DECLARACIÓN EXPRESA

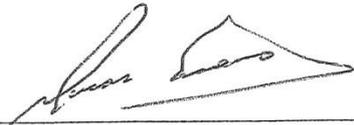
“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Sr Juan Carlos Peralta G.

Ingeniero Mecánico Omar Serrano V.

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

Estamos también de acuerdo que el vídeo de la presentación oral es de plena propiedad de la FIMCP.



---

Ing. Omar Serrano V.

Director de Tesis



---

Juan Carlos Peralta G.

# RESUMEN

En una empresa de productos químicos existe un tanque tipo vertical acero al carbono ASTM-A36 para almacenamiento de soda caustica al 50%. Se desea rediseñar para aumentar su capacidad, añadiendo 1 anillo al cuerpo y ponerlo en servicio. La norma API 653 es el código seleccionado, el cual establece ciertas condiciones de evaluación que ayudan a formar un criterio sobre las acciones correctivas como reparación o reconstrucción. Cuando el código API 653 no posee los criterios necesarios para una decisión, otros códigos de construcción se toman en consideración manteniendo una línea ingenieril óptima. Para realizar las evaluaciones respectivas, se determinan e indican las condiciones de uso (temperatura y presión de trabajo, líquido a almacenar, nivel de diseño, dimensiones actuales y futuras si se requiere realizar algún cambio en el diseño de forma original) y la ubicación geográfica del tanque (ubicación, velocidad de viento, condiciones climáticas que afecten al recubrimiento superficial, etc.

Para cumplir con estos requerimientos se contrató a un personal calificado para que evalúe las diferentes componentes del tanque mediante ensayos no destructivos(END). Tintas penetrantes se usó para determinar la hermeticidad y si existía una posible falla por fuga en el tanque.

Inspección Visual (VT) fue el método en el cual evaluaron las discontinuidades y defectos superficiales que se han presentado durante el tiempo en servicio.

Ultrasonido (UT) determinó cuál es el espesor actual que está en el tanque. Se evaluó el piso y cuerpo del tanque.

Con los resultados de END, condiciones de uso y ubicación geográfica fue posible evaluar los criterios mínimos para tomar las medidas correctivas y que el tanque se logre colocar en servicio nuevamente.

Se diseñó un nuevo techo tipo domo autosoportado con junta fracturable logrando evitar fugas en el fondo por presurización.

En el cuerpo se reemplazó laminas en el primer anillo debido a las malas condiciones del material base y al incorrecto diseño del manhole. Se colocó el anillo adicional en la parte superior del tanque aumentando su capacidad 38 m<sup>3</sup>.

Para realizar todas estas reparaciones en el tanque, se seleccionó las clases de juntas soldadas apropiadas para cada caso. Una junta de filete fue la seleccionada para la unión Cuerpo-Fondo, para la unión del techo - cuerpo se tuvieron que respetar las condiciones de una junta fracturable.

El tanque con su nueva altura es totalmente estable y no necesita anclaje. Todo esto se lo determino mediante el análisis sísmico y análisis del volteo producido por las cargas.

Por medio de todos los procedimientos establecidos por API 653, es posible colocar un tanque fuera de servicio a laborar nuevamente, reparar y rediseñar un tanque existente o simplemente dar un correcto mantenimiento por medio de inspecciones periódicas.

Este proyecto es un gran aporte al sector industrial, ya que la mayoría de industrias poseen tanques de almacenamiento y por medio de las pautas establecidas en este documento podrán lograr evaluarlos para comprobar el cumplimiento del código API 653.

**Palabras Clave:**

Tanque, evaluación, inspección, reparación, reconstrucción, techo, cuerpo, fondo, aumento de capacidad, soldadura

# **ABSTRACT**

*In a chemical company there is a tank of carbon steel ASTM-A36 of caustic soda 50%, vertical type which has to be redesign to increase capacity by adding 1 ring to the body and put into service. The standard API 653 is the selected code, which establishes certain conditions assessment that help form an opinion on the corrective actions such as repairing or rebuilding. When the API 653 code does not have the necessary criteria for a decision, other building codes are considered maintaining optimal line engineering. To perform the evaluation is necessary to indicate the conditions (temperature and pressure of liquid stored, level design, current size and future if required to make changes in the design of original shape), and geographical location Tank (location, wind speed, weather conditions affecting the surface coating, etc.)*

*To meet these requirements qualified personnel was hired to take measurements of the different components of the tank by NDT. The types of tests were:*

*Penetrating liquids to determine the tightness and if there was a possible failure by leak in the tank*

*Visual test was the method in the discontinuities and defects were evaluated that may have occurred during the time in service.*

*Ultrasound (UT) which determines the actual thickness in the tank. The floor and the tank body were evaluated.*

*With NDT results, conditions of use and geographic location was possible to evaluate the minimum criteria to take corrective action and the tank is put into service again.*

*A new type self-supporting dome roof was designed with joint breakable prevent leakage at the bottom by pressurization.*

*In the laminated body was replaced the first ring due to the poor condition of the base material and incorrect design of the manhole. The additional ring was placed on top of the tank increasing its capacity.*

*To make these repairs on the tank classes appropriate for each case welded joints was selected. A fillet joint was selected for binding Body-bottom for connecting the roof - body had to respect the conditions of a breakable joint.*

*The tank with its new height is completely stable and does not need anchorage, all this is determined by the seismic analysis and dump analysis produced by wind loads.*

*Through all the procedures established by API 653 it is possible to place a tank out of service to work again, or just take a correct maintenance through periodic tank inspections.*

*This project is a great contribution to the industrial sector and most industries have storage tanks and through the guidelines here they can achieve the fulfillment of API 653*

**Keywords:**

*Tank, evaluation, inspection, repair, reconstruction, roof, shell, bottom, capacity building, welding*

# ÍNDICE GENERAL

## Contenido

<b>RESUMEN</b>	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	<b>V</b>
<b>ABREVIATURAS</b>	<b>VIII</b>
<b>SIMBOLOGÍA</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>XII</b>
<b>ÍNDICE DE PLANOS</b>	<b>XIII</b>
<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2 OBJETIVOS	3
1.3 MARCO TEÓRICO	4
1.3.1 SODA CÁUSTICA	4
1.3.2 TANQUE DE ALMACENAMIENTO.	7
1.3.3 NORMAS Y ALCANCE	13
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>15</b>
<b>2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO</b>	<b>15</b>
2.1 EVALUACIÓN, INSPECCIÓN Y DISEÑO PREVIO A LA REPARACIÓN O RECONSTRUCCIÓN.	15

2.1.1	EVALUACIÓN DEL TECHO DEL TANQUE.	16
2.1.2	DISEÑO DEL NUEVO TECHO PARA EL TANQUE.	17
2.1.3	ANÁLISIS SÍSMICO	20
2.1.4	ANÁLISIS DE CARGAS DE VIENTO EN LOS TANQUES	28
2.1.5	EVALUACIÓN DEL CUERPO.	31
2.1.6	EVALUACIÓN DEL FONDO	36
2.1.7	EVALUACIÓN DE LA BASE DEL TANQUE.	37
2.1.8	DISEÑO DEL CUERPO DEL TANQUE	38
2.1.9	DISTORSIONES Y DEFECTOS	38

---

### **CAPÍTULO 3**

---

### **3. RESULTADOS**

---

<b>3.1</b>	<b>RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN Y REDISEÑO DEL TANQUE.</b>	<b>39</b>
3.1.1	SOLDADURA	41
<b>3.2</b>	<b>EVALUACIÓN Y REDISEÑO DEL CUERPO.</b>	<b>42</b>
3.2.1	PRUEBA DE HERMETICIDAD.	42
3.2.2	INSPECCIÓN VISUAL	44
3.2.3	ESPESOR MÍNIMO ACEPTABLE	46
<b>3.3</b>	<b>SOLDADURA</b>	<b>48</b>
3.3.1	SOLDADURA FILETE DE JUNTA CUERPO-FONDO	50
<b>3.4</b>	<b>EVALUACIÓN EN EL FONDO DEL TANQUE</b>	<b>50</b>
3.4.1	ESPESOR MÍNIMO ACEPTABLE EN EL FONDO DEL TANQUE.	51
3.4.2	MEDICIÓN DE ESPESOR DE LAS LÁMINAS DE FONDO	52
<b>3.5</b>	<b>ANÁLISIS SÍSMICO</b>	<b>52</b>
<b>3.6</b>	<b>ANÁLISIS DE VIENTO.</b>	<b>53</b>

---

### **CAPÍTULO 4**

---

### **4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

---

<b>4.1</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>56</b>
<b>4.2</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>57</b>

<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>58</b>
---------------------	-----------

---

<b>5. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>58</b>
------------------------	-----------

---

<b>APÉNDICES</b>	<b>59</b>
------------------	-----------

---

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials*
NACE	National Association of Corrosion Engineer
END	Ensayo No Destructivo-
API	American Petroleum Institute
VT	Visual Test
UT	Ultrasonic Test
NEC	Norma Ecuatoriana de Construcción

## SIMBOLOGÍA

mm.	Milímetro
$m^3$	Metro cubico
g	Gramos
mol	Moles
$cm^3$	Centímetro cubico
$r_r$	Radio de curvatura
$D$	Diámetro del tanque
$e$	Espesor
T	La mayor de las combinaciones de carga $e_1$ y $e_2$ del Apéndice A
$P_a$	Pascal
$D_L$	Carga Muerta
$P_e$	Presión externa de diseño.
$L_r$	Carga mínima del techo
$A_a$	Área de participación del ángulo
$A_c$	Área de participación del cuerpo
$A_h$	Área de participación del techo
$A_p$	Área de participación de la junta Techo-ángulo-cuerpo
Kg	Kilogramos
N	Newton
G	Gravedad Específica
$M_{pi}$	Momento de la presión interna de diseño sobre la junta cuerpo-fondo
$M_w$	Momento de la presión horizontal más la vertical del viento sobre la junta cuerpo-fondo.
$M_{DL}$	Momento del peso nominal del cuerpo y el techo estructural soportado por el cuerpo que no está unido a la lámina del techo, sobre la junta cuerpo-fondo.
$M_F$	Momento del peso del líquido sobre la junta cuerpo-fondo
$M_{DLR}$	Momento del peso nominal de la lámina de techo más cualquier estructura unida sobre la junta cuerpo-fondo.
$P_i$	Presión interior
$W_h$	Presión horizontal debido al viento

$W_v$	Presión vertical debido al viento
$v_v$	Velocidad del viento
$t_{min}$	Es el espesor mínimo aceptable, no deberá ser menos de 0.1 in para ningún anillo
H	Altura desde la parte inferior del anillo en consideración hasta el máximo nivel de diseño del líquido, cuando se evalúa un anillo completo del tanque, en pies
S	Máximo esfuerzo permisible en libras por pulgada cuadrada (PSI); usar el menor de 0.80Y o 0.429T para el primero y el segundo anillo; usar el menor entre 0.88Y o 0.472T para los otros anillos. Los esfuerzos permisibles del cuerpo son mostrados en el apéndice B para materiales listados en la actual y pasada edición de API 12C y API 650.
Y	Resistencia mínima a la fluencia especificada de la lámina, usar 30000psi si no es conocida
T	Esfuerzo de tensión mínimo especificada de la lámina u 80000psi; si no es conocida usar 55000 psi.
E	Eficiencia original de la junta para el tanque. Usar el apéndice C si la eficiencia original es desconocida
$T_L$	Límite 1 para el periodo de vibración de la rama de aceleración
$T_C$	Límite 2 para el periodo de vibración de la rama de aceleración
$T_0$	Límite para el periodo de vibración

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diseño de Forma del tanque .....	2
Figura 1.2 Sistema Contra incendio.....	7
Figura 1.3 Válvula de venteo.....	8
Figura 1.4 Shell Manhole.....	8
Figura 1.5 Plataforma, pasillos y escaleras en tanque.....	9
Figura 1.6 Techo Fijo .....	10
Figura 1.7 Tanques Flotantes.....	11
Figura 1.8 Tanque de almacenamiento sin techo .....	12
Figura 2.1 Techo del tanque TS-3, deteriorado, evidencian huecos por corrosión.....	16
Figura 2.2 Detalle de la comprensión permisible del anillo .....	18
Figura 2.3 Zonas sísmicas en el Ecuador para propósitos de diseño .....	20
Figura 2.4 Diagrama de cuerpo libre del tanque.....	28
Figura 2.5 Formato de Informe de Ultrasonido de medición de espesores .....	31
Figura 2.6 Esquema del desarrollo del cuerpo del tanque y ejemplo de toma de puntos en una plancha .....	32
Figura 2.7 Medida de la corrosión localizada (pitting).....	33
Figura 2.8 Esquema del desarrollo del cuerpo del tanque y ejemplo de toma de puntos en una plancha .....	36
Figura 3.1 Techo fijo, domo autosoportado .....	40
Figura 3.2 Prueba de hermeticidad en el interior del tanque y aplicación de tintas penetrantes en el cordón de soldadura. ....	42
Figura 3.3 Prueba de hermeticidad en el exterior del tanque.....	43
Figura 3.4 Soldadura de Fondo-Primer anillo presenta picaduras .....	44
Figura 3.5 Zona de los apoyos presenta excesiva corrosión .....	44
Figura 3.6 Fondo con presencia de desgaste.....	45
Figura 3.7 Cordón de soldadura presenta corrosión localizada .....	45
Figura 3.8 Diseño típico de juntas horizontales y verticales.....	48
Figura 3.9 Uniones Cuerpo – Techo.....	49
Figura 3.10 Uniones Cuerpo –Fondo.....	49

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades físicas y químicas de Soda Cáustica.....	4
Tabla 2 Tamaño mínimo del ángulo de tope.....	19
Tabla 3 Tipo de suelo y Factores de sitio Fa .....	21
Tabla 4 Tipo de suelo y Factores de sitio Fd .....	21
Tabla 5 Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo sitio Fs.....	21
Tabla 6 Factor de importancia .....	22
Tabla 7 Factor de modificación a la respuesta. ....	22
Tabla 8 Mediciones de espesores por ultrasonido a las láminas del cuerpo del tanque .....	32
Tabla 9 Espesores mínimos aceptables calculados .....	46
Tabla 10 Criterio de aceptación de espesor del cuerpo del tanque .....	47
Tabla 11 Espesor de láminas del cuerpo del tanque .....	47
Tabla 12 Mínimo tamaño del cordón de soldadura por filete en función al espesor del cuerpo. 50	
Tabla 13 Espesor mínimo aceptable para el fondo del tanque .....	51
Tabla 14 Criterio de selección para anclaje .....	52

## ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 DETALLE DEL TANQUE.....	69
PLANO 2 DETALLE DEL CUERPO .....	70
PLANO 3 DESARROLLO DEL CUERPO.....	71
PLANO 4 VISTA SUPERIOR DEL TECHO .....	72
PLANO 5 DETALLE DEL TECHO .....	73

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

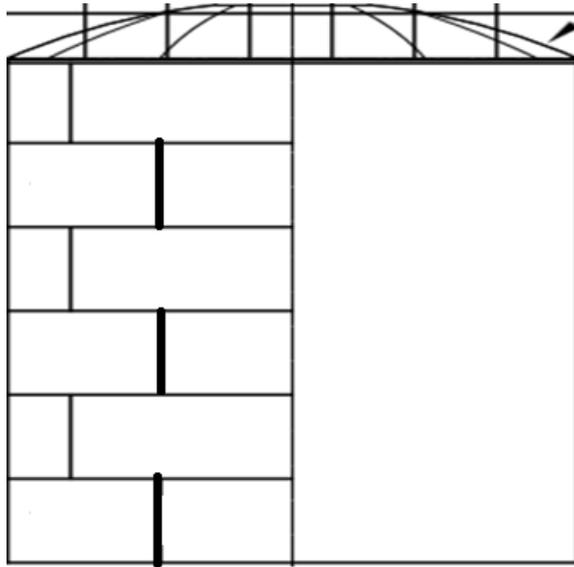
El proyecto de una empresa de químicos ubicada en Guayaquil es poner en servicio un tanque y a su vez aumentar la capacidad mediante un código aplicable que asegure su correcto funcionamiento, vida útil y reconocer que evaluaciones periódicas se deben realizar por mantenimiento.

El tanque tiene originalmente 5 anillos y tiene las siguientes dimensiones

Altura	6125 mm
Diámetro interno	6215 mm
Diámetro externo	6226 mm
Volumen Geométrico	190 $m^3$

El tanque se desea aumentar la capacidad, por lo que se va añadir 1 anillo con las mismas dimensiones (figura 1.1). El dueño del tanque solicita un 96.2% de sobrellenado. Por lo que las nuevas dimensiones son:

Altura	7350 mm
Diámetro interno	6215 mm
Diámetro externo	6226 mm
Volumen Geométrico	228 $m^3$
Sobrellenado	96.2%
Volumen nominal	220 $m^3$



**Figura 1.1 Diseño de Forma del tanque**

El producto que deben almacenar es Soda Cáustica al 50% la cual tiene una densidad específica de  $1.52 \text{ gr/cm}^3$

La norma API 653 es la aplicable para el requerimiento. Mediante una evaluación a cada una de sus partes del tanque (Techo, cuerpo, fondo, base) se puede establecer las correcciones necesarias mediante reparación o reconstrucción.

Se analiza cómo influyen las diversas cargas propias del tanque como el peso del tanque, peso del líquido y cargas ajenas al tanque como la carga sometida por el esfuerzo del viento y fuerzas sísmicas. Esto se puede comprobar con el radio de anclaje, el cual nos da en la estabilidad del tanque y la necesidad de anclarlo.

Mediante las inspecciones de resistencia al volteo el diseñador se asegura la estabilidad, solo si cumplen con la desigualdad.

En el cuerpo del techo se evalúa los espesores de lámina y se los compara con los espesores mínimos requeridos que están en el código API 653.

Mediante todos estos pasos descritos se evalúa el tanque, escogiendo condiciones correctas y mejores opciones.

## **1.1 Descripción del problema**

En una empresa de productos químicos existe un tanque almacenamiento de soda caustica al 50%, tipo vertical con cinco anillos de 1220 mm de ancho el cual se desea rediseñar para aumentar su capacidad y ponerlo en marcha.

Una vez realizado el diagnóstico de operatividad, revisión e inspección del tanque siguiendo los parámetros de la norma API 653 se llega a definir que se colocará en el fondo. La finalidad es proteger el fondo de aguas lluvias, polvos y químicos que son propios del medio donde se encuentra ubicado el tanque.

Se realizan trabajos en el cuerpo, sobre el primer anillo. Por lo que se debe reemplazar parte de las planchas del primer anillo con planchas nuevas del espesor requerido (espesor actual = 5.49 mm). En esta misma área se desmonta el manhole existente. La boca de entrada reemplaza según código. Se aumentara un anillo otorgando  $38m^3$  adicionales.

Se realizará un techo por definir el tipo de junta. En su parte superior se colocará un respiradero tipo "Cuello de ganso", más una boca de aforo y las dos bocas de NPS 2" para una alarma de alto nivel para evitar el sobrellenado del tanque y para un medidor de temperatura, los cuales son considerados para el diseño del techo.

## **1.2 Objetivos**

### **Objetivo General**

Asegurar la vida útil del producto, procesos más eficientes, menos costosos y otorgando confiabilidad al consumidor final.

### **Objetivos Específicos**

Seguir la metodología en el proceso de revisión, inspección, diseño, reparación y reconstrucción de un tanque de almacenamiento de soda caustica al 50% según especificaciones de los códigos API 653 y API 650

### 1.3 Marco teórico

#### 1.3.1 Soda Cáustica (Ercó Worldwide, 2012)

El hidróxido de sodio, que se conoce comúnmente como soda cáustica. Se produce comercialmente por dos métodos básicos: celdas electrolíticas y proceso químico. La mayoría de la soda cáustica se produce a partir de celdas electrolíticas. Hay tres tipos de celdas electrolíticas: diafragma, mercurio y de membrana. La soda cáustica de proceso químico se produce mediante la reacción de carbonato de sodio ( $Na_2CO_3$ ) con hidróxido de calcio ( $CaOH_2$ ) para formar hidróxido de sodio ( $NaOH$ ) y carbonato de calcio ( $CaCO_3$ ).

Los factores comunes para seleccionar la soda cáustica son su fuerte alcalinidad y su facilidad de almacenamiento y manejo

**Tabla 1 Propiedades físicas y químicas de Soda Cáustica**

<b>Apariencia</b>	<b>Escamas delgadas solubles, gránulos esféricos</b>
<b>Temperatura de ebullición(1bar)</b>	145 °C
<b>Temperatura de congelamiento(1bar)</b>	14°C
<b>Gravedad específica</b>	1.52
<b>Peso Molecular</b>	39.997 $g/mol$
<b>Solubilidad en agua</b>	Soluble en todas proporciones
<b>PH</b>	13 - 14

La soda cáustica es uno de los productos básicos de la química, y su uso está presente en diversos procesos industriales. Algunas de las categorías son: fabricación de productos químicos; fabricación de pasta y papel; productos de limpieza; petróleo y gas natural; película de celulosa; proceso textil de algodón; y tratamiento de aguas.

Uno de los principales usos químicos es la fabricación de alúmina de la bauxita, en donde se disuelve la alúmina para poder separar las impurezas insolubles. Además, la soda cáustica tiene una variedad de usos en la fabricación de productos químicos, que incluyen neutralización del ácido residual, control del pH, lavado cáustico de gases residuales, catálisis y extracción cáustica.

La soda cáustica es un producto químico importante para la industria de la pasta y el papel. Sus usos principales en la producción de pasta y papel incluyen la cocción/elaboración de pasta Kraft. El procedimiento general para el blanqueado de la pasta es una secuencia de procesos durante la cual las impurezas y las materias de color presentes en la pasta se oxidan, una secuencia de extracción las eliminan. Las etapas de extracción casi siempre usan soda cáustica.

La soda cáustica se usa hasta cierto punto en todos los procesos químicos de trituración: sulfato, sulfito y soda. En los procesos de sulfato y de soda, los licores de trituración son soluciones de sulfuro cáustico y de sodio y cáustico, respectivamente. En el proceso del sulfato, que es, sin lugar a duda, el proceso de trituración más importante, el máximo de reciclaje se logra concentrando los sólidos en el licor de trituración residual, quemando el licor concentrado y luego recaustificando el residuo disuelto de la combustión con un sistema de caustificación de cal. Además, la soda cáustica se usa en el proceso de trituración de sulfito de sodio para ablandar e inflar la madera antes de hacer ciertos tipos de pastas mecánicas, para el tratamiento de aguas y para el lavado de gases residuales.

La soda cáustica se usa para mercerizar y lavar las telas y fibras de algodón. Un 90% de todo el algodón pasa por un tratamiento de lavado, que hace que la tela pueda absorber mejor los agentes de blanqueado. Aproximadamente el 35% del algodón se merceriza para mejorar la fortaleza de la fibra y la afinidad a los tintes.

Dos otros usos de la soda cáustica son para el tratamiento de aguas y la elaboración de alimentos. Las instalaciones de tratamiento de aguas municipales usan soda cáustica para regular el pH, para regenerar el intercambio iónico, y para la generación de hipoclorito de sodio sobre el terreno. La soda cáustica se usa en varios tipos de elaboración de alimentos. Un ejemplo es en la remoción de la piel de las papas, los tomates y otras frutas. También se usa en la elaboración de grasa y aceites comestibles.

El mercado de productos de limpieza incluye una gran cantidad de usos de soda cáustica, ya sea como reactivo para producir los compuestos químicos, como las sales de sodio de ácidos sulfónicos orgánicos y el hipoclorito de sodio, o como un componente directo de productos como limpiadores de tuberías y limpiadores de hornos. El consumo de cáustico en agentes de limpieza incluye el uso para hacer jabones, detergentes sintéticos y detergentes alcalinos para uso doméstico y no doméstico, y varios otros productos de limpieza. La mayoría de las lejas líquidas de uso doméstico se fabrican mediante la reacción de cloro y una solución de soda cáustica.

La industria del petróleo y gas natural usa la soda cáustica en varias aplicaciones para la producción (y la exploración) y en la elaboración de productos. Es un componente importante en la mayoría de los lodos de inyección y se puede usar en la inyección alcalina de los campos petrolíferos para aumentar la recuperación del petróleo.

La soda cáustica se consume en la producción del rayón, celofán y otros productos de celulosa.

### 1.3.2 Tanque de almacenamiento.

Los tanques de almacenamiento se usan como depósitos para contener una reserva suficiente de algún producto para su uso posterior y/o comercialización. Los tanques de almacenamiento, se clasifican en:

- 1.- Cilíndricos Horizontales.
- 2.- Cilíndricos Verticales.

Los Tanques Cilíndricos Horizontales, generalmente son de volúmenes relativamente bajos, debido a que presentan problemas por fallas de corte y flexión. Por lo general, se usan para almacenar volúmenes pequeños. Los Tanques Cilíndricos Verticales nos permiten almacenar grandes cantidades volumétricas con un costo bajo. Con la limitante que solo se pueden usar a presión atmosférica o presiones internas relativamente pequeñas.

#### Elementos básicos de un tanque de almacenamiento.

Los tanques normalmente están constituidos por techo, cuerpo, fondo, base, accesorios. Aunque existen tanques que tienen otros elementos dependiendo la aplicación en el cual se va a desempeñar.

- **Accesorios:** Son diversos mecanismos o equipos que cumplen acciones específicas, entre los accesorios más utilizados tenemos: (Guido, Julio 1997)
  - **Sistemas contra incendios:** Es un conjunto de medidas y dispositivos que protegen a un equipo contra la acción del fuego.



**Figura 1.2 Sistema Contra incendio**

Fuente: (TP contraincendio y seguridad., s.f.)

- **Válvulas de venteo:** Permiten la salida del aire cuando el tanque comienza a llenarse cerrándose el momento en que el fluido alcanza un nivel predeterminado. Si el tanque se presuriza, se abren inmediatamente para equilibrar las presiones externa e internas del tanque



**Figura 1.3 Válvula de venteo**

Fuente: (ARAUCO, 2014)

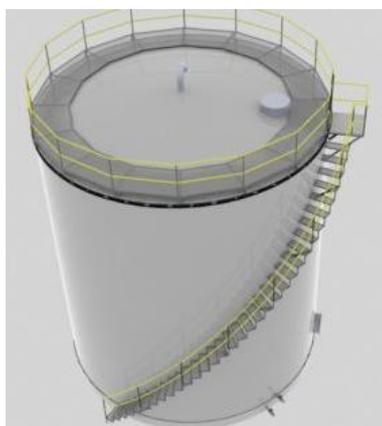
- **Entrada hombre (Shell manhole):** Permite la entrada del personal de limpieza o mantenimiento, deben de estar cerrada cuando el tanque está en servicio. Estas entradas no deben generar esfuerzo residuales considerable ya que pueden afectar a la estructura del tanque.



**Figura 1.4 Shell Manhole**

Fuente: (GESDEPUR, s.f.)

- **Boca de sondeo (Roof manhole):** Facilita la medición manual del nivel del líquido, temperaturas y extracción de muestras.
- **Embocaduras para entrada y salida del producto:** Son las aberturas que permite la entrada y salida del producto.
- **Plataformas, pasillos, escaleras:** Permiten el acceso al techo del tanque para mantenimiento o inspecciones.



**Figura 1.5 Plataforma, pasillos y escaleras en tanque**

**Fuente:** (Bligo, 2013)

- **Cuerpo:** Son las paredes verticales del tanque que soportan las cargas del producto almacenado y cargas externas. Están conformado por anillos de láminas de acero.
- **Fondo:** Es la parte inferior del tanque, la cual soporta la carga del techo y de la columna del líquido
- **Base:** Es el componente el cual está apoyado el tanque

- **Techo:** Es la parte superior del tanque, el cual cubre el producto almacenado. Existen diferentes tipos de techo, esto depende de la aplicación. De acuerdo al estándar A.P.I. 650, clasificaremos los tanques de acuerdo al tipo de techo, lo que nos proporcionará el servicio recomendable para éstos.
  - **Techo Fijo.-** Se emplean para contener productos no volátiles o de bajo contenido de ligeros (no inflamables) como son: agua, diésel, asfalto, petróleo crudo, etc. Debido a que al disminuir la columna del fluido, se va generando una cámara de aire que facilita la evaporación del fluido, lo que es altamente peligroso.



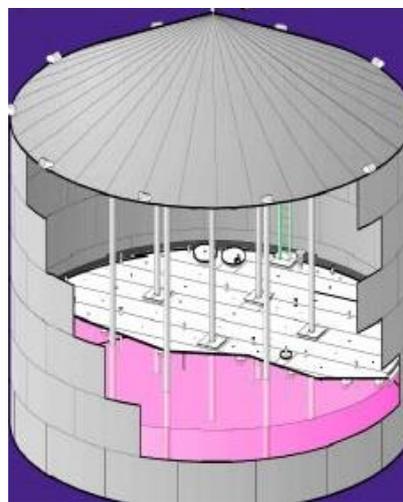
**Figura 1.6 Techo Fijo**

Fuente: (Estrucplan, 2002)

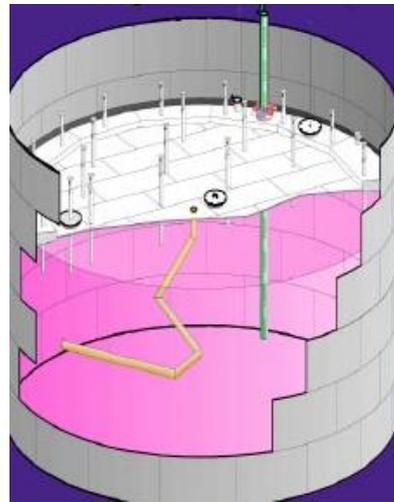
Los techos fijos se clasifican en:

- **Techo auto soportado:** Es un techo que se encuentra soportado en su periferia dependiendo de la forma del techo, los techos pueden ser cónicos y esféricos.
- **Techo soportado:** Es un techo que se encuentra soportado principalmente por vigas sobre estructuras.

- **Techo Flotante.**- Se emplea para almacenar productos con alto contenido de volátiles como son: alcohol, gasolinas y combustibles en general. Este tipo de techo fue desarrollado para reducir o anular la cámara de aire, o espacio libre entre el espejo del líquido y el techo, además de proporcionar un medio aislante para la superficie del líquido, reducir la velocidad de transferencia de calor al producto almacenado durante los periodos en que la temperatura ambiental es alta, evitando así la formación de gases (su evaporación), y consecuentemente, la contaminación del ambiente y, al mismo tiempo se reducen los riesgos al almacenar productos inflamables.



a) Techo flotante interno



b) Techo Flotante externo

**Figura 1.7 Tanques Flotantes**

Fuente: (Estrucplan, 2002)

- Los Tanques sin Techo.- Se usan para almacenar productos en los cuales no es importante que éste se contamine o que se evapore a la atmósfera como el caso del agua cruda, residual, contra incendios, etc. El diseño de este tipo de tanques requiere de un cálculo especial del anillo de coronamiento.



**Figura 1.8 Tanque de almacenamiento sin techo**

Fuente: (Bluewaves Tech Solutions, 2012)

### **1.3.3 Normas y Alcance**

Los estándares o códigos aseguran un correcto procedimiento, desde la elección del material hasta el despacho final (diseño-elección de material – transporte – montaje – soldadura – recubrimiento).

La aplicación de los códigos nos permite realizar trabajos ingenieriles más eficientes, procesos menos costosos, y asegurar la vida útil del producto estableciendo un margen de deterioro, para así garantizar un correcto mantenimiento y forma de uso.

A continuación se detalla los códigos más relevantes para reparación de un tanque de almacenamiento.

#### **API 653**

El API (AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE) 653 tiene como objetivo principal en hacer referencia a los requisitos que deben cumplirse en la inspección, reparación, modificación o nueva ubicación de tanques construidos según la norma API 650.

#### **API 650**

El API (AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE) 650 es el código que nos facilita los procedimientos a seguir para el diseño, suministros, fabricación para tanques de almacenamientos.

#### **AWS**

El AWS (AMERICAN WELDING SOCIETY) es la institución que tiene como objetivo realizar avances de estudios y tecnológicos para la aplicación en soldadura o uniones.

#### **ASTM**

El ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS) es la institución más grande en el mundo encargada de la estandarización de normas técnicas para materiales, productos de servicio y sistemas.

**ASME**

El ASME (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS) es la máxima sociedad de ingeniería a nivel mundial en el ámbito de la mecánica publicando nuevos estándares, acreditando a los usuarios para asegurar que ellos son capaces de fabricar y fiscalizar productos según sus códigos.

**NEC 11**

El NEC (Norma Ecuatoriana de Construcción) es el código vigente en el Ecuador, en el cual indica el procedimiento aplicable, condiciones ambientales y geográficas en el país.

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO

### 2.1 Evaluación, inspección y diseño previo a la reparación o reconstrucción.

En esta sección se evalúa la condición del tanque para continuar en servicio o el estado actual en el caso que el tanque no se encuentra operativo. Los parámetros se usan para tomar las decisiones que involucran reparaciones, desmantelamiento o reconstrucción de un tanque existente.

En este punto se debe realizar el estudio a las principales partes del tanque las cuales son: Techo, Cuerpo, Fondo, Base.

Los factores para consideración que se detallan a continuación, no incluyen todas las situaciones, ni tiene la intención de ser un sustituto de análisis ingenieril para cada situación.

- a. Corrosión interna debido al producto almacenado.
- b. Corrosión externa debido a la exposición del medio ambiente.
- c. Esfuerzos permitidos.
- d. Propiedades del producto almacenado.
- e. Temperatura de diseño del metal.
- f. Propiedades mecánicas y análisis químico de los materiales de construcción.
- g. Techos con cargas vivas externas, cargas de viento y cargas sísmicas.
- h. La base del tanque, suelo y condiciones de asentamiento.
- i. Distorsiones del tanque existente.
- j. Condiciones de operación del tanque tales como tasas de llenado y vaciado.

### 2.1.1 Evaluación del techo del tanque.

El tanque está diseñado con un techo fijo, por lo cual todos los miembros de la estructura (viga, columnas y bases) deben ser inspeccionadas para controlar su sanidad, miembros distorsionados (columnas fuera de verticalidad), corroídos y dañados deben ser evaluados y reparados si es necesario. Se debe tener mucha atención en la posibilidad de corrosión interna ya que esta no se la puede observar por el método de inspección visual externa.



**Figura 2.1 Techo del tanque TS-3, deteriorado, evidencian huecos por corrosión**

### 2.1.2 Diseño del nuevo techo para el tanque.

El diseño seleccionado es el techo fracturable tipo domo auto soportado por lo que el tanque tiene un diámetro considerable pequeño, el cual debe estar soportado en su periferia.

#### Radio de curvatura.

El código API 650 Sección 5.10.6.1 recomienda que el radio de curvatura esférica debe estar comprendido entre 0,8 y 1,2 veces el diámetro del tanque.

Se adopta el valor de 1,0 veces el valor del diámetro reemplazando en la ec. 2.1

$$r_r = 1 * D \quad (\text{Ec. 2.1})$$

$$r_r = 1 * 6220\text{mm}$$

$$r_r = 6220 \text{ mm.}$$

#### Espesor de lámina del techo.

El código API 650 sección 5.10.6.1 recomienda que el espesor de las láminas del techo deben estar comprendido entre 5 y 12.5 mm.

El espesor será calculado por la ecuación 2.2:

$$e = \frac{r_r}{2.4} \sqrt{\frac{T}{2.2}} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Expresando:

$r_r$  [m]

T [kPa]

Reemplazando:

$$e = 3.82\text{mm}$$

## Diseño de junta cuerpo-techo

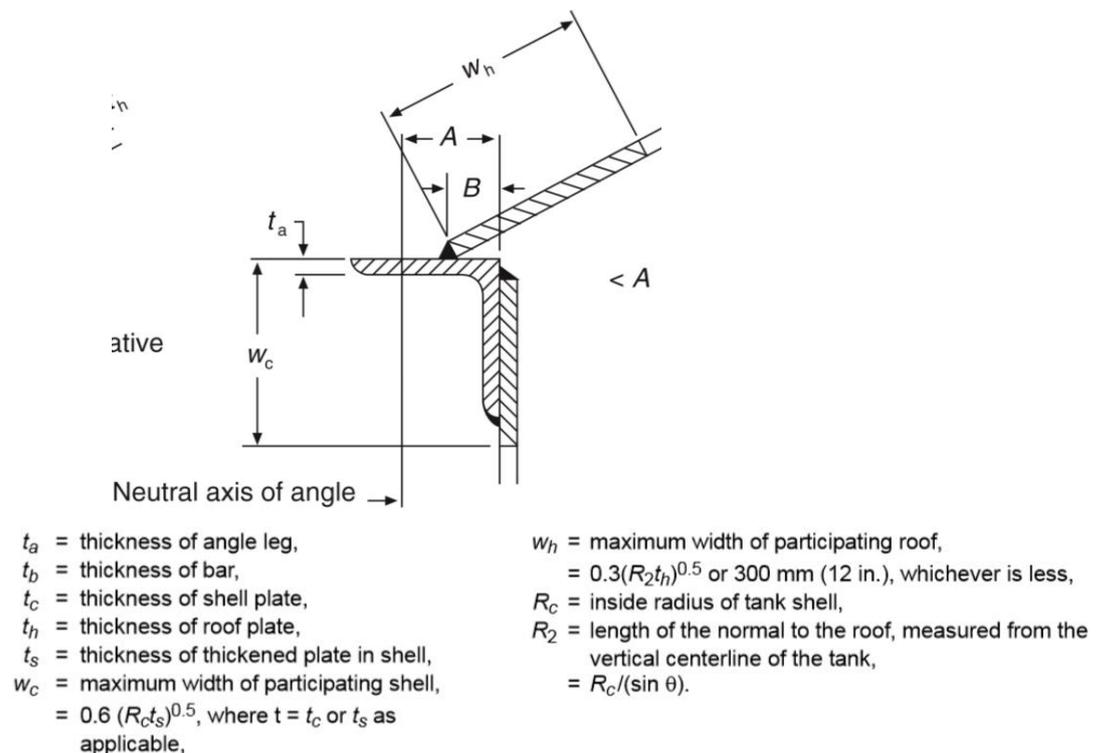
El código API 650 sección 5.10.6.2 indica que el área de participación de la junta cuerpo–techo (se determina usando Figura f-2) debe ser mayor o igual al área de la ecuación 2.3

$$A = \frac{pD^2}{8F_a \tan \theta} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

$$A = 692.82m^2$$

### Área de participación

El área de participación es la suma de las áreas correspondientes al cuerpo, techo y el ángulo (Ec 2.4). Se selecciona el tipo de detalle de la compresión permisible del anillo por medio de la figura 2.2.



Notes:

1. All dimensions and thicknesses are in mm (in.).
2. Dimension  $B$  in details b, c, d, and e is:  $0 \leq B \leq A$ .

**Figura 2.2 Detalle de la compresión permisible del anillo**

Fuente: API 650 Apéndice F-2, detalle B

### Angulo de Tope

Se debe seleccionar respecto al diámetro del tanque. La tabla 2 muestra el ángulo mínimo respecto al diámetro

**Tabla 2 Tamaño mínimo del ángulo de tope**

Fuente: Código API 650 sección 5.1.5.9

Tank Diameter ( $D$ )	Minimum Top Angle Size (in.)	Minimum Top Angle Size <sup>a</sup> (mm)
$D \leq 11$ m, ( $D \leq 35$ ft)	$2 \times 2 \times \frac{3}{16}$	$51 \times 51 \times 4.8$
$11$ m $< D \leq 18$ m, ( $35$ ft $< D \leq 60$ ft)	$2 \times 2 \times \frac{1}{4}$	$51 \times 51 \times 6.4$
$D > 18$ m, ( $D > 60$ ft)	$3 \times 3 \times \frac{3}{8}$	$76 \times 76 \times 9.5$

<sup>a</sup>Approximate equivalent sizes may be used to accommodate local availability of materials.

Angulo Seleccionado:  $60 \times 60 \times 6$  mm ( $2 \frac{1}{2}$ "  $\times$   $2 \frac{1}{2}$ "  $\times$   $\frac{1}{4}$ " )

$$A_a = 722 \text{ mm}^2$$

### Participación del Cuerpo

$$R_c = 6224 \text{ mm}$$

$$W_c = 94.67 \text{ mm}$$

$$T_c = 4 \text{ mm}$$

$$A_c = 378.68 \text{ mm}^2$$

### Participación del Techo

$$R_2 = 12448 \text{ mm}$$

$$W_h = 74.84 \text{ mm}$$

$$T_h = 5 \text{ mm}$$

$$A_h = 374.22 \text{ mm}^2$$

Entonces:

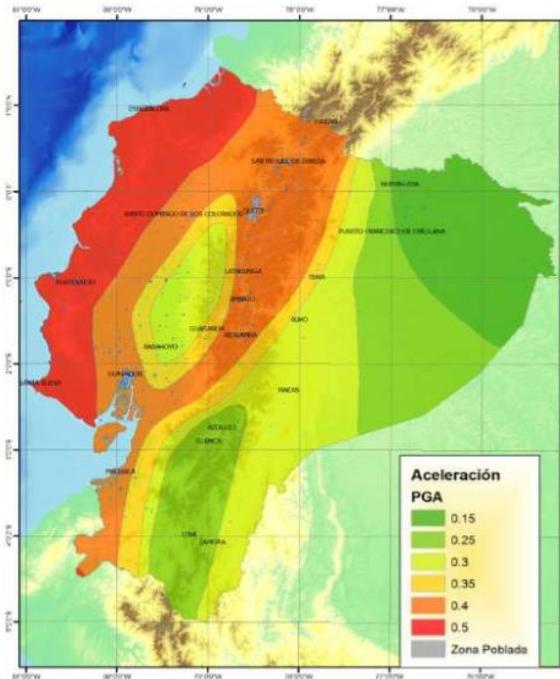
$$A_p = A_a + A_c + A_h \text{ (Ec 2.4)}$$

$$A_p = 1474.57 \text{ mm}^2$$

$$\therefore A_p > A \rightarrow \text{Si cumple}$$

### 2.1.3 Análisis Sísmico

De acuerdo a la norma NEC -11, Por medio de la figura 2.3, se encuentra que el tanque está ubicado en un lugar con amenaza de zona sísmica alta, el cual obtiene un valor  $Z=0.4$



**Figura 2.3 Zonas sísmicas en el Ecuador para propósitos de diseño**

Fuente: NEC-11 capítulo 2, figura 2.1

La empresa entrega un informe notificando la clasificación según la norma NEC, el resultado obtenido es un de suelo tipo C. Esta clasificación nos ayuda a identificar los coeficientes de aplicación o deamplificación dinámica del suelo ( $F_a, F_d, F_s$ ) la norma NEC los define de la siguiente manera:

- $F_a$  Es el coeficiente que amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de aceleraciones para diseño en roca, tomando en cuenta los efectos de sitio.
- $F_d$  Es el coeficiente que amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de desplazamiento para diseño en roca, tomando en cuenta los efectos de sitio.
- $F_s$  Es el coeficiente que considera el comportamiento no lineal de los suelos.

Por medio del código NEC se encuentran los factores  $F_a, F_d, F_s$  de las tablas 3 a 5

**Tabla 3 Tipo de suelo y Factores de sitio  $F_a$**

Fuente: NEC-11 capítulo 2, Tabla 2.5

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	valor Z (Aceleración esperada en roca, 'g)	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B		1	1	1	1	1	1
C		1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D		1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.15
E		1.8	1.5	1.4	1.28	1.15	1.05
F		ver nota					

$$\therefore F_a = 1.2$$

**Tabla 4 Tipo de suelo y Factores de sitio  $F_d$**

Fuente: NEC-11 capítulo 2, Tabla 2.6

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	valor Z (Aceleración esperada en roca, 'g)	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B		1	1	1	1	1	1
C		1.6	1.5	1.4	1.35	1.3	1.25
D		1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
E		2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F		ver nota					

$$\therefore F_d = 1.3$$

**Tabla 5 Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo sitio  $F_s$**

Fuente: NEC-11 capítulo 2, Tabla 2.7

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	valor Z (Aceleración esperada en roca, 'g)	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C		1	1.1	1.2	1.25	1.3	1.45
D		1.2	1.25	1.3	1.4	1.5	1.65
E		1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F		ver nota					

$$\therefore F_s = 1.25$$

## Factor de Importancia

El factor de importancia incrementa la demanda sísmica de diseño para estructuras, que por sus características de utilización o de importancia deben permanecer operativas o sufrir menores daños durante y después de la ocurrencia del sismo de diseño. Por medio de la tabla 6 se determina el valor.

**Tabla 6 Factor de importancia**

Fuente: NEC-11 capítulo 2, Tabla 2.9

<b>Categoría</b>	<b>Tipo de uso, destino e importancia</b>	<b>Factor</b>
Edificaciones esenciales y/o peligrosas	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

$$\therefore \text{Factor de importancia} = 1.0$$

## Factor de modificación a la respuesta.

Los valores de los factores no deben ser menores a los de la tabla 7, dependiendo del tipo de anclaje que se desea.

**Tabla 7 Factor de modificación a la respuesta.**

Fuente: API 650, tabla E-4

<b>Anchorage system</b>	<b><math>R_{wi}</math> (impulsive)</b>	<b><math>R_{wc}</math> (convective)</b>
Self-anchored	3.5	2
Mechanically-anchored	4	2

$$\therefore R_{wi} = 3.5 \text{ y } R_{wc} = 2$$

## Memoria Técnica para la determinación de estabilidad y necesidad de anclaje

Límites para el periodo de vibración  $T_L, T_C$  y  $T_0$  (NEC-11, sección 2.5.5.1, 2011)

$$T_L = 2.4F_d \text{ (Ec 2.5)}$$

$$T_L = 3.12$$

$$T_C = 0.55F_S \frac{F_d}{F_a} \text{ (Ec. 2.6)}$$

$$T_C = 0.77$$

$$T_0 = 0.10F_S \frac{F_d}{F_a} \text{ (Ec 2.7)}$$

$$T_0 = 0.14$$

Espectro elástico de diseño en aceleración ( $S_a$ ) (NEC-11, sección 2.5.5.1, 2011)

$$S_a = \eta Z F_a \left( \frac{T_c}{T} \right)^r \text{ (Ec 2.8)}$$

$$S_a = 0.11$$

Donde  $\eta = 1.8$  en provincias de la Costa

$r = 1$  para suelo Tipo C

$$S_{DS} = \eta Z F_a \text{ (Ec 2.9)}$$

$$S_{DS} = 0.86$$

Parámetros de aceleración espectral impulsiva ( $A_i$ ) (API 650, APENDICE E-4, 2007)

Debe cumplir con la desigualdad:

$$A_i = S_{DS} \left( \frac{I}{R_{wi}} \right) \geq 0.007 \text{ (Ec. 2.10)}$$

$$A_i = 0.86 \left( \frac{1}{3.2} \right) \geq 0.007$$

$$0.26 \geq 0.007$$

Parámetros de aceleración espectral convectiva ( $A_c$ ) (API 650, APENDICE E-4, 2007)

Cuando:  $T_c \leq T_L$       K=Coeficiente de ajuste de aceleración espectral (5%05%)

$$A_c = K S_{DS} \left( \frac{1}{T_c} \right) \left( \frac{I}{R_{wc}} \right) \text{ (Ec 2.11)}$$

$$A_c = 0.05 * 0.86 \left( \frac{1}{0.77} \right) \left( \frac{I1}{2} \right)$$

$$A_c = 0.02$$

Peso Efectivo del Producto ( $W_i$ ) (API 650, APENDICE E-6, 2007)

$$W_i = \left( 1 - 0.218 \frac{D}{H} \right) W_p \text{ (Ec 2.12)}$$

$$W_i = 2672.5 \text{ kN}$$

Centro sísmico ( $X_i$ ) (API 650, APENDICE E-6, 2007)

$$X_i = \left( 0.5 - 0.09 \frac{D}{H} \right) H \text{ (Ec 2.13)}$$

$$X_i = 3.09 \text{ m}$$

Centro de acción para el momento d vuelco de base ( $X_{is}$ ) (API 650, APENDICE E-6, 2007)

$$X_{is} = \left( 0.5 - 0.06 \frac{D}{H} \right) H \text{ (Ec 2.14)}$$

$$X_{is} = 4.05 \text{ m}$$

Peso Total del cuerpo ( $W_s$ )

$$W_s = 4068.51 \text{ Kg} = 39871.398 \text{ N}$$

Centro Sísmico del Cuerpo ( $X_s$ )

$X_s$  = Altura desde el fondo hasta el centro de gravedad del cuerpo

$$X_s = 3.675 \text{ mt.}$$

Peso Total del cuerpo ( $W_r$ )

$$W_r = 2424 \text{ Kg} = 23752 \text{ N}$$

Centro sísmico del techo ( $X_r$ )

$$X_r = H + \frac{H_1}{4} \text{ (Ec 2.14)}$$

$$X_r = 7.65 \text{ mt.}$$

Peso efectivo convectivo ( $W_c$ ) (API 650, APENDICE E-6, 2007)

$$W_c = 0.230 \frac{D}{H} \tanh\left(\frac{3.67H}{D}\right) W_p \text{ (Ec 2.15)}$$

$$W_c = 637.6 \text{ kN}$$

Centro sísmico del peso efectivo convectivo ( $X_c$ ) (API 650, APENDICE E-6, 2007)

$$X_c = \left[ 1 - \frac{[\cosh(\frac{3.67H}{D})] - 1}{3.67\frac{H}{D} \sinh(\frac{3.67H}{D})} \right] H \quad (\text{Ec 2.16})$$

$$X_c = 5.7 \text{ mts}$$

Centro sísmico convectivo ( $X_{cs}$ ) (API 650, APENDICE E-6, 2007)

$$X_{cs} = \left[ 1 - \frac{[\cosh(\frac{3.67H}{D})] - 1.937}{3.67\frac{H}{D} \sinh(\frac{3.67H}{D})} \right] H \quad (\text{Ec 2.17})$$

$$X_{cs} = 5.74 \text{ mts}$$

Momento Sísmico ( $M_{rw}$ ) (API 650, APENDICE E-6, 2007)

$$M_{rw} = \sqrt{[A_i(W_i X_i + W_s X_s + W_r X_r)]^2 + [A_c(W_c X_{cs})]^2} \quad (\text{Ec 2.18})$$

$$M_{rw} = 1064 \text{ kNm}$$

Momento Sísmico ( $M_s$ ) (API 650, APENDICE E-6, 2007)

$$M_s = \sqrt{[A_i(W_i X_{is} + W_s X_s + W_r X_r)]^2 + [A_c(W_c X_{cs})]^2} \quad (\text{Ec 2.19})$$

$$M_s = 1378 \text{ kNm}$$

### Tanque auto sostenido

$$w_a = 99t_a\sqrt{F_yHG_e} \leq 201.1HDG_e \text{ (Ec 2.20)}$$

$$G_e = G(1 - 0.4A_v) \text{ (Ec 2.21) ; } A_v \approx 0$$

$$G_e = 1.52$$

$$F_y = \text{Esfuerzo de Fluencia acero ASTM A36} = 250 \text{ MPa}$$

$$w_a = 31392.21 \text{ N/m}$$

### Radio anclaje (J) (API 650, APENDICE E-6, 2007)

$$J = \frac{M_{rw}}{D^2[w_t(1-0.4A_v)+w_a]} \text{ (Ec 2.22)}$$

$$w_t = \left[ \frac{w_s}{\pi D} + w_{rs} \right] \text{ (Ec 2.23)}$$

$$w_t = 2697.32 \text{ N/m}$$

$$J = 0.79$$

## 2.1.4 Análisis de cargas de viento en los tanques

Este análisis nos sirve para confirmar la estabilidad de vuelco sometido a cargas de viento, la velocidad de viento es de 60 km/h, dato obtenido por la empresa. Se diseña el tanque no anclado por lo que debe cumplir con los siguientes 2 criterios, según API 650 sección 5.11:

$$0.6M_w + M_{pi} < \frac{M_{DL}}{1.5} + M_{DLR} \quad (\text{Ec 2.23})$$

$$M_w + 0.4M_{pi} < \left( \frac{M_{DL} + M_F}{2} \right) + M_{DLR} \quad (\text{Ec 2.24})$$

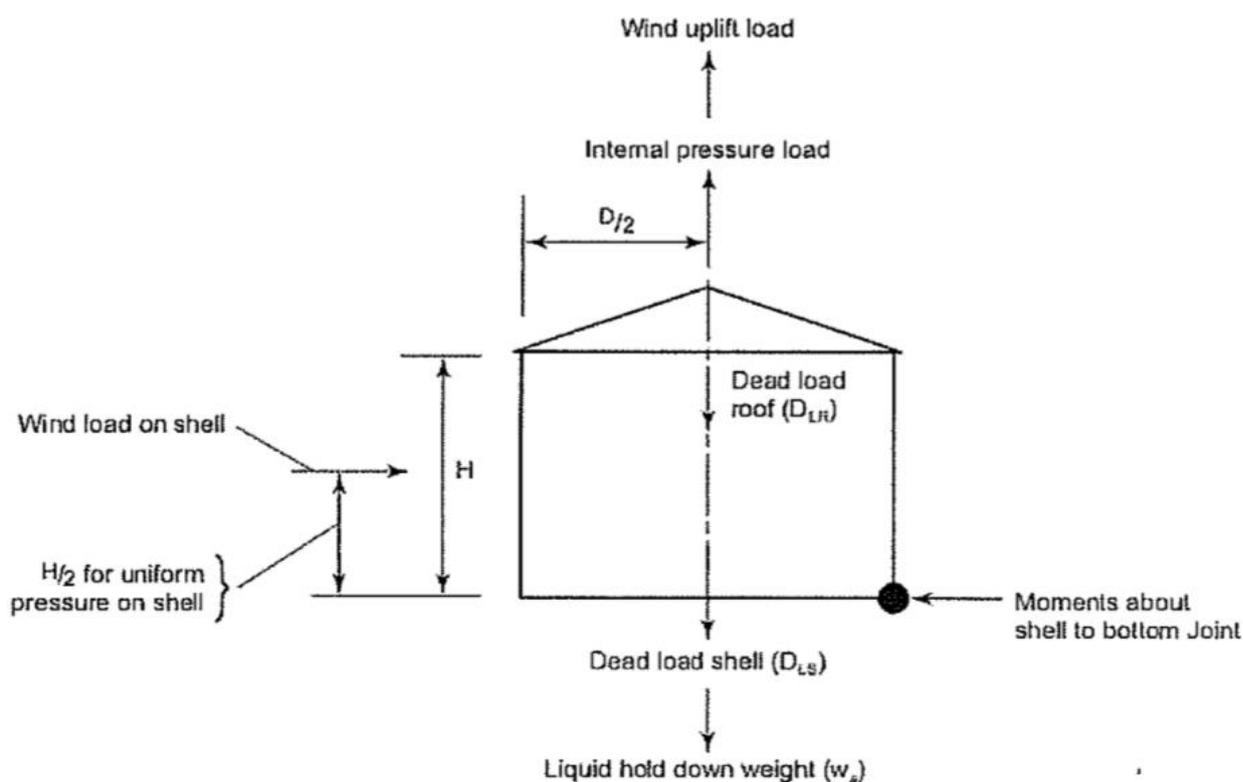


Figura 2.4 Diagrama de cuerpo libre del tanque

Fuente: API 650, figura 5.27

$$a) M_{pi} = P_i \left( \pi \left( \frac{D}{2} \right)^2 \right) * \left( \frac{D}{2} \right) * 1000 \text{ (Ec 2.25)}$$

$$P_i = 0.045 \text{ kPa}$$

$$\mathbf{M_{pi} = 4252.84 Nm}$$

$$b) W_h = 0.86 \left( \frac{v_v}{190} \right)^2 \text{ (Ec 2.26)}$$

$$W_h = 0.09 \text{ kPa}$$

$$W_v = 1.44 \left( \frac{v_v}{190} \right)^2 \text{ (Ec 2.27)}$$

$$W_v = 0.14 \text{ kPa}$$

$$M_w = \left( W_v \left( \pi \left( \frac{D}{2} \right)^2 \right) * \left( \frac{D}{2} \right) * 1000 \right) + \left( W_h * (D * H) * \frac{H}{2} * 1000 \right) \text{ (Ec 2.28)}$$

$$\mathbf{M_w = 27979 Nm}$$

$$c) W_{DL} = 59tb \sqrt{(F_{by}H)} \text{ (Ec 2.29)} \quad W_{DL} = 15175 \text{ N/m}$$

$$\text{Peso} = 15175 \text{ N/m} * \frac{7.35 \text{ mts}}{2} = 55766 \text{ N (Ec 2.30)}$$

$$M_F = 55766 * \frac{7.35 \text{ mts}}{2} \text{ (Ec 2.31)}$$

$$\mathbf{M_F = 204942 Nm}$$

$$d) \text{Peso del tanque(Techo + cuerpo)} W_{rs} = 6492 \text{ Kg} \rightarrow 63624 \text{ N (Ec 2.32)}$$

$$\mathbf{M_{DL} = 146527 Nm}$$

Remplazando con las ecuaciones 2.23 y 2.24:

$$0.6M_w + M_{pi} < \frac{M_{DL}}{1.5} + M_{DLR} \text{ (Ec 2.23)}$$

$$0.6(27979) + 4252.84 < \frac{146527}{1.5}$$
$$\mathbf{21040.24 < 97684.66}$$

$$M_w + 0.4M_{pi} < \left( \frac{M_{DL} + M_F}{2} \right) + M_{DLR} \text{ (Ec 2.24)}$$

$$27979 + 0.4(4285.84) < \frac{(146527 + 204942)}{2}$$
$$\mathbf{29682.416 < 175734.5}$$

## 2.1.5 Evaluación del cuerpo.

La integridad estructural del cuerpo de un tanque debe ser evaluada e inspeccionada de acuerdo a las condiciones de diseño, en base al espesor y material del tanque. Defectos, deterioros, cambios de servicio, reubicación, corrosión y cargas externas a las originales pueden afectar gravemente al cuerpo del tanque.

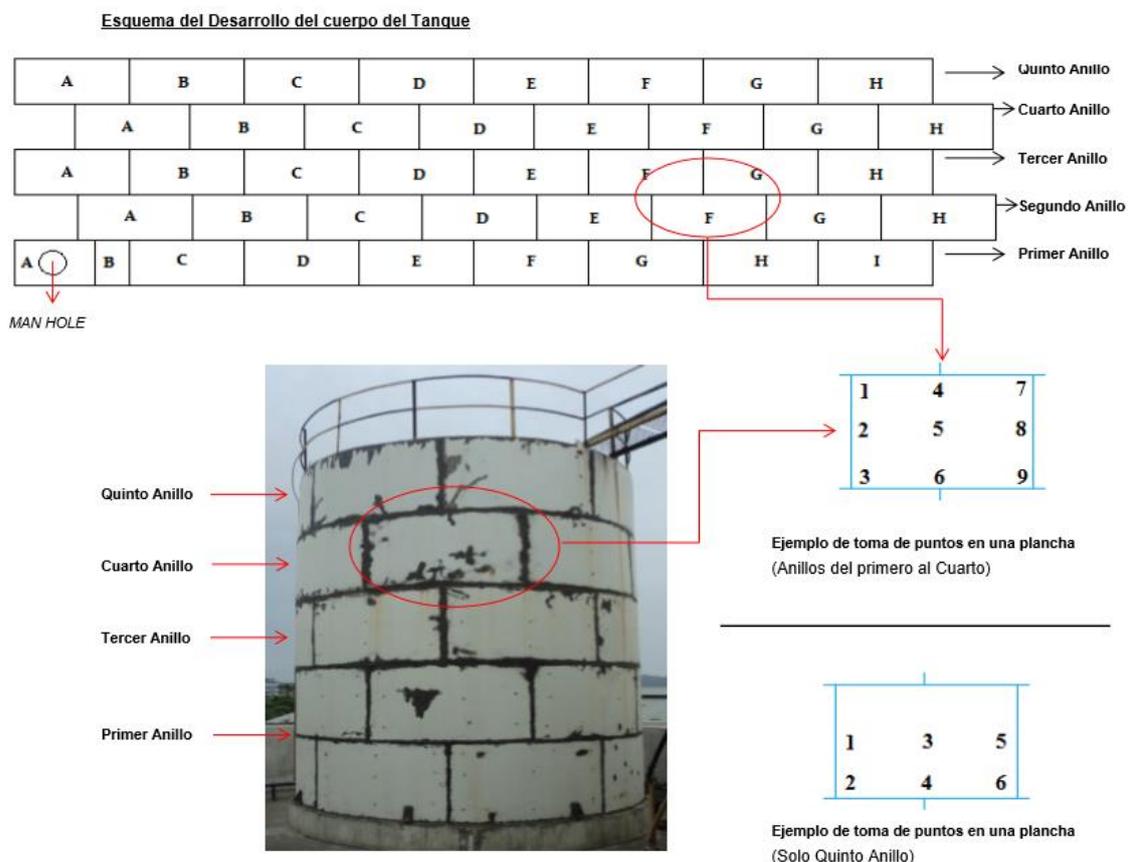
La corrosión puede ocurrir en diversas formas y grados de severidad, lo que puede producir pérdida en el espesor del material en un área grande o localizada. Este nuevo espesor debe ser evaluado y observar si es aceptable según los criterios del código API 653 sección 4.3

El código ASTM E797 nos indica el proceso de una medición de espesores por ultrasonido. La ventaja del uso de ultrasonido es que se puede evaluar cualquier tanque mientras esta en servicio. Previo a la inspección por ultrasonido la superficie del tanque debe estar libre de escorias, suciedad o cualquier contaminante ya que puede afectar a la toma de mediciones.

Para ensayo de medición de espesor por ultrasonidos se debe tener una referencia, la que puede ser en sentido vertical y horario o anti horario (ver figura 2.6), este proceso ayuda a mantener una trazabilidad y monitoreo para futuras procesos de reparación o toma de medidas. Cada plancha debe estar enumerado y formar su propia matriz (ver tabla 8), siguiendo un formato establecido cumpliendo con las exigencias del cliente (Ver figura 2.5).

MEDICIÓN DE ESPESORES CON ULTRASONIDO HAZ RECTO			
DESCRIPCION :	Tanque de Soda S-3	DIAMETRO INTERNO :	6100 mm
MATERIAL :	Acero ASTM A-36	ESPESOR NOMINAL :	N/E
PARAMETROS DE INSPECCIÓN			
Equipos Inspección:	Krautkramer DMS2	Método Medición:	Pulso-Eco
Número Serie:	00FWB2	Bloque Calibración:	Escalerilla (0,1" a 0,5")
		Acoplante:	Sonatech - Ultragel II
		Condición Superficial:	Sin pintura / Lisa
<b>Código/Estándar :</b> ASTM E 797 <b>Total Mediciones :</b> 341 <b>Espesor Promedio :</b> Ver cuadro <b>Espesor Mínimo Registrado :</b> Ver cuadro		<b>Interpretación de Resultados:</b> - Las planchas mantiene un espesor levemente uniforme cuya operación del mismo depende si los registros mostrados esten dentro del permitido para la presión a soportar.	
<b>Estado Final:</b> - En base de los resultados obtenidos, se observa un desgaste uniforme.		<b>Observaciones:</b> - Cuerpo de Tanque conformado por 41 planchas. - El primer anillo posee un segmento de plancha mas	

Figura 2.5 Formato de Informe de Ultrasonido de medición de espesores



**Figura 2.6 Esquema del desarrollo del cuerpo del tanque y ejemplo de toma de puntos en una plancha**

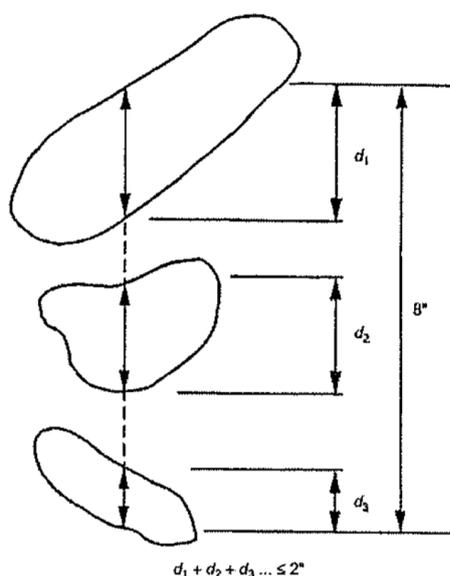
**Tabla 8 Mediciones de espesores por ultrasonido a las láminas del cuerpo del tanque**

Mediciones en una plancha	Espesores en Primer Anillo (9 planchas) mm								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
<b>Punto 1</b>	5,51	5,61	5,56	5,54	5,72	5,54	5,61	5,59	5,54
<b>Punto 2</b>	5,64	5,51	5,59	5,56	5,79	5,66	5,59	5,61	5,66
<b>Punto 3</b>	5,54	5,51	5,51	5,54	5,59	5,54	5,51	5,08	5,46
<b>Punto 4</b>	5,56	5,56	5,49	5,64	5,61	5,59	5,59	5,74	5,41
<b>Punto 5</b>	5,46	5,23	5,54	5,66	5,69	5,72	5,69	5,69	5,56
<b>Punto 6</b>	5,31	-	5,44	5,41	5,46	5,46	5,51	5,49	5,61
<b>Punto 7</b>	5,56	-	5,56	5,61	5,72	5,64	5,64	5,64	5,61
<b>Punto 8</b>	5,59	-	5,56	5,59	5,72	5,66	5,69	5,74	5,64
<b>Punto 9</b>	5,18	-	5,38	5,38	5,56	5,54	5,56	5,56	5,61

**Min:** 5,08 **Prom:** 5,56

Las picaduras normalmente no representan una amenaza estructural al cuerpo del tanque, sin embargo en ciertas ocasiones pueden producir defectos. El código API 653 sección 4.3.2.2 establece que las picaduras son ignoradas si:

- A) Ninguna picadura tiene profundidad que se traduzca en un espesor remanente en el cuerpo, menor de la mitad que el espesor mínimo aceptable, excluyendo la tolerancia de corrosión.
- B) La suma de sus dimensiones a lo largo de la línea vertical, no exceden en 2 in en una longitud de 8 in (ver figura 2.7).



**Figura 2.7 Medida de la corrosión localizada (pitting)**

Fuente: API 653, figura 4-2

Otras consideraciones que se deben tener al momento de la evaluación del cuerpo del tanque son la distorsión, defectos, y soldadura. El END que se debe aplicar para observar todas estas discontinuidades es la inspección visual.

## Espesor mínimo aceptable.

Para que un tanque continúe en servicio debe tener un espesor mínimo aceptable. El criterio lo establece el código API 653 sección 4.3.3.1 por medio de un método limitándolo a tanque con diámetros menores o iguales a 200 ft. Por lo que debe cumplir la siguiente ecuación:

$$t_{min} = \frac{2.6(H-1)DG}{SE} \text{ (Ec 2.33)}$$

- Unidades para el reemplazo

H	[ft]
D	[ft]
S	[psi]
Y	[psi]
T	[psi]

- Variables encontradas en los apéndices y datos del cliente:

H = 96.2% de la altura total del tanque  
7.35 mts al 96.2%

**H= 23.2 ft**

D = 6.22 mts

D = 20.41 ft

Y = 36000 psi → **0.8\*36000=28800 psi**  
y/o **0.88\*36000=31680psi**

T = 58000 psi → **0.429\*58000=24882 psi**  
y/o **0.472\*58000=27376psi**

G = 1.52

E= 1

Reemplazando en la ecuación 2.33 para el primer anillo. Revisar la memoria técnica de todos los anillos en el Apéndice D.

$$t_{min} = \frac{2.6(23.2 - 1)(20.41 * 1.52)}{(24882)1}$$

$$t_{min} = 0.0719in = 1.82 mm$$

LA determinación de espesores mínimos por el método descrito únicamente considera las cargas por el líquido almacenado. Todas las otras cargas deberán ser evaluadas de acuerdo a un estándar de construcción y con un buen criterio de ingeniería para diferentes condiciones o nuevas. Según sea el caso se debe tener en cuenta las siguientes cargas:

- A) Pandeos inducidos por el viento.
- B) Cargas sísmicas.
- C) Operaciones mayores a 200°F.
- D) Presión externa inducida por el vacío.
- E) Cargas externas causadas por tuberías, equipos montados en el tanque, accesorios, etc.
- F) Volcamiento inducido por el viento.
- G) Cargas por asentamiento.

### 2.1.6 Evaluación del fondo

Los procesos de inspección deben dar la información suficiente para evaluar cualquier falla que puede causar alguna fuga y la corrosión por el deterioro ambiental que está sometido el tanque en servicio.

Se debe inspeccionar cada aspecto del fenómeno de la corrosión y otros mecanismos de fuga potenciales, evaluando periódicamente la integridad estructural del fondo, adicional a las inspecciones internas establecida por el código API 653 sección 6.4. El periodo de evaluación debe ser menor o igual a las inspecciones internas establecida en el mismo código sección 6.4.4

Asentamientos excesivos en los tanques pueden causar graves problemas en la integridad estructural del cuerpo y fondo, por lo que una buena práctica de evaluación es revisar la integridad estructural del fondo siguiendo los procedimientos del apéndice B en el código API653.

#### Medición del espesor de las láminas del fondo.

Existen varios métodos para determinar la corrosión del fondo por el lado del suelo. Las herramientas más comunes para detectar los espesores del fondo es el uso de partículas magnéticas y UT.

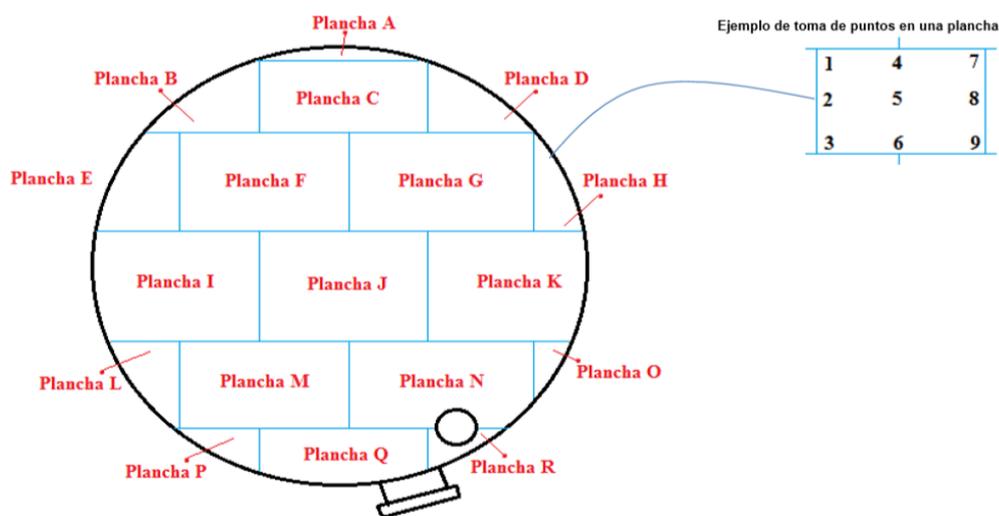


Figura 2.8 Esquema del desarrollo del cuerpo del tanque y ejemplo de toma de puntos en una plancha

API 653 sección 4.4.6.1 nos recomienda que las láminas del fondo no deben ser menores a 0.1 in. Las picaduras aisladas no afecta notablemente la resistencia de la lámina. Si el cliente requiere se realiza un análisis de esfuerzos, y el espesor se determinaría por medio de las secciones 4.4.6.1 o 4.4.6.2 dependiendo de la gravedad específica.

### **2.1.7 Evaluación de la base del tanque.**

Las principales causas en deterioro en fundición de la base del tanque se presentan por agrietamiento, erosión, asentamiento y deterioro en el concreto. A continuación están descritos algunos mecanismos de deterioro:

- A) El calcinamiento (perdida del agua de hidratación) puede ocurrir cuando el concreto ha sido expuesto a temperaturas suficientemente altas por un periodo de tiempo. Durante los periodos de enfriamiento intermedio, el concreto puede absorber humedad, dilatarse, perder su resistencia y agrietarse.
- B) El deterioro del concreto expuesto a aguas subterráneas puede ser causado por ataque químico, por cambios cíclicos de temperatura y por congelamiento de la humedad.
- C) La expansión de la humedad al congelarse el concreto poroso o en concreto con grietas pequeñas por asentamiento o por temperatura puede resultar en descaramiento o desarrollar serias grietas estructurales.
- D) Los álcalis tipo sulfato, y en menor grado, los cloruros pueden actuar corrosivamente y destruir la adherencia del concreto.
- E) Las grietas por temperatura (grietas capilares de ancho uniforme) no afectan seriamente la resistencia de la estructura civil de concreto; sin embargo, estas grietas pueden ser el acceso potencial de humedad o filtraciones de agua eventualmente podrían resultar en la corrosión de acero de refuerzo.

Se debe realizar inspecciones externas periódicamente para asegurar que el tanque esta en óptimas condiciones de servicio, API 653, sección 6.3 nos da unas pautas a seguir.

Cualquier descaramiento en el concreto y pilotes, grietas estructurales y deterioro general deben ser reparados para evitar filtración de agua en la estructura y corrosión en el hierro.

### **2.1.8 Diseño del cuerpo del tanque**

Uno de los objetivos del proyecto es el aumento de la capacidad del tanque original, por lo que se va a aumentar un anillo. Este procedimiento incrementa 37 m<sup>3</sup> a la capacidad geométrica del tanque.

El tanque a diseñar posee 6 anillos de 1.25mts cada uno.

El código API 650 sección 5.1.5.7 indica como debe ser el diseño de la junta.

### **2.1.9 Distorsiones y defectos**

Las distorsiones pueden ser causadas por diversos motivos como asentamiento de la fundición, cambios de presión excesivos o por falta de conocimiento técnico en el área de diseño o reparación.

Las distorsiones del cuerpo pueden ser la falta de redondez, áreas aplanadas y pandeadas, picaduras y cintura en la soldadura. Cada distorsión debe ser evaluada de manera individual para determinar si las condiciones son aceptables para la continuidad del tanque en servicio o si es necesario la reparación.

Defectos tales grietas, laminaciones deben ser examinadas y evaluadas para determinar su naturaleza, y determinar si es necesario proceder a la reparación. Si la reparación es necesaria se debe establecer un procedimiento adecuado. Los defectos de soldaduras en los accesorios deben ser evaluados de manera individual en base a cada caso. Las grietas de soldadura en fondo –cuerpo son críticas por lo que deberán ser reparada.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS

Todo tanque previo a su reparación debe ser sometido a diferentes evaluaciones e inspecciones de sus partes tales como el techo, cuerpo, fondo y base. Para cada componente se realiza diversos estudios según los requerimientos del código.

Los factores más importantes a evaluar son los esfuerzos sometidos por diferentes cargas que se presentan, tasas de corrosión o algún cambio de operación al cuál fue diseñado originalmente.

### 3.1 Resultados de la evaluación y rediseño del tanque.

El código API 653 sección 4.2.1.2 detalla que laminas corroídas del techo con espesor promedio menor 0.09 in en una área de 100  $in^2$  o laminas con agujeros pasantes deben ser reparadas o reemplazadas. Por lo que es necesario realizar una evaluación visual y medición de espesor.

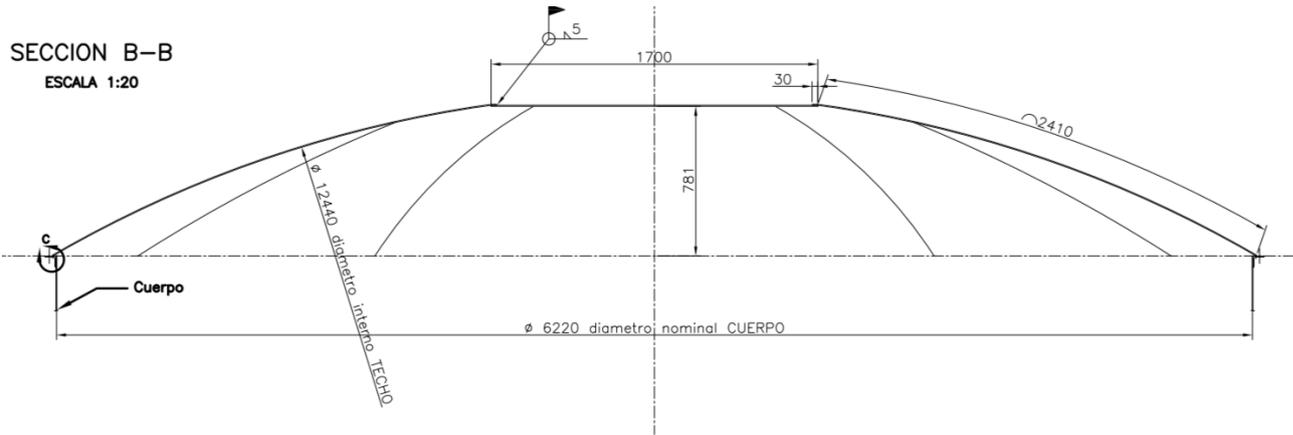
En la figura 2.1 se observa las condiciones físicas del techo del tanque, demostrando los efectos de la corrosión sobre el techo del tanque. La falta de limpieza, consecuencias de estar en un ambiente salino, no tener una correcta protecciones superficial, pueden ser los causantes de esta excesiva corrosión.

El objetivo del proyecto es poner en servicio el tanque cumpliendo las normas técnicas, se decidió junto con el cliente colocar un nuevo techo. El techo debe cumplir con todos los estándares de la norma. Un techo fijo fracturable tipo domo autosoportado fue el diseño de forma seleccionado, ya que el tanque tiene un diámetro relativamente pequeño y no es necesario estructurarlo debido que el techo soporta todo su peso en la periferia.

Una techo es considerado fracturable si la junta techo – cuerpo puede fallar antes que ocurra una falla en la junta cuerpo-fondo en el evento de una presión interna excesiva. Esto se logra por los requerimientos de venteo de emergencia en el código API 650 sección 5.8.5 y requerimientos de juntas en el código API 650 sección 5.10.2.6

Por medio de la ecuación 2.1 se determinó el radio de curvatura. El propósito de este cálculo es determinar el diámetro interno para realizar a trazabilidad como se demuestra en la imagen.

El diámetro es 2 veces el radio de curvatura, Por lo que el diámetro de diseño para el domo del techo es 12440 mm.



**Figura 3.1 Techo fijo, domo autoportado**

EL espesor calculado por medio de la ecuación 2.2 fue 3.8 mm. EL código API 650 sección 5.10.6.1 indica que el espesor mínimo debe ser mayor o igual a 5mm y un límite máximo de 12.5mm para techos fijos con domo autoportados. Por medio de los criterios mencionas se seleccionó un espesor de diseño del techo de 5 mm.

Las láminas del techo se soldaron por el lado superior como mínimo con filetes continuos en todas a juntas. Las soldaduras a tope también son aceptadas.

Otro aspecto importante en el diseño del techo es la elección del tipo de junta. El código API 650 sección 5.10.6.2 y el apéndice F nos establecen criterios para seleccionar comparando el área total transversal (Área de participación) del cuerpo, techo y ángulo con la era mínima requerida. Si el área de participación es mayor a la requerida la junta es aceptada. Reemplazando el valor en las ecuaciones correspondientes obtenemos los siguientes resultados:

$$A_p = 1474.57m^2$$

$$A = 692.82m^2$$

Por los resultados obtenidos se define que la junta seleccionada es aceptada según los criterios API 653.

### **3.1.1 Soldadura**

El techo es unido al ángulo superior con un filete sencillo continuo que no exceda 5mm. No es permitido soldadura del techo al ángulo superior por el lado inferior.

### **3.2 Evaluación y rediseño del cuerpo.**

La corrosión en un tanque puede afectar de manera crítica a las condiciones de operatividad de un tanque, es por ese motivo que se deben realizar evaluación e inspecciones periódicas al tanque.

El tiempo que el tanque está expuesto a diversas condiciones climáticas, falta de evaluación y mantenimiento produce ciertas discontinuidades en el material de base y de aporte, por lo que se procedió a realizar una inspección visual, prueba de hermeticidad con tintas penetrantes y medición de espesor al cuerpo del tanque, y así determinar las medidas correctivas a cada caso.

#### **3.2.1 Prueba de hermeticidad.**

Esta prueba se realiza para comprobar si existe alguna fuga por los cordones de soldadura, para este proceso se utilizó tintas penetrantes.



**Figura 3.2 Prueba de hermeticidad en el interior del tanque y aplicación de tintas penetrantes en el cordón de soldadura.**



**Figura 3.3 Prueba de hermeticidad en el exterior del tanque.**

Se aplicó tintas penetrantes al 100% de los cordones de soldadura al interior de la soldadura como se aprecia en las figuras 3.2. Luego de transcurrido el tiempo de penetración se revisó los cordones de soldadura para detectar alguna fuga. Se revisó los cordones en la parte exterior en la figura 3.3. Se comprueba que el tanque está libre de fugas.

### 3.2.2 Inspección Visual

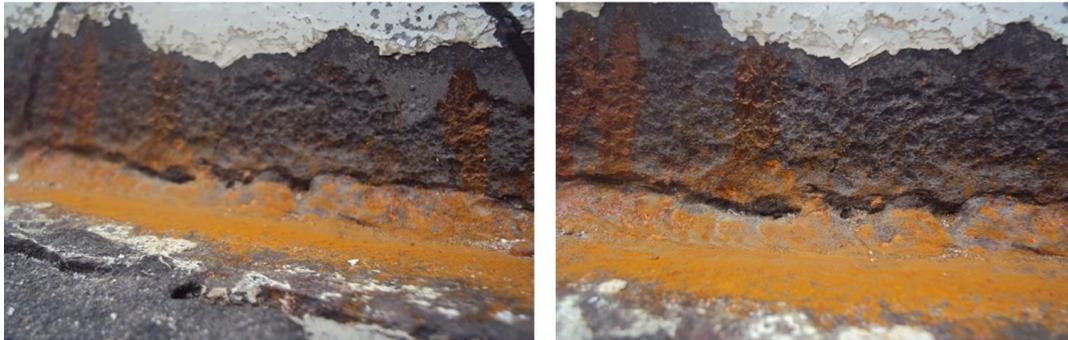


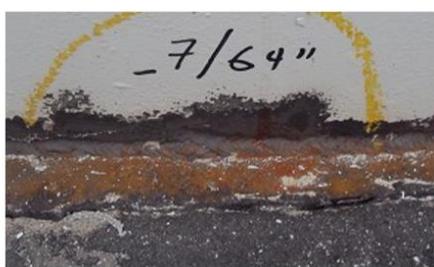
Figura 3.4 Soldadura de Fondo-Primer anillo presenta picaduras



Figura 3.5 Zona de los apoyos presenta excesiva corrosión



**Figura 3.6 Fondo con presencia de desgaste**



**Figura 3.7 Cordón de soldadura presenta corrosión localizada**

El código API 653 sección 4.3.6 indica que todas las grietas en el fondo-cuerpo debe ser reparado. La figura 3.4 se reparó para que cumpla con las especificaciones API.

### 3.2.3 Espesor mínimo aceptable

API 653 sección 4.3.3 indica como calcular el mínimo espesor que debe tener las láminas para continuar en servicio, Este método está limitado a tanque con diámetros menores o iguales a 200 ft. La ecuación 2.33 es la recomendada.

EL cálculo se lo realizó con 6 anillos por lo que se desea aumentar el volumen del tanque a petición del cliente y deseamos saber cuánto debe ser el mínimo espesor de cada anillo cuando el tanque tenga la nueva altura. Los resultados se demuestran la tabla 9.

**Tabla 9 Espesores mínimos aceptables calculados**

<i>Anillo</i>	<i>Espesor mínimo aceptable (plg)</i>	<i>Espesor mínimo aceptable (mm)</i>
1	0.0719	1.82
2	0.06	1.5
3	0.042	1.06
4	0.03	0.76
5	0.018	0.45
6	0.006	0.15

Existe una limitante en código API, nos indica que el espesor mínimo aceptable no puede ser menos a 0.1 plg.

Se realizó la medición por ultrasonido, comparando el espesor mínimo por anillo en UT (ver en apéndice) con el espesor mínimo calculado en la tabla 10

**Tabla 10 Criterio de aceptación de espesor del cuerpo del tanque**

<b>Anillo</b>	<b>Espesor min por UT (mm)</b>	<b>Espesor mínimo aceptable calculado (mm)</b>	<b>Espesor mínimo por código (mm)</b>	<b>Resultado</b>
<b>1</b>	5.08	1.82	2.54	Aprobado
<b>2</b>	3.86	1.5	2.54	Aprobado
<b>3</b>	3.81	1.06	2.54	Aprobado
<b>4</b>	3.76	0.76	2.54	Aprobado
<b>5</b>	3.78	0.45	2.54	Aprobado
<b>6</b>	-----	0.15	2.54	

Como resultado final se observa que los espesores mínimos en los puntos ubicados en la matriz de las planchas satisfacen los espesores mínimos aceptable.

El nuevo anillo está ubicado en la sexto posición, para determinar el espesor se procedió a utilizar los métodos descritos en el código API 650 sección 5.6, el resultado se demuestra en la tabla11.

**Tabla 11 Espesor de láminas del cuerpo del tanque**

<b>Anillo</b>	<b>Espesor (mm.)</b>
<b>1</b>	5.49
<b>2</b>	4.15
<b>3</b>	4.10
<b>4</b>	4.01
<b>5</b>	4.00
<b>6</b>	4.00

El sexto anillo deberá tener el espesor por lo menos igual o menor espesor que su anterior anillo, según API 650.

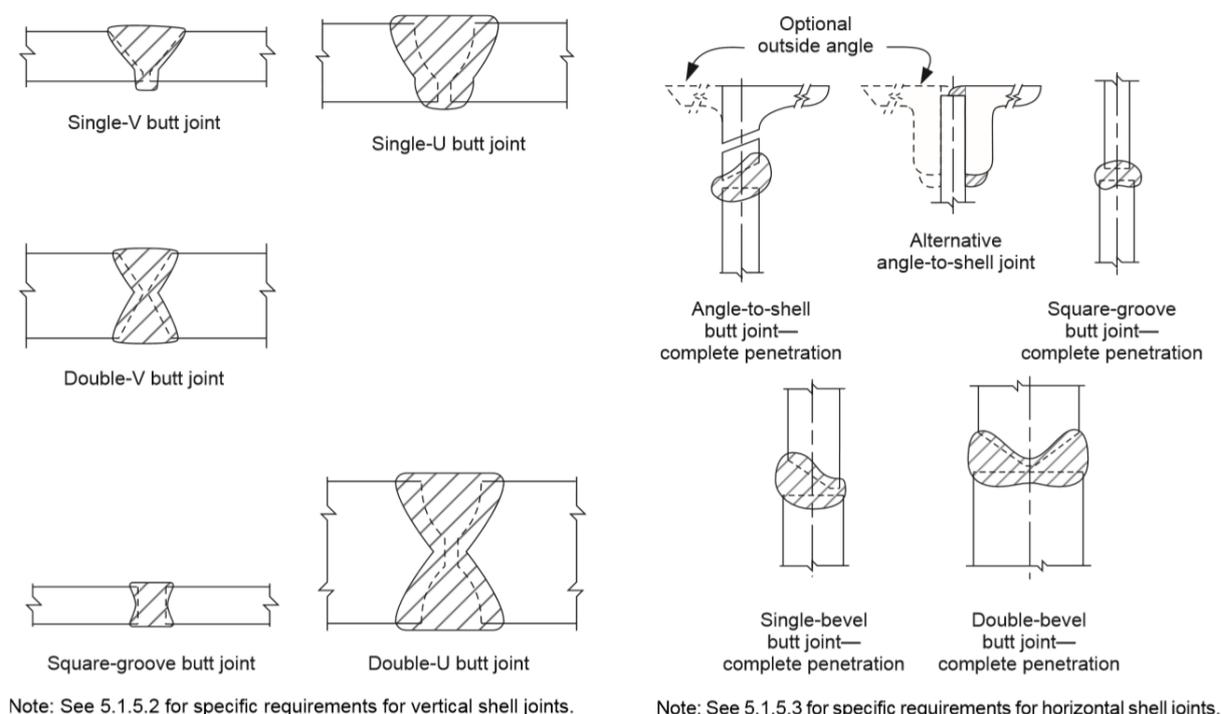
### 3.3 Soldadura

El Primer anillo va ser sometido a reparación, ya que este tiene una gran cantidad de grietas, socavidades y desgastes en la junta cuerpo-fondo.

Parte del primer anillo se reemplazó con láminas nuevas debido a que se colocara manhole con el diámetro de acuerdo a la norma y por el estado en el que se encontró al momento de la evaluación. EL espesor mínimo de reemplazo del cuerpo no debe ser menor al mayor espesor nominal de cualquier lámina adyacente del mismo anillo.

Para esta reparación de debe mantener los requerimientos mínimo para las juntas verticales. Las juntas verticales se deben soldar antes que las horizontales. Las láminas se deben soldar con juntas a tope con fusión y penetración completa.

El diseño de estas juntas debe ser de acuerdo al código API 650 sección 5.1.5



**Figura 3.8 Diseño típico de juntas horizontales y verticales**

Fuente: Api 650, figuras 5.1 y 5.2

## Diseño de Soldadura para diferentes uniones

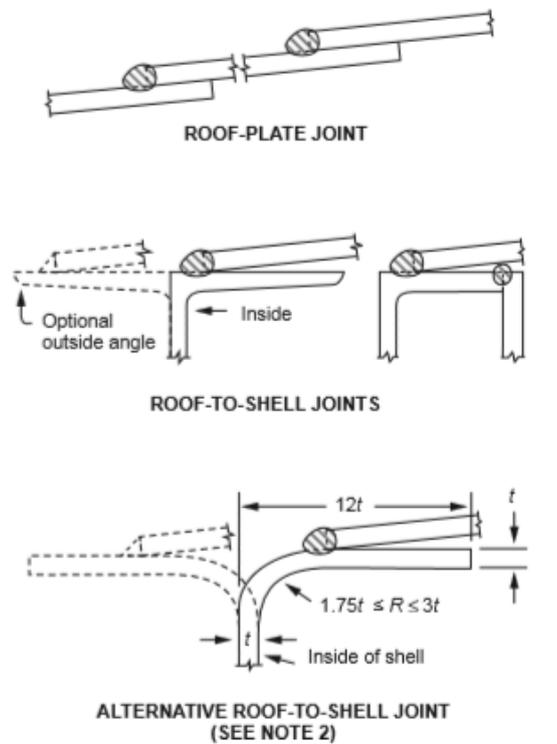
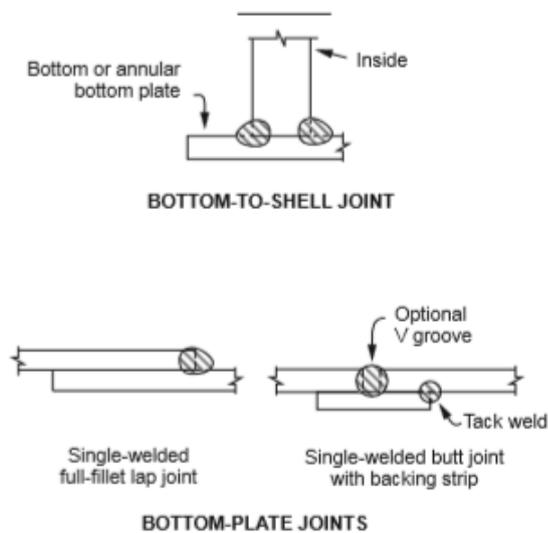


Figura 3.9 Uniones Cuerpo – Techo



- Notes:
1. See 5.1.5.4 – 5.1.5.9 for specific requirements for roof and bottom joints.
  2. The alternative roof-to-shell joint is subject to the limitations of 5.1.5.9, Item f.

Figure 5-3A—Typical Roof and Bottom Joints

Figura 3.10 Uniones Cuerpo –Fondo

### 3.3.1 Soldadura filete de junta Cuerpo-Fondo

Para la junta cuerpo-fondo con espesores nominales menores o iguales a 13 mm, el pie de la soldadura deber ser un cordón continuo en cada lado de la laminas del cuerpo. Este pie de soldadura no deber ser mayor a 13 mm (1/2 in) y no debe ser menor que el espesor nominal de la lámina más delgada (esta lamina puede ser la del fondo o el primer anillo del cuerpo).

**Tabla 12 Mínimo tamaño del cordón de soldadura por filete en función al espesor del cuerpo**

Nominal Thickness of Shell Plate		Minimum Size of Fillet Weld	
(mm)	(in.)	(mm)	(in.)
5	0.1875	5	$\frac{3}{16}$
> 5 to 20	> 0.1875 to 0.75	6	$\frac{1}{4}$
> 20 to 32	> 0.75 to 1.25	8	$\frac{5}{16}$
> 32 to 45	> 1.25 to 1.75	10	$\frac{3}{8}$

### 3.4 Evaluación en el fondo del tanque

El fondo de un tanque una de las partes que se deben prestar mucha importancia. Por lo general el espesor del fondo de un tanque es igual menor al espesor del cuerpo. La razón es porque el fondo esta soportado por una base de concreto, el cual soporta el peso de la columna del líquido. EL objetivo principal del tanque es crear hermeticidad para evitar fuga del líquido.

La siguiente lista de causas de fuga o falla del fondo deben ser considera al momento de tomar una decisión de reparación o reemplazo:

- Picaduras internas y ratas de picaduras en el servicio anterior.
- Corrosión de las uniones de soldadura (soldadura y zona afectada por el calor).
- Historia del agrietamiento de la junta de la soldadura.
- Esfuerzo aplicados en las láminas del fondo por cargas del soporte del techo y asentamiento del cuerpo.
- Corrosión en la parte inferior (normalmente en forma de picadura).
- Drenaje inadecuado que resulta en una superficie de agua fluyendo bajo el fondo del tanque.
- La falta de un anillo de la lámina anular cuando es requerido.
- Asentamiento desigual que resulta en esfuerzos altos localizados en las láminas del tanque.
- Columnas del soporte del techo y otros soportes soldados al fondo del tanque sin tener en cuenta los movimientos adecuados permisibles.
- Rellenos de gravas o rocas de la fundación con vacíos en la superficie sin un adecuado llenado.
- Relleno no homogéneo bajo el fondo del tanque (por ejemplo un trozo de arcilla en un relleno de fundación de arena).
- Sumideros inadecuados soportados.

### 3.4.1 Espesor mínimo aceptable en el fondo del tanque.

Para determinar el espesor de diseño se utilizó el código API 650 sección 5.5.3, comparando la presión con el espesor del primer anillo.

**Tabla 13 Espesor mínimo aceptable para el fondo del tanque**

Fuente: API 650, tabla 5.1

Plate Thickness <sup>a</sup> of First Shell Course (mm)	SI Units			
	Stress <sup>b</sup> in First Shell Course (MPa)			
	≤ 190	≤ 210	≤ 220	≤ 250
$t \leq 19$	6	6	7	9
$19 < t \leq 25$	6	7	10	11
$25 < t \leq 32$	6	9	12	14
$32 < t \leq 38$	8	11	14	17
$38 < t \leq 45$	9	13	16	19

EL resultado fue de 6 mm.

### 3.4.2 Medición de espesor de las láminas de fondo

Este procedimiento se realizó por medio de UT.

El espesor mínimo encontrado por UT (Ver Apéndice E) es 5.08 mm. El código API 653 sección 4.4.6.1 nos indica que el espesor mínimo de una lámina anular del fondo es 0.1 in. Indicando que las picaduras aisladas no crean mayores esfuerzos a la resistencia del material.

Por lo tanto el espesor del fondo actual es aprobado ya que cumple con la condición de evaluación.

### 3.5 Análisis Sísmico

El análisis de los movimientos telúricos es un aspecto muy importante. Por lo que se debe analizar todas las fuerzas que pueden crear inestabilidad.

La estabilidad se la puede determinar por medio del radio de anclaje (J) en la ecuación.

En el anexo E del código API 653 nos ofrece los criterios para resultados.

**Tabla 14 Criterio de selección para anclaje**

Fuente: API 653, tabla 6

<b>Anchorage Ratio <math>J</math></b>	<b>Criteria</b>
$J \leq 0.785$	No calculated uplift under the design seismic overturning moment. The tank is self-anchored.
$0.785 < J \leq 1.54$	Tank is uplifting, but the tank is stable for the design load providing the shell compression requirements are satisfied. Tank is self-anchored.
$J > 1.54$	Tank is not stable and cannot be self-anchored for the design load. Modify the annular plate if $L < 0.035D$ is not controlling or add mechanical anchorage.

El valor J resultó 0.79, el cual indica que el tanque es estable y no es necesario tener anclajes.

### 3.6 Análisis de viento.

Este análisis se lo realizó para comprobar la posibilidad de un volcamiento por las cargas del viento. Para determinar la estabilidad se debe cumplir los 2 criterios mencionados en la sección 2.14.

Reemplazando las ecuaciones 2.23 y 2.24 se comprueban que cumplen con los requisitos de estabilidad al volcamiento.

$$0.6(27979) + 4252.84 < \frac{146527}{1.5}$$
$$21040.24 < 97684.66$$

$$27979 + 0.4(4285.84) < \frac{(146527 + 204942)}{2}$$
$$29682.416 < 175734.5$$

Por lo tanto no es necesario anclar el tanque ya que cumple con la estabilidad necesaria.

# CAPÍTULO 4

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los tanques que han estado por algún lapso de tiempo en servicio deben ser evaluados periódicamente para confirmar su correcto funcionamiento y vida útil. Si se requiere realizar un cambio de servicio o alguna reparación, reconstrucción y alteración en su diseño original también debe ser evaluador por el cogido API 653.

Los tanques que fueron construidos de una manera empírica o con falencias técnicas pueden ser evaluados por el código API 653 siempre y cuando cumpla con los requisitos exigidos. El proyecto descrito es uno de esos casos, en el cual el principal objetivo es aprovechar el tanque existente para convertirlo en un tanque con mayor capacidad. Estos tanques son susceptibles a fallar debido a fractura frágil, por lo que API 653 sección 5.3.3 nos ilustra un árbol de decisión.

El código API 653 no posee reglas o todas las situaciones que se pueden presentar en un tanque. Cuando los detalles de diseño y construcción no están dado y se desconoce el código de construcción, se debe usar los criterios suministrado por el código API 650 actual.

La evaluación para determinar si el tanque puede entrar en servicio lo establece API 653, cuando este estándar no establece procedimientos específicos o criterios de aceptación el código API 579-1/ASME FFS-1 puede ser usado siempre y cuando el procedimiento lo indique.

Para el diseño del nuevo techo del tanque se ha evaluado las diferentes posibilidades. Lo primero que se tomó en cuenta es el tipo de líquido que se va almacenar. La soda caustica es un líquido no inflamable, no se debe contaminar. Otro aspecto que se tomó en cuenta fue el diámetro del tanque y la manera de colocar la menor cantidad de estructura en el techo. Por estos motivos el techo seleccionado fue un domo autosoportado y el tipo de junta frágil para evitar fugas por presión en caso de presurización.

Para el cálculo del radio de curvatura se observa que el diámetro del tanque es directamente proporcional. La relación es 1:1 siempre y cuando el diseñador del tanque escoja el valor intermedio del coeficiente del radio de curvatura, el coeficiente varía entre 0.8 y 1.2.

Otro valor que es directamente proporcional al diámetro del tanque es el espesor del techo. En la ecuación 2.2 se observa que existen 2 incógnitas, el valor  $T$  se lo selecciona según las especificaciones de la norma y el valor del radio de curvatura ( $rr$ ). Por lo tanto si aumentamos el diámetro, el espesor del techo también aumenta sin importar la altura del tanque.

A pesar de que API tiene valores para calcular los diferentes coeficientes para el análisis sísmico, se eligió usar la norma NEC ya que estos valores son los actualizados para el Ecuador.

A pesar de que el valor de  $J$  resultó un tanque estable sin necesidad de anclaje, puede ser volteado si las cargas sobrepasan los valores de diseño. Por esta razón se decidió realizar un estudio de volteo por las cargas de viento.

Los cálculos para el espesor mínimo aceptable se realizó con el anillo adicional por lo que se desea conocer las nuevas condiciones de trabajos. El espesor mínimo aceptable es proporcional a la altura y diámetro del tanque. Entonces si colocamos una mayor altura y es aprobado el espesor al comparar con el mínimo espesor inspeccionado por UT, colocando una altura menor y conservando el mismo diámetro también sería aprobado.

Para el cálculo del espesor para el nuevo anillo se utilizó el código API 650 sección 5.6 en el cual se eligió un espesor de 4 mm ya que nos establece que los anillos adyacentes deben tener un espesor igual o menor. La elección de 4 mm de espesor también satisface a las exigencias del API 653 en el cual se indica que el mínimo espesor debe ser 2.54mm.

El espesor del primer anillo en la tabla 11 se observa que es 5.49mm. API 650 sección 5.6.1.1 nota 4 indica que el espesor mínimo para un tanque diámetro entre 3.2 mts y 15 mts. el espesor del anillo no debe ser menor a 6 mm. Por esta condición se podría decir que esta fuera de los límites. Pero API 653 acepta este espesor ya que cumple con las exigencias del espesor mínimo aceptable. En el caso de lámina de fondo ocurre una situación similar ya que el código API 650 rechaza del espesor actual obtenido en UT, pero el código API 653 en la sección 4.4.6.1 lo acepta.

Por lo tanto se debe escoger los criterios de API 653. Se usa los demás códigos cuando API 653 lo indique o no tenga la suficiente base para determinar la resolución de un caso.

#### 4.1 **CONCLUSIONES**

- Se concluye que el tanque para almacenamiento puede regresar a servicio realizando las correcciones de soldadura, montaje de nuevo techo y reemplazo de láminas del cuerpo.
  
- Para la selección del techo tienen que estar definido el líquido que se va almacenar y el diámetro del tanque. Para que una junta fracturable esté bien diseñada debe cumplir con dos requisitos:
  - a) El área de participación debe ser mayor que el área de mínima.
  - b) La soldadura entre el techo y ángulo superior debe ser un filete sencillo continuo que no exceda 5mm. No es permitido soldadura del techo al ángulo superior por el lado inferior.
  
- Para la evaluación de los espesores mínimos en cualquier parte del tanque, se debe elegir el más conservador posible, ya que algunas secciones del código establecen criterios mínimos de aceptación como se ilustra en las tablas 10 y 13.
  
- La investigación realizada es un aporte al sector industrial ya que se explica claramente cuáles son los procedimientos a seguir para cada situación. El uso e interpretación correcta del código nos asegura un tanque en servicio con una confiabilidad al 100%, una vida útil controlada.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Se debe definir desde el inicio el tipo de techo que tiene el tanque, condiciones geográficas, contenido almacenado, ya que cada uno posee sus propios criterios para evaluación de servicio.
- Es necesario encontrar una norma de construcción que indique la zona sísmica del país donde está ubicado el tanque para obtener resultados más exactos.
- La persona encargada del proyecto deber tener un conocimiento del código, ya que para la evaluación, diseño y aceptación del tanque existen criterios mínimos que se deben cumplir.
- Se debe realizar evaluaciones periódicas de mantenimiento a todas las partes del tanque y accesorios para asegurar que cumpla con los requisitos mínimos de servicio obteniendo una vida útil prolongada.

# BIBLIOGRAFÍA

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- America Petroleum Institute. ( Fourth Edition, 2009). *Tank Inspection, Repair, Alteration and Reconstruction. API 653.*
- American Petroleum Institute. (Eleven Edition, June 2007). *Welded Steel Tanks for Oil Storage. API 650.*
- API 650, APENDICE E-4. (2007). *Welded Steel Tanks for Oil Storage. API 650.*
- API 650, APENDICE E-6. (2007). *Welded Steel Tanks for Oil Storage. API 650.*
- ARAUCO. (2014). *ARAUCO*. Obtenido de ARAUCO: <http://arauco.escalon.cl/?p=5051>
- Bligo. (2013). *Bligo*. Obtenido de Bligo: <http://www.bligoo.com/media/users/26/1303348/images/public/402876/7.JPG?v=1361237649465>
- Bluewaves Tech Solutions. (2012). *Bluewaves Tech Solutions*. Obtenido de Bluewaves Tech Solutions: [http://www.bwtechperu.com/tanques/#tanques\\_agua\\_residual](http://www.bwtechperu.com/tanques/#tanques_agua_residual)
- Erco Worldwide. (2012). *Superior Plus*. Obtenido de Erco Worldwide: <http://www.ercoworldwide.com/index.php/products/caustic/?lang=es>
- Estrucplan. (2002). *Estrucplan*. Obtenido de Estrucplan: <http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=2803>
- GESDEPUR. (s.f.). *GEDESPUR*. Obtenido de GEDESPUR: [http://www.gesdepur.com/productos/Formoplast%20%20Custom-Designed%20HDPE%20and%20PP%20Systems\\_files/formoplast-lager-ruehrbehaelter\\_02.jpg](http://www.gesdepur.com/productos/Formoplast%20%20Custom-Designed%20HDPE%20and%20PP%20Systems_files/formoplast-lager-ruehrbehaelter_02.jpg)
- Guido. (Julio 1997). *Estudio para el Diseño y Construcción de Tanques de Almacenamientos de Petróleo*. AVALOS.
- NEC-11,seccion 2.5.5.1. (2011). *PELIGRO SISMICO Y REQUISITOS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE*.
- TP contraincendio y seguridad. (s.f.). *TP contraincendio y seguridad*. Obtenido de TP contraincendio y seguridad.: <http://www.tpcontraincendioyseguiridad.es/galeria-de-imagenes>

# APÉNDICES

# APÉNDICE A

## API 650 APENDICE R, COMBINACION DE CARGAS

**R.1** For the purposes of this Standard, loads are combined in the following manner. Design rules account for these load combinations, including the absence of any load other than  $D_L$  in the combinations:

(a) Fluid and Internal Pressure:

$$D_L + F + P_i$$

(b) Hydrostatic Test:

$$D_L + (H_t + P_t)$$

(c) Wind and Internal Pressure:

$$D_L + W + 0.4P_i$$

(d) Wind and External Pressure:

$$D_L + W + 0.4P_e$$

(e) Gravity Loads:

$$1) D_L + (L_r \text{ or } S) + 0.4P_e$$

$$2) D_L + P_e + 0.4(L_r \text{ or } S)$$

(f) Seismic:

$$D_L + F + E + 0.1S + 0.4P_i$$

Carga Muerta ( $D_L$ ) El peso del tanque o del componente del tanque, incluyendo cualquier tolerancia de corrosión a menos que se considere otra cosa.

Presión externa de diseño ( $P_e$ ) No deberá ser menor que 0.25 kPa. Para tanques con venteo de circulación que cumplen los requerimientos del apéndice H del código API 650, en estos casos se considera 0 kPa.

Carga mínima del techo ( $L_r$ ) 1.0Kpa en e área horizontal proyecta del techo.

## APÉNDICE B

**API 653, TABLA 4.1;  
ESFUERZOS MÁXIMOS ADMISIBLES EN EL CUERPO**

Especificación de material y grado	Esfuerzo de fluencia mínimo especificado Y (lb/in <sup>2</sup> )	Esfuerzo de tensión mínimo especificado T (lb/in <sup>2</sup> )	Esfuerzo admisible Producto, S (lb/in <sup>2</sup> ) (Nota 7)		Esfuerzo admisible Prueba hidrostática, S <sub>h</sub> (lb/in <sup>2</sup> ) (Nota 7)	
			Los dos anillos inferiores	Los anillos superiores	Los dos anillos inferiores	Los anillos superiores
<b>Especificaciones ASTM</b>						
A 283-C	30.000	55.000	23.600	26.000	26.000	27.000
A 285-C	30.000	55.000	23.600	26.000	26.000	27.000
A 36	36.000	58.000	24.900	27.400	27.400	30.100
A 131-A, B, CS	34.000	58.000	24.900	27.400	27.400	30.100
A 131 EH 36	51.000	71.000	30.500	33.500	33.500	36.800
A 573-58	32.000	58.000	24.900	27.400	27.400	28.800
A 573-65	35.000	65.000	27.900	30.700	30.700	31.500
A 573-70	42.000	70.000	30.000	33.000	33.000	36.300
A 516-55	30.000	55.000	23.600	26.000	26.000	27.000
A 516-60	32.000	60.000	25.800	28.200	28.200	28.800
A 516-65	35.000	65.000	27.900	30.700	30.700	31.500
A 516-70	38.000	70.000	30.000	33.000	33.000	34.200
A 662-B	40.000	65.000	27.900	30.700	30.700	33.700
A 662-C	43.000	70.000	30.000	33.000	33.000	36.300
A 537 Cl 1	50.000	70.000	30.000	33.000	33.000	36.300
A 537 Cl 2	60.000	80.000	34.300	37.800	37.800	41.500
A 633 C, D	50.000	70.000	30.000	33.000	33.000	36.300
A 678-A	50.000	70.000	30.000	33.000	33.000	36.300
A 678-B	60.000	80.000	34.300	37.800	37.800	41.500
A 737-B	50.000	70.000	30.000	33.000	33.000	36.300
A 841	50.000	70.000	30.000	33.000	33.000	36.300
A 10 (Nota 1)	30.000	55.000	23.600	26.000	26.000	27.000
A 7 (Nota 1)	33.000	60.000	25.700	28.300	28.300	29.700
A 442-55 (Nota 1)	30.000	55.000	23.600	26.000	26.000	27.000
A 442-60 (Nota 1)	32.000	60.000	25.800	28.200	28.200	28.800
<b>Especificaciones CSA</b>						
G40.21, 38W	38.000	60.000	25.700	28.300	28.300	31.100
G40.21, 44W	44.000	65.000	27.900	30.700	30.700	33.700
G40.21, 50W	50.000	65.000	27.900	30.700	30.700	33.700
G40.21, 50WT	50.000	70.000	30.000	33.000	33.000	36.300
Desconocido (Nota 2)	30.000	55.000	23.600	26.000	26.000	27.000
Tanques remachados:						
A 7, A 9 o A 10 (Nota 1, Nota 3)	NA	NA	21.000	21.000	21.000	21.000
Conocido (Nota 4)	Y	T	Nota 4	Nota 4	Nota 4	Nota 4
Desconocido (Nota 5)	NA	NA	21.000	21.000	21.000	21.000

## APÉNDICE C

**API 653, TABLA 4.2;  
EFICIENCIA DE LAS JUNTAS SOLDADAS**

Estándar	Edición y año	Tipo de junta	Eficiencia de la junta <i>E</i>	Aplicabilidad o límites
API 650	Séptima y posteriores	A tope	1,00	Estándar básico
	(1980 a la fecha)	A tope	0,85	Apéndice A RT spot
		A tope	0,70	Apéndice A No RT
	Primera a sexta	A tope	0,85	Estándar básico
	(1961 a 1978)	A tope	1,00	Apéndices D y G
API 12C	14 <sup>a</sup> y 15 <sup>a</sup>	A tope	0,85	
	(1957 a 1958)			
	3 <sup>a</sup> a 13 <sup>a</sup>	Traslapada <sup>a</sup>	0,75	3/8 in máx. <i>t</i>
	(1940 a 1956)	A tope <sup>c</sup>	0,85	
	1 <sup>a</sup> y 2 <sup>a</sup>	Traslapada <sup>a</sup>	0,70	7/16 in máx. <i>t</i>
	(1936 a 1939)	Traslapada <sup>b</sup>	$0,50 + k/5$	1/4 in máx. <i>t</i>
		A tope <sup>c</sup>	0,85	
No conocido		Traslapada <sup>a</sup>	0,70	7/16 in máx. <i>t</i>
		Traslapada <sup>b</sup>	$0,50 + k/5$	1/4 in máx. <i>t</i>
		A tope	0,70	
		Traslapada <sup>d</sup>	0,35	

<sup>a</sup> Junta traslapada con soldadura por ambos lados.  
<sup>b</sup> Filete completo con al menos 25% de filete completo intermitente por el lado opuesto; *k* = porcentaje de soldadura intermitente expresado en forma decimal.  
<sup>c</sup> Juntas con soldadura a tope por un solo lado con barras de respaldo fueron permitidas desde los años de 1936 a 1940 y de 1948 a 1954.  
<sup>d</sup> Junta traslapada con soldadura por un lado solamente.

## APÉNDICE D

### MEMORIA TÉCNICA DEL CÁLCULO DE ESPESOR MÍNIMO DE TODOS LOS ANILLOS DEL CUERPO USANDO LA ECUACION 2.33

Primer anillo

$$t_{min} = \frac{2.6(23.2 - 1)(20.41 * 1.52)}{(24882)1}$$

$$t_{min} = 0.0719in = 1.82 mm$$

Segundo anillo

$$t_{min} = \frac{2.6(19.7 - 1)(20.41 * 1.52)}{(24882)1}$$

$$t_{min} = 0.06 in = 1.5 mm$$

Tercer anillo

$$t_{min} = \frac{2.6(15.16 - 1)(20.41 * 1.52)}{(27376)1}$$

$$t_{min} = 0.042 in = 1.06 mm$$

Cuarto Anillo

$$t_{min} = \frac{2.6(11.13 - 1)(20.41 * 1.52)}{(27376)1}$$

$$t_{min} = 0.03 in = 0.76 mm$$

Quinto anillo

$$t_{min} = \frac{2.6(7.1 - 1)(20.41 * 1.52)}{(27376)1}$$

$$t_{min} = 0.018in = 0.45 mm$$

Sexto anillo

$$t_{min} = \frac{2.6(3.1 - 1)(20.41 * 1.52)}{(27376)1}$$

$$t_{min} = 0.006in = 0.15mm$$

## APÉNDICE E

### ESPEORES MEDIDOS POR ULTRASONIDO

#### PRIMER ANILLO

Mediciones en una plancha	Espesores en Primer Anillo (9 planchas) mm								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
<b>Punto 1</b>	5,51	5,61	5,56	5,54	5,72	5,54	5,61	5,59	5,54
<b>Punto 2</b>	5,64	5,51	5,59	5,56	5,79	5,66	5,59	5,61	5,66
<b>Punto 3</b>	5,54	5,51	5,51	5,54	5,59	5,54	5,51	5,08	5,46
<b>Punto 4</b>	5,56	5,56	5,49	5,64	5,61	5,59	5,59	5,74	5,41
<b>Punto 5</b>	5,46	5,23	5,54	5,66	5,69	5,72	5,69	5,69	5,56
<b>Punto 6</b>	5,31	-	5,44	5,41	5,46	5,46	5,51	5,49	5,61
<b>Punto 7</b>	5,56	-	5,56	5,61	5,72	5,64	5,64	5,64	5,61
<b>Punto 8</b>	5,59	-	5,56	5,59	5,72	5,66	5,69	5,74	5,64
<b>Punto 9</b>	5,18	-	5,38	5,38	5,56	5,54	5,56	5,56	5,61

Min: 5,08    Prom: 5,56

#### SEGUNDO ANILLO

Espesores en Segundo Anillo (8 planchas) mm							
A	B	C	D	E	F	G	H
4,19	4,27	4,04	3,99	4,01	4,24	4,19	4,24
4,19	4,29	4,14	4,11	4,01	4,24	4,24	4,24
4,01	4,27	4,04	3,99	4,04	4,17	4,19	4,14
4,09	4,32	4,01	4,04	4,06	4,22	4,19	4,24
4,19	4,29	4,06	4,11	4,04	4,29	4,19	4,24
4,14	4,22	4,22	3,91	4,01	4,17	4,17	4,14
4,27	4,24	3,86	4,06	4,09	4,24	4,11	4,22
4,19	4,24	4,11	4,09	4,11	4,24	4,19	4,24
4,22	4,19	4,01	3,99	4,01	4,17	4,22	4,24

Min: 3,86    Prom: 4,15

### TERCER ANILLO

Mediciones en una plancha	Espesores en Tercer Anillo (8 planchas) mm							
	A	B	C	D	E	F	G	H
<b>Punto 1</b>	4,01	4,22	4,24	4,22	4,29	3,99	3,81	4,09
<b>Punto 2</b>	4,06	4,22	4,24	4,29	4,24	4,09	4,11	4,06
<b>Punto 3</b>	4,04	4,17	4,27	4,29	4,29	4,06	4,11	4,19
<b>Punto 4</b>	4,11	4,17	4,14	4,32	4,27	4,11	4,01	4,24
<b>Punto 5</b>	4,06	4,19	4,24	4,32	4,24	4,04	4,09	4,24
<b>Punto 6</b>	4,09	4,22	4,27	4,27	4,27	4,09	4,09	4,19
<b>Punto 7</b>	4,29	4,19	4,27	4,22	4,39	4,09	3,99	3,94
<b>Punto 8</b>	4,04	4,17	4,27	4,27	4,32	3,99	4,09	4,09
<b>Punto 9</b>	4,01	4,22	4,24	4,29	4,14	3,96	4,11	3,99

**Min:** 3,81 **Prom:** 4,16

### CUARTO ANILLO

Espesores en Cuarto Anillo (8 planchas) mm							
A	B	C	D	E	F	G	H
3,78	4,04	3,89	4,22	4,19	3,76	3,81	3,89
3,86	4,06	4,04	4,24	4,24	3,81	3,84	3,99
3,89	4,06	4,04	4,42	4,19	3,84	3,84	3,94
4,14	4,01	4,04	4,22	4,22	3,86	3,81	3,89
3,94	4,06	4,04	4,19	4,17	3,94	3,89	4,04
3,86	4,04	4,09	4,22	4,14	3,86	3,84	3,86
3,91	3,99	4,01	4,14	4,14	3,99	3,94	3,91
3,86	4,06	4,11	4,19	4,17	3,96	3,81	3,89
3,84	4,01	4,14	4,24	4,14	3,99	3,84	3,86

**Min:** 3,76 **Prom:** 4,00

**QUINTO ANILLO**

Mediciones en una plancha								
	A	B	C	D	E	F	G	H
<b>Punto 1</b>	3,91	3,89	4,29	4,22	4,19	3,86	3,91	3,86
<b>Punto 2</b>	3,81	3,89	4,27	4,22	4,19	3,81	3,89	3,84
<b>Punto 3</b>	3,99	3,96	4,14	4,19	4,29	3,84	3,99	3,89
<b>Punto 4</b>	3,86	3,94	4,09	4,22	4,29	3,81	3,99	3,81
<b>Punto 5</b>	3,84	3,91	4,14	4,27	4,24	3,84	3,89	3,84
<b>Punto 6</b>	3,94	3,94	4,14	4,09	4,14	<b>3,78</b>	3,81	3,86

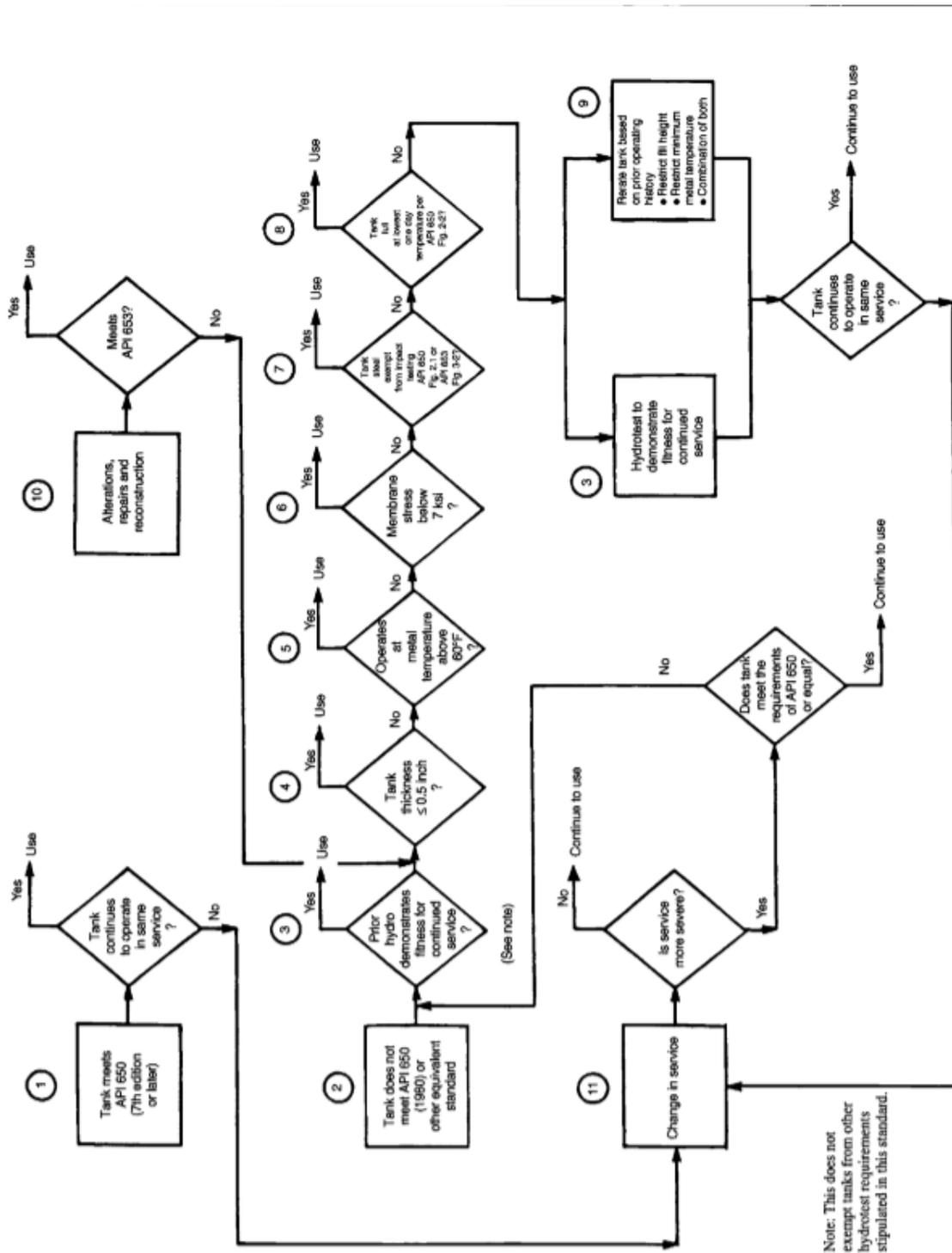
**Min: 3,78    Prom: 4,00**

**FONDO**

Mediciones en una plancha	Espesores de las 18 planchas del Piso (mm)																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
<b>Punto 1</b>	5,33	5,59	5,72	5,77	5,79	5,66	5,31	5,92	5,64	5,11	5,49	5,92	5,51	5,56	5,94	5,77	5,77	5,79
<b>Punto 2</b>	5,64	5,56	5,82	5,74	5,66	5,61	5,72	5,77	5,77	5,51	5,11	5,66	5,56	5,26	5,82	5,92	5,79	5,56
<b>Punto 3</b>	5,87	5,79	5,38	5,92	5,79	5,56	5,28	5,72	5,84	5,61	5,44	5,89	5,82	5,97	5,94	5,77	5,59	5,59
<b>Punto 4</b>	-	5,92	5,31	5,72	5,69	5,82	5,72	5,84	5,11	5,31	5,66	5,46	5,31	5,31	5,28	5,97	5,77	5,99
<b>Punto 5</b>	-	5,87	5,79	5,72	5,82	5,16	5,56	5,64	5,51	5,66	5,92	5,72	5,49	5,77	-	5,77	5,61	5,89
<b>Punto 6</b>	-	5,77	5,28	5,82	5,84	5,69	5,54		5,59	5,26	5,69	-	5,72	5,59	-	-	5,82	-
<b>Punto 7</b>	-	-	5,84	-	5,59	5,61	5,66		5,11	<b>5,08</b>	5,77	-	5,59	5,31	-	-	5,56	-
<b>Punto 8</b>	-	-	5,61	-	-	5,41	5,77		5,72	5,31	5,84	-	5,54	5,61	-	-	5,79	-
<b>Punto 9</b>	-	-	5,38	-	-	5,49	5,72		5,49	5,33	5,87	-	5,72	5,26	-	-	5,18	-

# APÉNDICE F

## ÁRBOL DE DECISIÓN



## **APÉNDICE G**

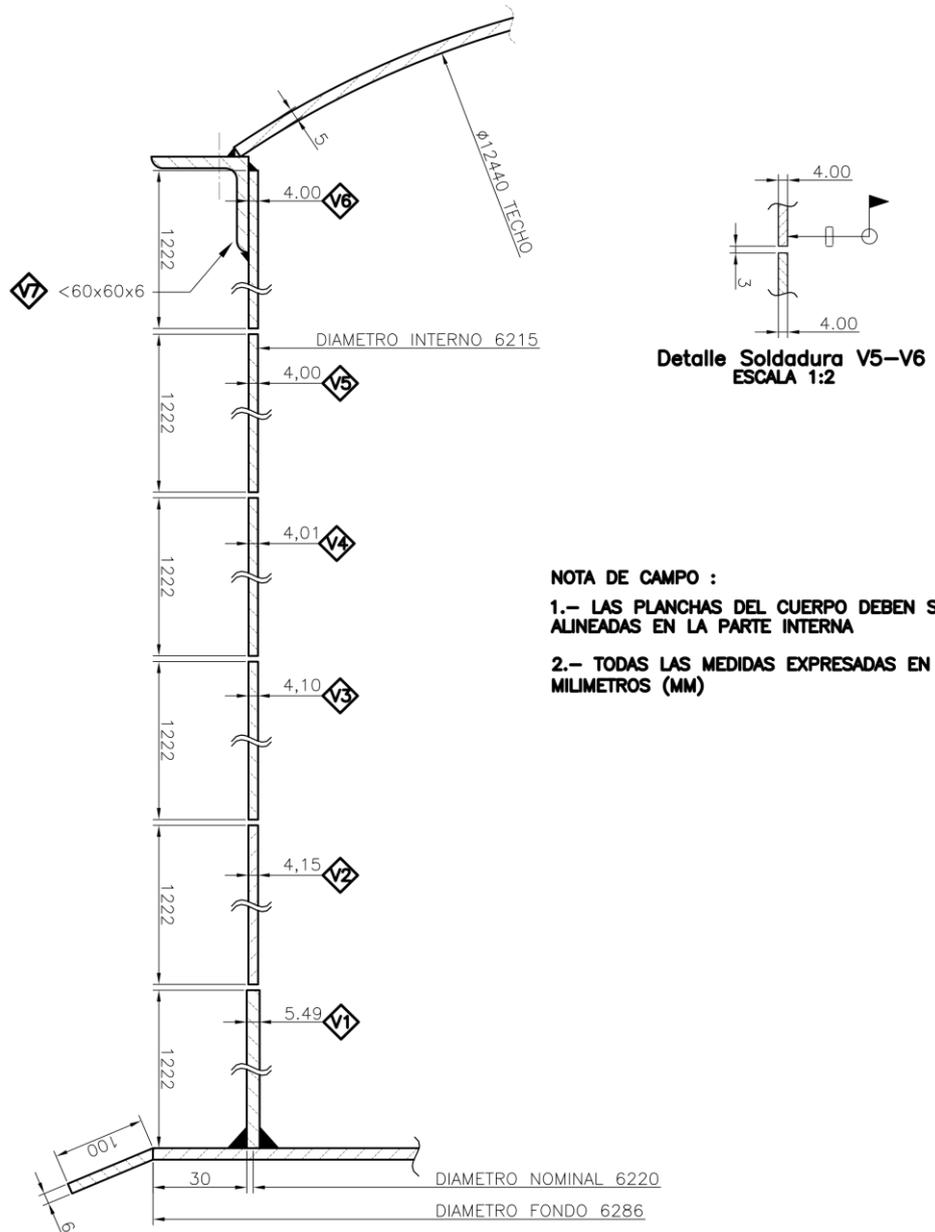
### **PLANOS ESQUEMÁTICOS**



## PLANO 2 DETALLE DEL CUERPO

LISTADO DE PIEZAS PARA UN CUERPO						
MK	DESCRIPCION	MATERIAL	CANT.	PESO UNIT (Kg)	PESO TOTAL (Kg)	OBSERVAC.
V1	LAMINA e = 5,41 mm	ASTM A-36	1	1.019,69	1.019,69	
V2	LAMINA e = 4,15 mm	ASTM A-36	1	783,65	783,65	
V3	LAMINA e = 4,10 mm	ASTM A-36	1	774,21	774,21	
V4	LAMINA e = 4,01 mm	ASTM A-36	1	757,21	757,21	
V5	LAMINA e = 4,00 mm	ASTM A-36	1	755,33	755,33	
V6	LAMINA e = 4,00 mm	ASTM A-36	1	751,64	751,64	
V7	ANGULO 60 X 60 X 6	ASTM A-36	1	92,85	92,85	
PESO TOTAL PARA UN CUERPO Kg					4.934,59	

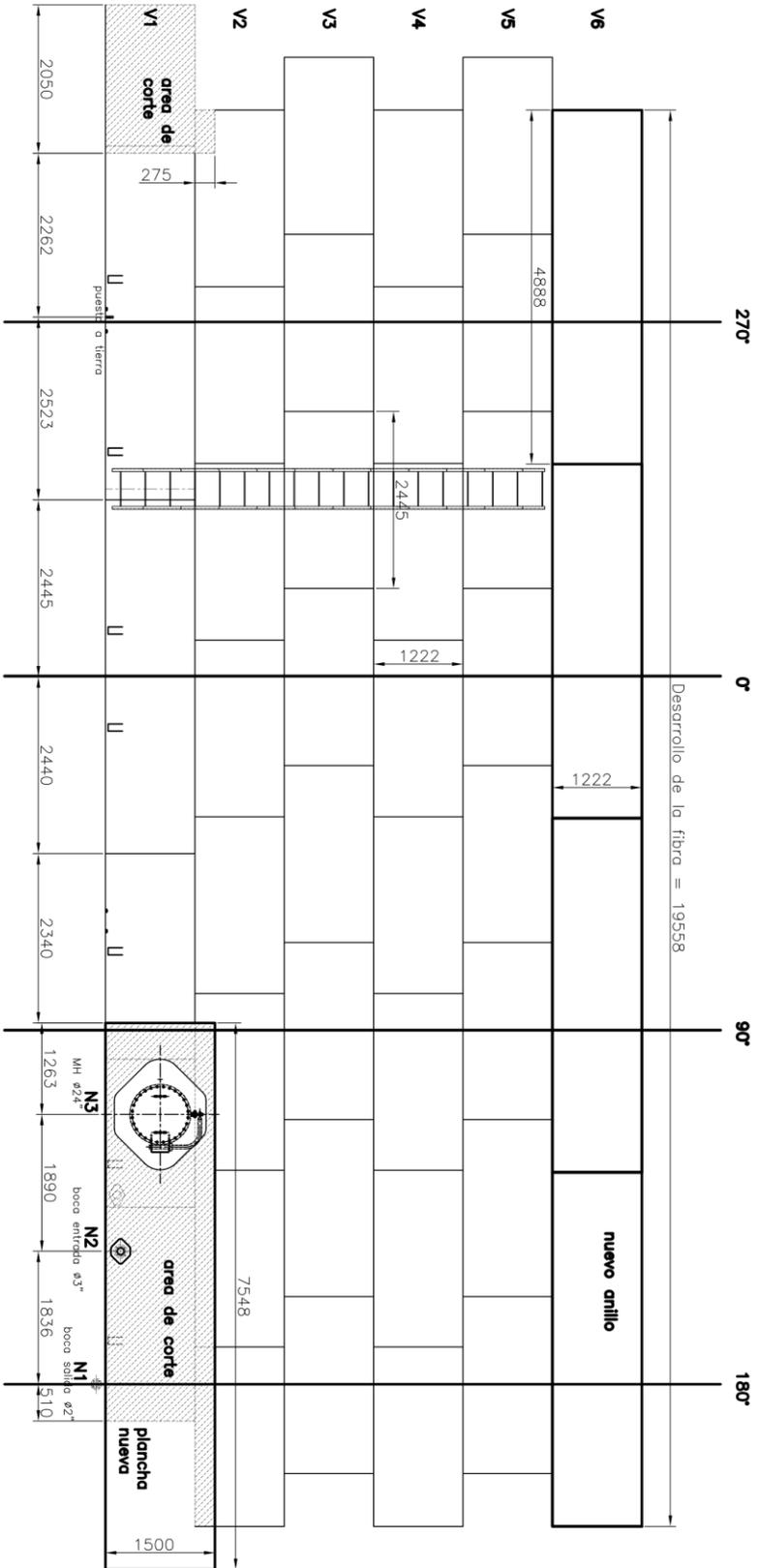
### ELEVACION JUNTAS HORIZONTALES



CLIENTE	PROYECTO	TITULO	DISEÑADO	REVISADO	AUTORIZADO	FECHA
CLIENTE	TANQUE # S3	Cuerpo : Detalles	L. ROBERTO	L. HERNANDEZ	O. AZARRE	20-03-2014
PARA REVISION	DESCRIPCION	FECHA	REVISADO	REVISADO	FECHA	

# PLANO 3 DESARROLLO DEL CUERPO

## DESARROLLO DEL CUERPO



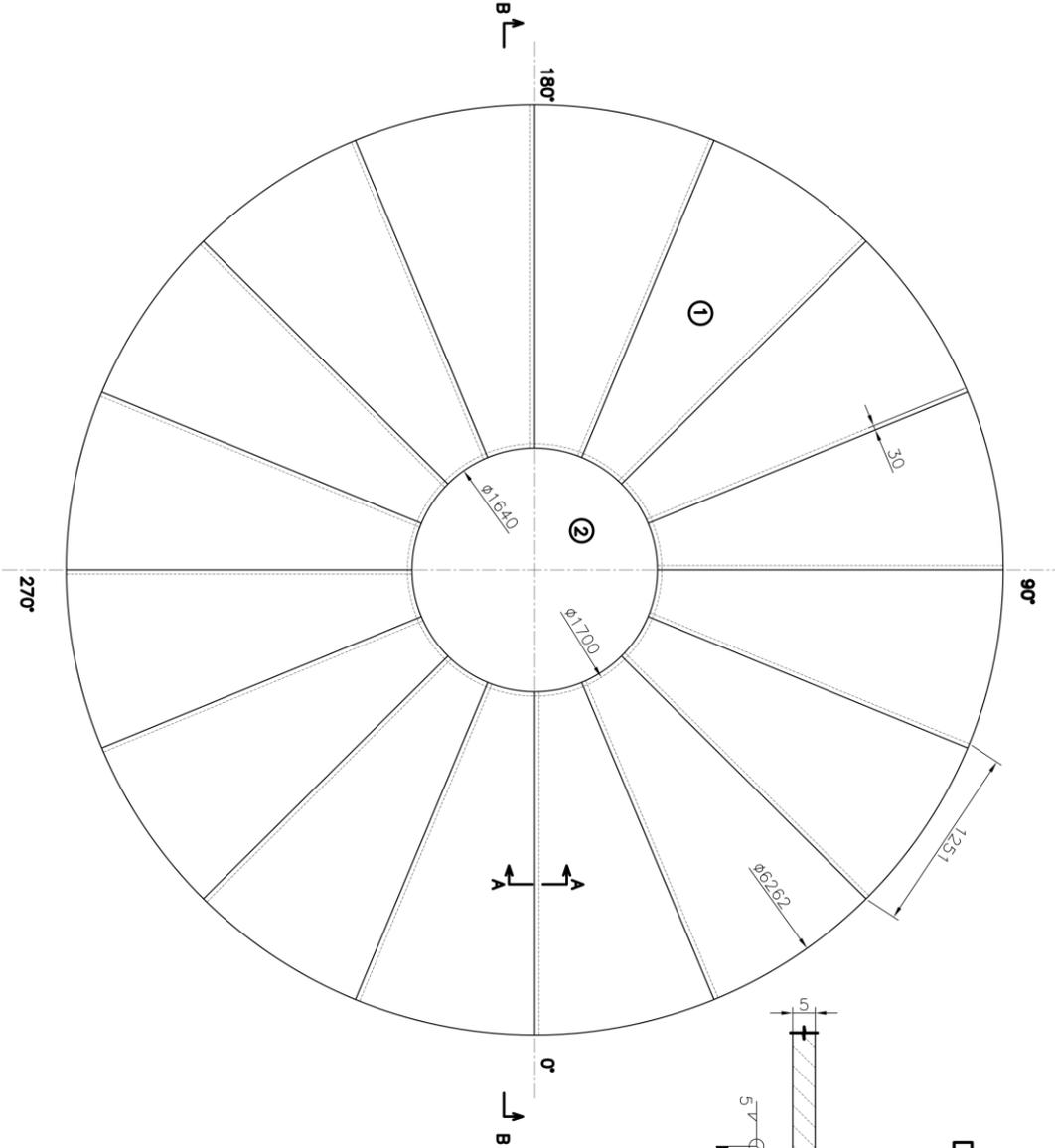
**NOTAS :**

- 1.- PARA ORIENTACION VER PLANO : M-14-01-020
- 2.- TODAS LAS MEDIDAS EXPRESADAS EN MILIMETROS (MM)

PROYECTO		CLIENTE	
TANQUE # S3		1	
DESCRIPCION		DESCRIPCION	
Cuerpo : Desarrollo			
AUTOR		O. AGUIRRE	
REVISOR		F. BALDI	
DISEÑO		DISEÑO	
L. ROJAS		L. HERRANDEZ	
H. PALACIOS		O. AGUIRRE	
Escala		Escala	
1:10		1:10	
Fecha		Fecha	
M - 14 - 01 - 005		20-03-2014	

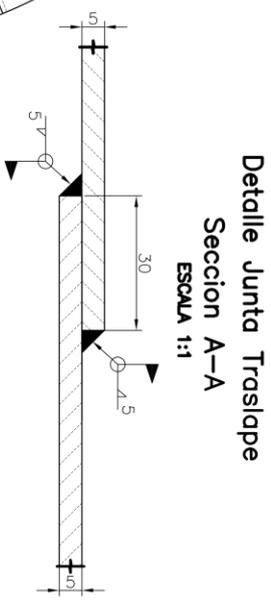
# PLANO 4 VISTA SUPERIOR DEL TECHO

**TECHO PLANTA**  
ESCALA 1:30



LISTADO DE PIEZAS PARA TECHO DOMO

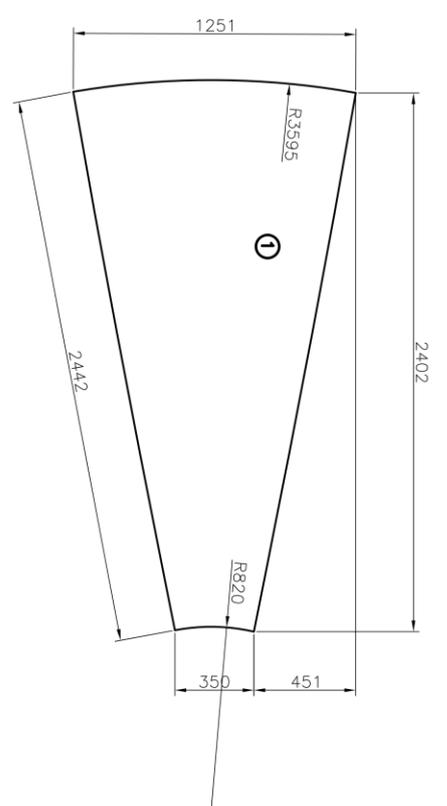
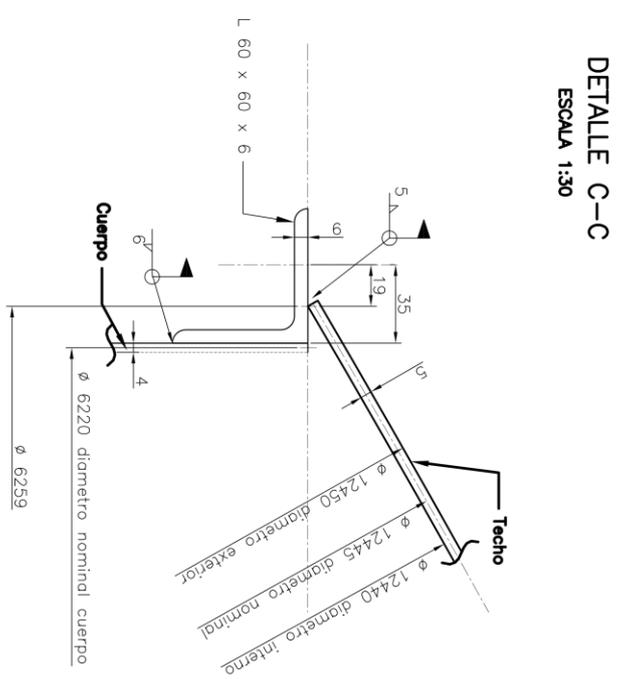
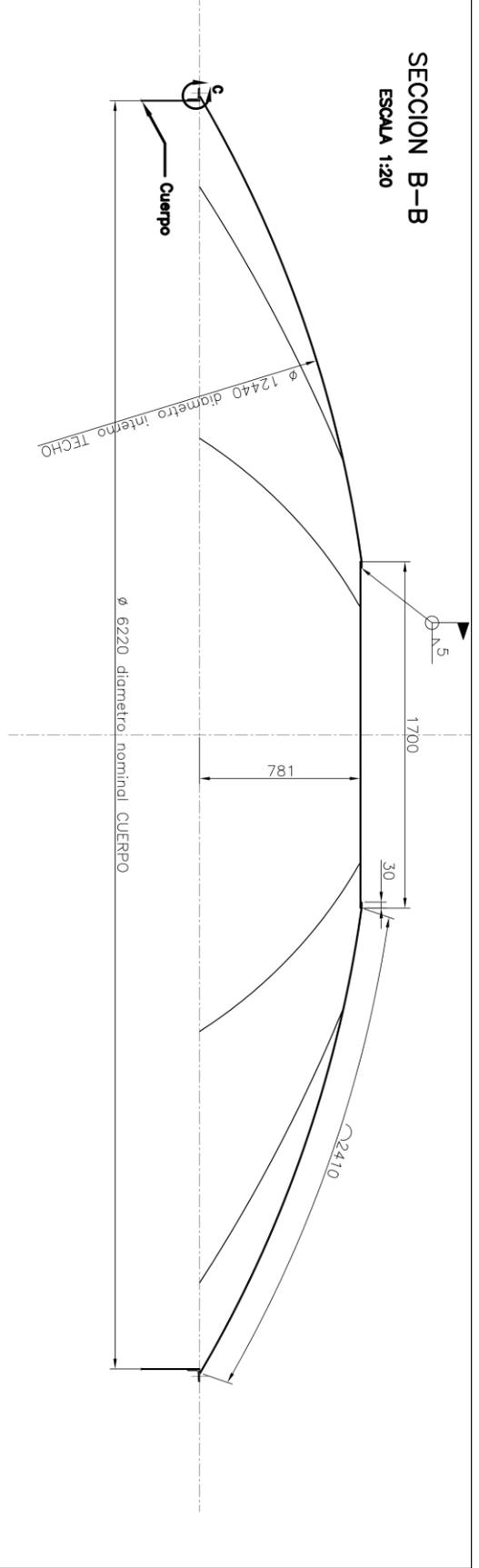
MK	DESCRIPCION	MATERIAL	CANT.	PESO UNIT. Kg	PESO TOTAL Kg	OBSERVAC.
1	Lunetas ø = 5 mm S.T. (Sector)	A-36	16	78,00	1248,06	
2	Disco Plano ø = 5 ø 1700	A-36	1	2,27	2,27	
				PESO TOTAL TECHO Kg	1250,33	



- NOTAS :
- 1.- PARA ORIENTACION VER PLANO : M-14-001-020
  - 2.- TODAS LAS MEDIDAS EXPRESADAS EN MILIMETROS (MM)

CLIENTE		PROYECTO		TITULO	
CUSTOMER		TANQUE # S3		Techo : Vista superior	
PARA APROBACION	DESCRIPCION	APROBADO	REVISADO	ELABORADO	FECHA
INICIADO	ENCARGADO	REVISADO	ELABORADO	FECHA	
1:30	M. PALACIOS	L. PALACIOS	L. PALACIOS	20-03-2014	
M-14-001-013					

# PLANO 5 DETALLE DEL TECHO



NOTAS :  
1.- TODAS LAS MEDIDAS EXPRESADAS EN MILIMETROS (MM)

PROYECTO	TITULO	CLIENTE	FECHA
TANQUE # S3	Techo : Vista Lateral		20-03-2014
PARA APROBACION	DESCRIPCION	NO. APROBACION	FECHA
ELABORADO	DISEÑADO	REVISADO	APROBADO
L. PALACIOS	H. PALACIOS	O. AGUIRRE	O. AGUIRRE
ESCALA	ESCALA	ESCALA	ESCALA
M - 1   4 - 0   1 - 0   1   4	M - 1   4 - 0   1 - 0   1   4	M - 1   4 - 0   1 - 0   1   4	M - 1   4 - 0   1 - 0   1   4