



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

“Sistema para Almacenamiento de Fuel Oil con Capacidad de
220000 Galones”

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN
(PROYECTO DE GRADUACIÓN)

Previa a la obtención del Título de:

INGENIEROS MECÁNICOS

Presentado por

Marlon Orlando Cabrera Campos
Luiggi Darío Solís Morante

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2015

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mis padres y a mi abuelita Idanía que me ha acompañado durante todo mi trayecto estudiantil y de vida y que con sus consejos ha sabido guiarme para culminar mi carrera profesional.

A mi director de tesis, Ing. Manuel Helguero. Y vocales, por su valiosa colaboración y paciencia.

A toda mi familia y amigos, en especial a Stefania Zambrano por su afectuoso e incondicional apoyo en todo.

Marlon Cabrera Campos

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ayudarme en mis años de estudio y cuidar de mí siempre.

A mi madre Patricia por su motivación y soporte día a día, por su guía y apoyo incondicional.

A mi abuela Marlene por su infinito amor y comprensión

A mi tía Rossana por ser sostén en los momentos difíciles

A mi padre Rubén por su apoyo en mis años de estudio

A mi esposa Samanta por su apoyo y motivación

A mi director el Ing. Helguero por su apoyo para lograr este proyecto.

Luigi Solís Morante

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi Dios
quién supo guiarme por el buen
camino, darme fuerzas para seguir
adelante y no desmayar en los
problemas que se presentaban,
enseñándome a encarar las
adversidades sin perder nunca la
dignidad ni desfallecer en el
intento.

Para mis padres y a campito por
su apoyo, consejos, comprensión,
amor, ayuda en los momentos
difíciles, y por ayudarme con los
recursos necesarios para estudiar.
Me han dado todo lo que soy
como persona, mis valores, mis
principios, mi carácter, mi empeño,
mi perseverancia, mi coraje para
conseguir mis objetivos.

Marlon Cabrera Campos

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a mi
hijo Bruno

Que es el motor impulsor de mi
vida

A mi familia por llenarme de
principios y valores en mi hogar
día a día haciendo de mí un
hombre de bien.

A Dios por permitirme lograr este
objetivo en mi vida

Luigi Solís Morante

TRIBUNAL DE SUSTENTACION

Ing. Jorge Duque R.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Manuel Helguero G.
Director del TFG

Ing. Ernesto Martínez L.
Vocal principal

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en el presente Trabajo Final de Graduación, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

Marlon Orlando Cabrera Campos

Luiggi Darío Solís Morante

RESUMEN

El presente proyecto de graduación se elaboró con el objetivo de ofrecer una referencia para la construcción de reservorios de almacenamiento de combustible que en este caso fue Fuel Oil número 6. La capacidad de almacenamiento nominal del tanque es de 220000 galones, con un diámetro exterior de 11,87 metros, una altura de manto de 7.5 metros y un diámetro de fondo de 12 metros las dimensiones de las planchas las seleccionamos en base al stock nacional con un ancho de 1500 milímetros.

Se requiere seleccionar un recubrimiento anticorrosivo, debido a que el producto almacenado tiene gran cantidad de residuos como azufre, lo cual lo tornaba moderadamente corrosivo, el proceso de limpieza fue con el arenado.

Para el diseño del tanque se basó en la normativa API-650.

La preparación previa de las planchas, así como de accesorios se la realizó en taller, el fondo, cuerpo y cubierta del tanque, se la confeccionó en sitio, previamente se proporcionó los planos de fabricación y montaje.

Además, se contempla un sistema de bombeo. El cual contó con un calentador de succión de modo que disminuya la viscosidad del Fuel Oil para facilitar su bombeo.

Esta tesis establece parámetros de construcción de los diferentes elementos que constituyen este tipo de estructuras, basados en datos técnicos de la norma API -650, además de se ofrece un análisis de los costos relacionados a la construcción y montaje.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ABREVIATURAS.....	vii
SIMBOLOGÍA.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE PLANOS.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1 GENERALIDADES.....	4
1.1 Características del Combustible.....	4
1.2 Análisis de condiciones de construcción.....	6
1.3 Normas Aplicables.....	7
1.4 Materiales.....	10
CAPÍTULO 2	
2 DISEÑO DEL TANQUE.....	14
2.1 Diseño de Forma.....	15
2.2 Identificación de Cargas.....	17

2.3 Diseño del Fondo.....	18
2.4 Diseño del Manto.....	21
2.5 Diseño de la Cubierta.....	-26
2.6 Selección de accesorios.....	48
2.7 Análisis de Estabilidad por Vientos.....	60
2.8 Análisis de Estabilidad por Sismo.....	62
2.9 Análisis del Anclaje del Tanque.....	73
2.10 Selección de Sistema de Bombeo y Tubería.....	74

CAPÍTULO 3

3.- CONSIDERACIONES DE CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE.....	93
3.1 Selección del procedimiento de soldadura.....	93
3.2 Corte de Planchas Metálicas.....	109
3.3 Rolado de planchas.....	111
3.4 Preparación superficial de las planchas.....	113
3.5 Selección del tipo de pintura para el tanque.....	- 120

CAPÍTULO 4

4 MONTAJE.....	133
4.1 Cronograma de montaje.....	133
4.2 Procedimiento de Montaje del Fondo.....	134
4.3 Procedimiento de Montaje del Cuerpo.....	137

4.4 Procedimiento de Montaje de Cubierta.....	143
4.5 Control de Calidad de Soldadura y prueba hidrostática.....	144

CAPÍTULO 5

5 COSTOS.....	152
5.1 Costos de Construcción.....	152
5.2 Costos de transportación.....	155
5.3 Costos de Montaje.....	155
5.4 Resumen General de Costos.....	158

CAPÍTULO 6

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	159
6.1 Conclusiones.....	159
6.2 Recomendaciones.....	160

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

NFPA	National Fire Protection Association
IARC	International Agency for Research on Cancer
ASME	American Society Mechanical Engineering
AWS	American Welding Society
API	American Petroleum Institute
ISO	International Standard Organization
ASTM	American Society of Testing Material
AISC	American Institute Steel Construction
ANSI	American National Standard Institute
OSHAS	Occupational Health and Safety Assessment Series
OFW	Soldadura con oxígeno y combustible.
SMAW	Soldadura de arco con electrodo revestido.
SAW	Soldadura de arco sumergido.
GMAW	Soldadura de arco con electrodo metálico y gas de protección.
FCAW	Soldadura de arco con electrodo de corazón de fundente.
GTAW	Soldadura con electrodo de tungsteno y gas de protección.
PAW	Soldadura de arco con plasma.
QW	Calidad de soldadura
WPS	Especificaciones de los procedimientos de soldaduras
SSPC	Steel Structures Painting Council
NACE	National Association of Corrosion Engineers
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
TIG	TungstenInert Gas

SIMBOLOGÍA

m.	Metros
Pa.	Pascal
PSI	Libras por pulgada cuadrada
Gal	Galón
MPa.	Mega Pascales
KPa	Kilo Pascales
mm.	Milímetro
A	Ancho de la placa anular
tb	Espesor de la placa anular
H	Nivel máximo de diseño del líquido
G	Densidad relativa del líquido a almacenar
td	Espesores por condiciones de diseño
tt	Espesor por condiciones de prueba hidrostática
D	Diámetro nominal del tanque
H	Altura de diseño del nivel del líquido
CA	Corrosión Admisible
Sd	Esfuerzo permisible por condiciones de diseño
St	Esfuerzo permisible por condiciones de prueba hidrostática
Sy	Esfuerzo de Cadencia
Sut	Esfuerzo Máxima Tensión
L	Longitud.
b	Ancho.
W	Carga uniformemente repartida sobre la trabe
w'	Carga máxima sobre un larguero crítico incluyendo el peso propio del larguero más pesado
IL	La mitad de la longitud del larguero
n	Número de largueros que se apoyarán sobre la trabe.
Lt	Longitud de la trabe
Cma	Esfuerzo máximo de compresión permisible
Cd	Esfuerzo de cedencia
Cc	Relación de esbeltez limite
E	Módulo de Elasticidad
L	Longitud sin apoyo de la columna
r	Menor radio de giro de la columna mínimo
CS	Coeficiente de seguridad
Ms	Momento de volteo
Z	Coeficiente sísmico
I	Factor de rigidez.
C1C2	Coeficiente de fuerza lateral sísmica
Ws	Peso total del cuerpo del tanque
Xs	Altura desde el fondo del cuerpo tanque al centro de gravedad
Wr	Peso total del techo del tanque más la carga viva

Ht	Altura total del cuerpo tanque
W1	Peso de la masa efectiva contenida en el tanque que se mueve al unirse con el cuerpo del tanque
X1	Altura desde el fondo del cuerpo tanque al centroide de la fuerza lateral sísmica aplicada a W1
W2	Peso de la masa efectiva contenida en el tanque que se mueve en el primer oleaje
X2	Altura desde el fondo del cuerpo tanque al centroide de la fuerza lateral sísmica aplicada a W2
T	Periodo natural de ondulación
S	Condiciones del terreno
Fby	Mínimo esfuerzo de cedencia de la placa del fondo
b	La fuerza máxima de compresión longitudinal en el fondo del cuerpo
Kv	Velocidad del viento en.
wt	Peso lineal soportado sobre el perímetro del tanque
Z	Mínimo módulo de sección requerido
H2	Altura del tanque, incluyendo cualquier longitud adicional
t	Espesor nominal del anillo superior del cuerpos
Mv	Momento de volteo
Pv	Presión del viento
W	Peso del tanque lleno
D	Diámetro nominal del tanque
E	Electrodo arco eléctrico

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1	Rombo de seguridad del Fuel Oil 65
Figura 2.1	Niveles y Volúmenes en Tanque de Almacenamiento. (Tomado de API - 650)..... 16
Figura 2.2	Detalle de Traslape de Planchas del Fondo (tomado de API-650).....20
Figura 2.3	Distribución de largueros33
Figura 2.4	Carga sobre larguero interior LI434
Figura 2.5	Carga sobre larguero exterior LE435
Figura 2.6	Vista lateral de columnas (tomada de API-650).....41
Figura 2.7	Diseños permisibles de perfil de coronamiento47
Figura 2.8	Masas Efectivas (Tomado de API-650)65
Figura 2.9	Distribución de masas efectivas66
Figura 2.10	Centroides de Pesos que pueden Producir Volcamiento cuando existan Movimientos Telúricos66
Figura 2.11	Factor Ks69
Figura 2.12	Zonas sísmicas en el Ecuador.....71
Figura 2.13	Bocatoma de Descarga76
Figura 2.14	Bocatoma de Carga.....80
Figura 3.1	Tipos de Unión (tomada de manual Indura).....95
Figura 3.2	Tipos de Juntas (Tomado de manual Indura)96
Figura 3.3	Posiciones de Soldadura (tomado de Indura)..... 100
Figura 3.4	Proceso SMAW (tomado de Indura)102
Figura 3.5	Esfuerzo longitudinal en fondo del tanque106
Figura 3.6	Selección de Electrodo Óptimo..... 107
Figura 3.7	Rolado de Planchas (tomado de API 650).....112
Figura 3.8	Método Neumático.....114
Figura 3.9	Limpieza con Chorro Abrasivo metal cercano a blanco 120
Figura 3.10	Categorías de corrosión atmosférica por ambiente (tomado de ISO 1294)121
Figura 3.11	Categoría de corrosión atmosférica para agua y suelo 122
Figura 3.12	Durabilidad de Pintura 122
Figura 3.13	Temperaturas de Servicio por Tipo de Pintura124
Figura 4.1	Spots radiográficos 148

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Propiedades Físico - Químicas del Fuel Oil.....4
Tabla 2	Alcance de Norma API 650.....8
Tabla 3	Alcance de Norma AISC8
Tabla 4	Alcance de norma ASME8
Tabla 5	Alcance de norma ASTM9
Tabla 6	Alcance de norma AWS9
Tabla 7	Aceros recomendados en tanques de almacenamiento 12
Tabla 8	Dimensiones Generales del Tanque 15
Tabla 9	Detalle de Capacidades de Almacenamiento 17
Tabla 10	Espesores del Primer anillo20
Tabla 11	Relación Diámetro y Espesor de Pared (Tomado de API-650)....21
Tabla 12	Materiales Permitidos y Esfuerzos Admisibles por Prueba Hidrostática23
Tabla 13	Carga en Cubierta.....31
Tabla 14	Selección de larguero exterior36
Tabla 15	Selección de Larguero Interior37
Tabla 16	Selección de Trabes39
Tabla 17	Selección de Columna Central.....43
Tabla 18	Selección de Columnas Secundarias.....44
Tabla 19	Selección de Perfil de Coronamiento (tomado de API-650).....46
Tabla 20	Ángulo de elevación para escaleras (tomado de API-650, tabla 5- 19).....53
Tabla 21	Entrada de Hombre Lateral.....54
Tabla 22	Dimensión Hombre Lateral55
Tabla 23	Dimensión Hombre Lateral55
Tabla 24	Dimensión Entrada Hombre Techo56
Tabla 25	Selección de Entrada Hombre por el Techo57
Tabla 26	Dimensión de Sumidero.....58
Tabla 27	Selección del Sumidero58
Tabla 28	Factor de Forma ANSI (tomado de norma ANSI)61
Tabla 29	Factor de Ráfagas (tomado de norma ANSI).....61
Tabla 30	Factor de importancia (I) y Grupo Sísmico.....67
Tabla 31	Factores de Modificación68
Tabla 32	Coeficiente SDS71
Tabla 33	Coeficiente SD171
Tabla 34	Relación de Anclaje73
Tabla 35	Relación caudal vs Diámetro de Tubería de Descarga75
Tabla 36	Dimensiones para Bocatomas de descarga.....77
Tabla 37	Selección para Bocatoma de Descarga78
Tabla 38	Dimensiones Bocatoma de Carga79

Tabla 39	Selección de Bocatoma de Carga.....	79
Tabla 40	Composición química del acero A36 (tomada de catálogo IPAC).....	97
Tabla 41	Propiedades del acero ASTM A-36 (tomado de Ciencia de materiales de L. Mangonon)	97
Tabla 42	Tipo de posiciones de soldadura (tomado de manual Indura)	98
Tabla 43	Tipo de recubrimiento de electrodos (tomado de AGA)	99
Tabla 44	Diseño de procedimiento de soldadura.....	101
Tabla 45	Amperajes recomendados electrodo E 6011 (tomado de Indura)....	104
Tabla 46	Amperajes recomendados electrodo E 6013 (tomado de Indura)....	105
Tabla 47	Eficiencia de deposición.....	107
Tabla 48	Factor de Operación	108
Tabla 49	Procedimiento de Soldadura.....	108
Tabla 50	Detalle de presiones para corte de planchas (tomado de AGA)	111
Tabla 51	Detalle de prueba hidrostática	152
Tabla 52	Costo de Planchas.....	154
Tabla 53	Materia prima – Perfiles y Tuberías	154
Tabla 54	Costos Materia Prima Consumibles.....	155
Tabla 55	Costo Corte y Biselado	155
Tabla 56	Costo Rolado	155
Tabla 57	Costo de Preparación Superficial.....	156
Tabla 58	Costo de Pintura	156
Tabla 59	Costos de Transporte.....	157
Tabla 60	Costos Equipos y Herramientales.....	157
Tabla 61	Costos de Personal de Montaje.....	158
Tabla 62	Costo de Pruebas de calidad	158
Tabla 63	Prueba Hidrostática.....	158
Tabla 64	Bomba y Calentador de Succión.....	158
Tabla 65	Resumen General de Costos.....	159
Tabla 66	Costo Total.....	159

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1	Barandas, Escaleras y Escalones D1
Plano 1	Bocatomas y Respiraderos D3
Plano 1	Columnas C3
Plano 1	Cuerpo Estructural C2
Plano 1	Entradas Hombre Superior y Latera D2
Plano 1	Fondo A1
Plano 1	Manto B1
Plano 1	Tanque Medidas generales
Plano 1	Techo C1
Plano 1	Vistas E2

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del siguiente proyecto abarca principalmente lo siguiente:

En el capítulo 1, se describe las generalidades, donde se analiza las características del combustible, es decir las propiedades físicas químicas, además se analiza las condiciones de construcción, así como todo el universo de normas aplicables al tanque con el fin de que cumpla con todos los criterios de calidad y seguridad, como último punto se analizan los materiales a utilizar para la construcción.

En el capítulo 2, se desarrolla todo el diseño del tanque, donde se incluye el diseño de forma general del reservorio, luego se pasa a identificar las cargas presentes en el mismo, para posteriormente analizar los diseños individuales de fondo, manto, cubierta y accesorios tales como accesos, plataformas y venteos. Posteriormente se selecciona el sistema de bombeo tanto como entrada y salida del tanque incluyendo bridas, tuberías, bomba de descarga y por último el cálculo de un calentador de succión que permitirá calentar el fuel oil de modo que bajando su viscosidad facilita el bombeo del mismo.

En el Capítulo 3, se presenta el desarrollo del método constructivo del tanque, donde se selecciona el método de soldadura más adecuado para este reservorio, calificando procedimiento y soldadores.

Se identifica los procesos de corte, rolado y biselado adecuado de las planchas que constituyen cada una de las partes del tanque.

Luego se analiza el método de limpieza y se selecciona el sistema de pintura basado en el catálogo de la compañía Hempel con el fin de garantizar la durabilidad y evitar la corrosión prematura.

En el Capítulo 4, se presenta el desarrollo del montaje del tanque a través del uso de un cronograma de montaje, mostrado mediante un diagrama de Gantt, se detalla el proceso a seguir para realizar el montaje de cada una de las partes principales constituyentes del reservorio.

En este capítulo también se analiza los métodos de control de calidad de la soldadura a través de radiografías y métodos de inspección volumétrica como caja de vacío.

En el Capítulo 5, se presenta el análisis de costos del proyecto, donde se desglosan los rubros a considerar por materiales, construcción, mano de obra, transportación, montaje y pruebas en campo

En el Capítulo 6, se dará las respectivas conclusiones y recomendaciones relacionadas al presente proyecto.

CAPÍTULO 1

1. Generalidades

1.1 Características del Combustible

El Fuel Oil 6 o también llamado “Bunker C” es un combustible residual que se obtiene de la destilación y refinación de hidrocarburos, es por esto que se prioriza su uso en aplicaciones donde el consumo de energía es importante como las aplicaciones navales, generación eléctrica y de hornos cementeros, así como en motores y calderas de industrias de tamaño medio en adelante.

Los términos Fuel-Oil pesado y Fuel-Oil residual son también usados como sinónimos, es un líquido de una viscosidad muy alta y un olor característico que necesita calentamiento para su almacenamiento y combustión.

Contiene compuestos organometálicos debido a la presencia de éstos en el crudo original. Durante la combustión de este fuel en motores y calderas, se pueden formar cenizas de alto punto de

fusión las cuales producen un efecto corrosivo en las piezas mecánicas afectando a largo plazo el desempeño.

Las especificaciones han sido establecidas por organismos internacionales para asegurar la buena utilización en las instalaciones industriales, dichas especificaciones se incluyen la norma ASTM D-396, las propiedades típicas del fuel pesado varían ampliamente en los límites indicados en las especificaciones pero normalmente se espera que estén en el rango indicado en la tabla a continuación mostrada.

TABLA 1
PROPIEDADES FÍSICO - QUÍMICAS DEL FUEL OIL

Propiedades	Unidades	Promedio
Densidad (ρ) @15°C	Kg/m^3	987.4
Punto de Ebullición	°C	171
Punto de Fluidez	°C	30
Punto de Inflamación	°C	85
Calor Especifico(C_p)	$KJ/Kg - K$	1.7
Poder Calorífico Inferior (PCI)	KJ/Kg	40696
Viscosidad Cinemática (ν) @ 50°C	m^2/s	5.2×10^{-4}

El producto es considerado moderadamente tóxico al ser ingerido, el contacto con la piel es ligeramente irritante, no se esperan

efectos significativos en periodos de exposición cortos, es probable la liberación gas sulfuro de hidrogeno espontanea, el cual podría causar irritación en la mucosa nasal y ojos, el contacto prolongado puede ser resultar en absorción de cantidades del material potencialmente peligrosas, en concentraciones por arriba de 300 ppm puede producir parálisis respiratoria.

El calentamiento del producto en procesos industriales entre 177 °C y 982 °C puede liberar hidrocarburos aromáticos polinucleares de los cuales existe suficiente evidencia por la IARC sobre la carcinogenicidad de las breas de alquitrán en humanos y animales.

A continuación se muestra el rombo de seguridad del producto.



Figura 1. 1 Rombo de Seguridad del Fuel Oil 6

1.2 Análisis de Condiciones de Construcción

En la ciudad de Guayaquil es necesario construir un reservorio para hidrocarburos en este caso fuel oíl 6, con capacidad nominal de 220000 galones basado en un estudio previo de demanda energética para satisfacer el consumo estimado de un horno.

El diseño del reservorio está basado en la norma API 650 onceava edición.

La planificación de la construcción del tanque incluye considerar algunos factores, clasificados básicamente en dos tipos:

Demandas del propietario: Obtenidos en base a detalles requeridos por el propietario.

Factores de construcción: El diseño dependerá directamente de estos detalles, tales como:

- Propiedades del fluido a contener
- Espacio físico disponible
- Temperatura de operación
- Modelo del reservorio
- Presión de operación
- Características especiales

Los diseñadores asumen todos estos datos como proporcionados y establecidos por parte del propietario, se los mencionará a medida que el proceso de diseño lo requiera, además se considera que el tanque se encuentra ubicado cercano a una fuente hídrica por lo que el abastecimiento de Fuel Oil hacia el tanque será desde buque cisterna dotado con su propio sistema de bombeo.

1.3 Normas Aplicables

Los códigos de construcción aplicables dependen básicamente del tipo de producto que se desea almacenar y la presión existente en este proceso. Los códigos establecen reglas referentes a todos los aspectos que se consideren necesarios tratar como son el diseño de elementos, selección de materiales, tipos de juntas o recubrimientos, etc.

Estos mismos códigos son desarrollados, revisados y editados por instituciones nacionales o internacionales, como las que se nombran a continuación con su respectivo alcance:

TABLA 2**ALCANCE DE NORMA API 650**

Código	Alcance
Spec 5L	Especificación para tubería de líneas.
STD 620	Diseño y construcción de tanques grandes soldados, de baja presión.
RP 652	Recubrimientos de los fondos de tanques.
STD2000	Venteo de tanques de almacenamiento atmosféricos y de baja presión (No-refrigerados y Refrigerados).
RP 2003	Protección contra las igniciones ocasionadas por rayos, y corrientes estáticas y parásitas.
RP 2350	Protección de sobre-llenado para tanques de almacenamiento en instalaciones petroleras.

TABLA 3**ALCANCE DE NORMA AISC**

Código	Alcance
ASD.	Manual de construcción de acero. Diseño por esfuerzos admisibles (Allowable Stress Design).

TABLA 4**ALCANCE DE NORMA ASME**

Código	Alcance
B1.20.1	Roscas en tuberías, propósito general.
B16.5	Bridas y accesorios bridados de tuberías.
Sección V	Ensayos no destructivos.
Sección IX	Calificación de soldaduras y "brazing".

TABLA 5
ALCANCE DE NORMA ASTM

A - 36	Acero estructural
A - 53	Acero al carbono para componentes de tuberías.
A - 106	Acero de bajo carbono para tubería de alta temperatura de servicio

TABLA 6
ALCANCE DE NORMA AWS

Código	Alcance
A5.1	Especificación de electrodos revestidos de acero al carbono para soldadura de arco.
A5.5	Especificación de electrodos revestidos de acero de baja aleación para soldadura de arco.

La norma API-650 contempla el diseño de tanques construidos con láminas de acero soldado de varios tamaños y capacidades, con presiones internas pequeñas (atmosférica o algo superior). Se aplica en tanques verticales cilíndricos, construidos sobre el nivel del piso con techo cerrado o cielo abierto, cuya presión no sea mayor que 2.5 PSI.

Esta norma solo se aplica a tanques cuyo fondo es totalmente soportado uniformemente y a tanques de servicio no refrigerado con una temperatura máxima de operación de 90°C.

Esta norma suministra los parámetros de construcción de tanques para petróleo, derivados y otros sub-productos para que sean construidos con seguridad y costos razonables. No limitan el tamaño de los tanques.

Los estándares ASTM especifican algunos de los materiales aceptables para este tipo de tanques, ASTM A-36 para planchas de un espesor de hasta 40 mm. Los perfiles estructurales utilizados tanto para la cubierta como para los accesos deben de cumplir con los estándares ASTM A-36 y AISC.

Las reglas del código API-650 no son aplicables fuera de los límites de las tuberías conectadas interna o externamente al techo, cuerpo o fondo del tanque.

1.4 Materiales

El proceso de selección de los materiales a utilizar en la construcción de un tanque de almacenamiento requiere un análisis detallado basado en las condiciones de operación del tanque, aspectos económicos y medio ambientales.

Se debe considerar la compatibilidad de los materiales, sus propiedades mecánicas y factores físicos relevantes que incidan directamente sobre el comportamiento del material como son temperatura y presión de operación, agentes químicos, entre otros.

Adicional a esto se debe considerar otros factores como son la disponibilidad de los materiales, y sus facilidades de manipulación y mantenimiento, el conjunto de todos estos factores determinará la vida útil del tanque.

Se utilizan materiales sujetos a las limitaciones indicadas en API 650 o códigos similares siempre que cumplan con todos los requisitos y sea una especificación aceptada y aprobada por el comprador.

A continuación se muestra una tabla donde se enlistan los principales materiales que pueden ser utilizados en la construcción de tanques de almacenamiento con usos recomendados.

TABLA 7
ACEROS RECOMENDADOS EN TANQUES DE
ALMACENAMIENTO

A283	Acero al carbono baja e intermedia resistencia; barras, perfiles y planchas, máximo espesor 25 mm.
A36	Acero estructural, máximo espesor 37 mm.
A131	Acero estructural uso naval, Grados A, B, CH, EH.
A573	Planchas acero estructural de mayor dureza, grados 58,65 y 70, máximo espesor 37 mm.
A662	Planchas para recipientes a presión, aleación carbono manganeso, servicio a bajas temperaturas, grados B y C, espesor máximo 37 mm.
A737	Planchas de acero de alta resistencia y baja aleación, grado B, uso en recipientes a presión.

Las láminas deben de tener tratamientos térmicos como revenidos o templados y ser acero calmado, fabricado con prácticas de grano fino, para cualquiera de los casos los espesores reales medidos no deben tener diferencias mayores a las 0.25 mm del espesor calculado.

Se debe de realizar prueba de impacto a todas las planchas o laminas constitutivas del fondo, manto, refuerzos y accesorios, siempre que la combinación de espesor temperatura este por debajo de la línea referencial del grupo de materiales que se encuentra en el apéndice C de la norma API.

Las uniones bridadas deben ser en acero al carbono con propiedades físicas mínimas requeridas en el estándar ASME B16.5, para la selección de tuberías, acoplamientos y forjados API recomienda el uso de acero en calidad ASTM A-105 y ASTM A-106 grados A y B.

CAPÍTULO 2

2. DISEÑO DEL TANQUE

Para definir el diseño de tanques de almacenamiento el usuario deberá de facilitar la información básica necesaria para condiciones de diseño y operación, es decir datos como el volumen, temperatura de operación, densidad relativa del fluido a almacenar, corrosión permisible, zona sísmica y velocidad del viento, dado que es este el que conoce con exactitud las características del fluido y lugar exacto donde se va a ubicar el tanque. El fabricante no deberá de asumir bajo ningún concepto estas condiciones.

El usuario podrá especificar los materiales a utilizar tanto en el tanque como accesorios, pero es el fabricante quien deberá recomendar los materiales para que el usuario los apruebe.

En este capítulo se procederá a analizar todos los aspectos relacionados al diseño del tanque en el cual se almacenará 220.000 galones de Fuel Oil 6.

2.1 Diseño de Forma

El reservorio será de forma cilíndrica vertical constituido por el fondo plano completamente asentado en el suelo, el manto tendrá espesores variables de ser necesario debido a las cargas hidrostáticas existentes, y poseerá una cubierta cónica formada por perfiles estructurales.

Existe una relación de diseño óptima entre el diámetro, la altura y la capacidad de almacenamiento del tanque. La norma provee los espesores adecuados dependiendo del dimensionamiento que se utilice, donde el diámetro exterior del tanque será de 11897 mm, tendrá una altura del manto de 7500 mm y una capacidad de almacenamiento total incluyendo la protección de sobrellenado de 220000 galones, para así de esta manera tener el mayor aprovechamiento de planchas y reducir los desperdicios. Las planchas utilizadas serán en acero ASTM A-36 existentes en stock nacional.

TABLA 8

DIMENSIONES GENERALES DEL TANQUE

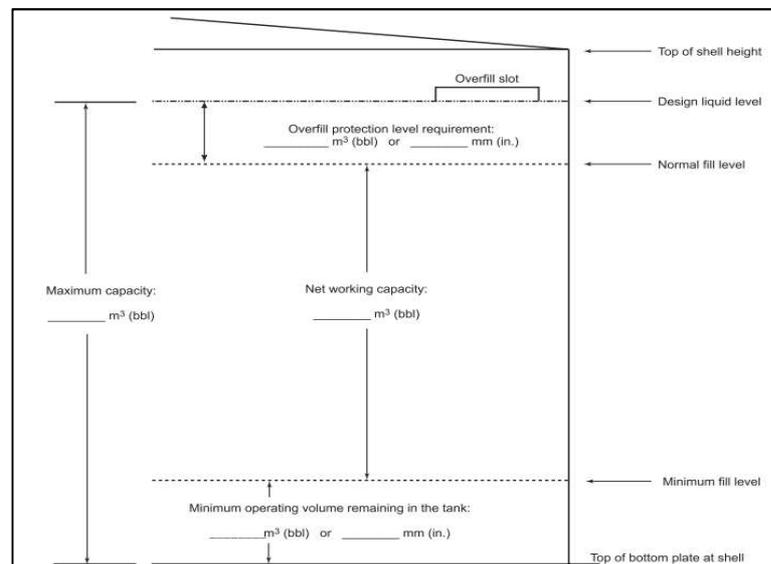
Diámetro exterior	11897 mm.
Diámetro del fondo	12000 mm.
Diámetro interno	11885 mm.
Diámetro nominal	11891 mm.
Altura del Manto	7500 mm.
Capacidad de almacenamiento máxima	220000 gal
Material	ASTM A36

Capacidad del Tanque (Consideraciones Especiales).

El usuario deberá especificar la capacidad máxima y el nivel de protección de sobrellenado requerido.

La capacidad máxima es el volumen de producto en un tanque cuando el tanque se llena a su nivel de diseño.

La capacidad de trabajo neto es el volumen de producto disponible bajo condiciones de funcionamiento normales. La capacidad de trabajo en red es igual a la capacidad máxima menos el volumen mínimo de funcionamiento en el depósito y menos el nivel de protección de sobrellenado.



Elaborado por: Marlon Cabrera – Luiggi Solís

Figura 2. 1 Niveles y Volúmenes en Tanque de Almacenamiento. (Tomado de API - 650)

Los niveles se encuentran detallados en la tabla a continuación mostrada

TABLA 9
DETALLE DE CAPACIDADES DE ALMACENAMIENTO

Capacidad Máxima	220000
Nivel de llenado normal	210000
Nivel de protección de sobrellenado	10000
Nivel mínimo (2,5% de capacidad máxima)	5500
Capacidad de trabajo en Red	204500
Amortiguador de consumo diario (3% de capacidad máxima)	6600

2.2 Identificación de Cargas

Las cargas que actuarán sobre el tanque son:

- Carga del viento
- Carga Sísmica
- Presión hidrostática
- Carga muerta debido a su propio peso.

Estas a su vez se pueden combinar para lo cual el tanque estará sometido a:

- Cargas muerta + Viento
- Cargas muerta + hidrostática
- Cargas muerta + hidrostática + Viento

- Cargas muerta + hidrostática + Sismo.

Estas combinaciones serán analizadas en puntos inferiores, cuando se detalle el proceso de diseño para análisis de falla por vientos con la norma ANSI y para el análisis de falla sísmica con la API 650, estos datos permitirán diseñar de forma correcta el sistema de anclaje del tanque.

2.3 Diseño del Fondo

El diseño del fondo de los tanques de almacenamiento depende de ciertas consideraciones que se debe tomar en cuenta como son los cimientos utilizados para soportar el tanque, la forma que se utilizará para desalojar el producto, la sedimentación de sólidos en suspensión, la corrosión del fondo y el tamaño mismo del tanque.

Los fondos de los tanques cilíndricos verticales son generalmente diseñados con planchas de acero de espesor menor al utilizado en el cuerpo. Esto se logra debido a que debajo del fondo se coloca una capa base que puede ser de concreto, arena o asfalto, las cuales soportarán el peso de la columna de producto a almacenar.

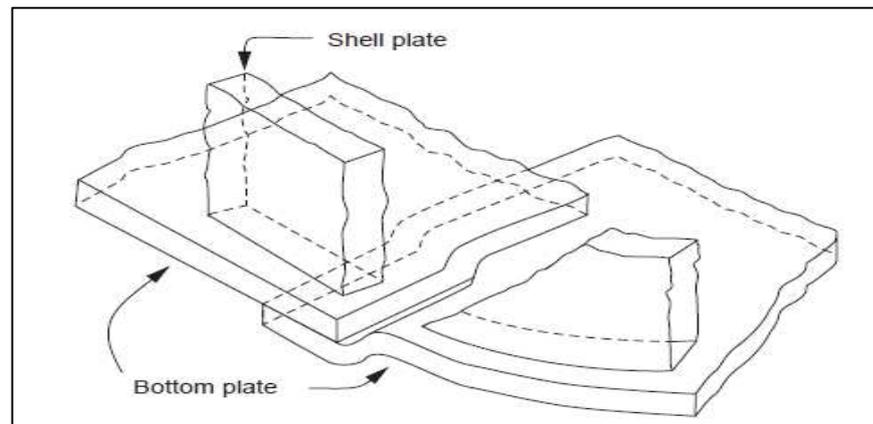
El fondo además debe lograr la hermeticidad del producto por la base para evitar derramamiento del mismo.

Debido a la presencia de esfuerzos térmico al momento de soldar las planchas y por ende deformaciones se utilizan planchas con

espesores mínimos de 6mm para limitar al mínimo cualquier indicio de corrosión que pueda presentarse.

El fondo tendrá que ser de un diámetro por lo menos 51 mm mayor que el diámetro exterior del cuerpo, las planchas pueden ser soldadas a tope con placas de respaldo con biseles en "V" pero comúnmente se lo hace con un traslape mínimo de 40 mm con el fin de absorber las deformaciones producidas por flexión y compresión.

Siempre la unión de dos planchas tiene que estar a una separación mínima de 300 mm con una unión contigua o a la pared del tanque. Es conveniente utilizar las planchas más largas disponibles en el mercado que se puedan manipular en campo o taller sin inconvenientes, ya que estas resultan ser las más económicas debido a que si estas descansan de forma simétrica con respecto a las líneas de centro del tanque el número de planchas empleadas durante la construcción se reduce al mínimo.



**Figura 2. 2 Detalle de Traslape de Planchas del Fondo
(tomado de API-650)**

Cálculos para el diseño del fondo

Espesor del primer anillo: 6mm < 19 mm

**TABLA 10
ESPESORES DEL PRIMER ANILLO**

Espesor Mínimo (mm.) del Primer Anillo del Cuerpo	Esfuerzo Calculado para Prueba Hidrostática en el Primer Anillo del Cuerpo (MPa)			
	<190	<210	<230	<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

$$S_h = \frac{4.9D(H - 0.3)}{t}$$

$$S_h = \frac{4.9(11891)(7500 - 0.3)}{6}$$

$$S_h = 72,83 \text{ MPa}$$

$$72,83 \text{ MPa} < 190 \text{ MPa}$$

Dónde:

$D = \text{Diámetro nominal del tanque en mm}$

$H = \text{Altura del tanque en mm}$

$t = \text{Espesor de plancha en mm basado en la tabla 10}$

De acuerdo con lo especificado en la tabla anterior el espesor mínimo de las planchas utilizadas en el fondo del tanque es de 6mm.

2.4 Diseño del Manto

El cálculo del espesor de las paredes del tanque se basa en la resistencia que debe ofrecer a la carga hidrostática producida por el fluido contenido, este valor debe de ser mayor que el obtenido por condiciones de diseño o prueba hidrostática pero a su vez debe de cumplir con condiciones mínimas establecidas en la siguiente tabla y que tienen como referencia a la norma API 650.

TABLA 11
RELACIÓN DIÁMETRO Y ESPESOR DE PARED
(TOMADO DE API-650)

Diámetro Nominal	Espesor Mínimo
<15.24 m.	4,76 mm.
15.24 < 36.576 m.	6,35 mm.
36,576 < 60,96 m.	7,93 mm.
> 60,96 m.	9,52 mm.

El cálculo del espesor de pared basado en condiciones de diseño toma como referencia la densidad relativa del fluido mientras que el basado en prueba hidrostática se refiere a la densidad relativa del agua.

El esfuerzo calculado por prueba hidrostática para cada anillo no deberá ser mayor que el permitido por el material y su espesor no será menor que el de los anillos subsecuentes.

El esfuerzo calculado por prueba hidrostática se muestra en tabla 12 recomendada por la norma.

TABLA 12
MATERIALES PERMITIDOS Y ESFUERZOS ADMISIBLES POR
PRUEBA HIDROSTÁTICA

5-12		API STANDARD 650			
Table 5-2—Permissible Plate Materials and Allowable Stresses					
Plate Specification	Grade	Minimum Yield Strength MPa (psi)	Minimum Tensile Strength MPa (psi)	Product Design Stress S_d MPa (psi)	Hydrostatic Test Stress S_t MPa (psi)
ASTM Specifications					
A 283M (A 283)	C (C)	205 (30,000)	380 (55,000)	137 (20,000)	154 (22,500)
A 285M (A 285)	C (C)	205 (30,000)	380 (55,000)	137 (20,000)	154 (22,500)
A 131M (A 131)	A, B, CS (A, B, CS)	235 (34,000)	400 (58,000)	157 (22,700)	171 (24,900)
A 36M (A 36)	—	250 (36,000)	400 (58,000)	160 (23,200)	171 (24,900)
A 131M (A 131)	EH 36 (EH 36)	360 (51,000)	490 ^a (71,000 ^a)	196 (28,400)	210 (30,400)
A 573M (A 573)	400 (58)	220 (32,000)	400 (58,000)	147 (21,300)	165 (24,000)
A 573M (A 573)	450 (65)	240 (35,000)	450 (65,000)	160 (23,300)	180 (26,300)
A 573M (A 573)	485 (70)	290 (42,000)	485 ^a (70,000 ^a)	193 (28,000)	208 (30,000)
A 516M (A 516)	380 (55)	205 (30,000)	380 (55,000)	137 (20,000)	154 (22,500)
A 516M (A 516)	415 (60)	220 (32,000)	415 (60,000)	147 (21,300)	165 (24,000)
A 516M (A 516)	450 (65)	240 (35,000)	450 (65,000)	160 (23,300)	180 (26,300)
A 516M (A 516)	485 (70)	260 (38,000)	485 (70,000)	173 (25,300)	195 (28,500)
A 662M (A 662)	B (B)	275 (40,000)	450 (65,000)	180 (26,000)	193 (27,900)
A 662M (A 662)	C (C)	295 (43,000)	485 ^a (70,000 ^a)	194 (28,000)	208 (30,000)
A 537M (A 537)	1 (1)	345 (50,000)	485 ^a (70,000 ^a)	194 (28,000)	208 (30,000)
A 537M (A 537)	2 (2)	415 (60,000)	550 ^a (80,000 ^a)	220 (32,000)	236 (34,300)
A 633M (A 633)	C, D (C, D)	345 (50,000)	485 ^a (70,000 ^a)	194 (28,000)	208 (30,000)
A 678M (A 678)	A (A)	345 (50,000)	485 ^a (70,000 ^a)	194 (28,000)	208 (30,000)
A 678M (A 678)	B (B)	415 (60,000)	550 ^a (80,000 ^a)	220 (32,000)	236 (34,300)
A 737M (A 737)	B (B)	345 (50,000)	485 ^a (70,000 ^a)	194 (28,000)	208 (30,000)
A 841M (A 841)	Class 1 (Class 1)	345 (50,000)	485 ^a (70,000 ^a)	194 (28,000)	208 (30,000)
A 841M (A 841)	Class 2 (Class 2)	415 (60,000)	550 ^a (80,000 ^a)	220 (32,000)	236 (34,300)

Para el diseño de manto del tanque se va a utilizar el método de un pie, este método es aplicable en tanques de diámetro menor o igual a 60m., con este método se calcula el espesor requerido basado en condiciones de diseño y de prueba hidrostática, estableciendo una sección transversal ubicada a 304.8 mm es decir 1 pie por debajo de la unión de cada anillo del tanque. Para tanques con un diámetro mayor que este, se debe utilizar otro método que es

conocido como el método de diseño del punto variable, el cual no es tema de estudio para este caso.

Cálculos para el diseño de pared.

Se procede a calcular el número de anillos necesarios en el cuerpo del tanque, para lo cual se tomará como dimensiones de la plancha 6000 mm x 1500 mm para espesores desde 4 a 12 mm.

$$N = \frac{H}{w} = \frac{7500 \text{ mm}}{1500 \text{ mm}} = 5$$

Dónde:

$N = \text{numero de anillos}$

$H = \text{Altura del tanque}$

$w = \text{Ancho de plancha}$

El método de un pie consiste en seleccionar el mayor valor entre las ecuaciones:

$$T_d = \frac{4.9D(H - 0.3)G}{S_d} + CA$$

$$T_t = \frac{4.9D(H - 0.3)}{S_t}$$

Dónde:

$T_d = \text{Espesor por condiciones de diseño en mm.}$

$T_t = \text{Espesor por condiciones de prueba hidrostática en mm}$

$D = \text{Diametro nominal del tanque}$

$H = \text{Altura de diseño del tanque}$

$G =$ Densidad relativa del fluido a almacenar

$CA =$ Índice de corrosión admisible determinada por el usuario.

$S_d =$ Esfuerzo permisible por condiciones de diseño en MPa

$S_t =$ Esfuerzo permisible por condiciones de prueba hidrostática en MPa

Las ecuaciones para calcular los valores de S_d y S_t son las siguientes:

$$S_d < \left(\frac{2S_y}{3}\right) \text{ ó } \left(\frac{2S_{\mu t}}{5}\right)$$

$$S_t < \left(\frac{2S_y}{4}\right) \text{ ó } \left(\frac{3S_{\mu t}}{7}\right)$$

Donde se escogerá el menor valor para ambos casos. Los valores de S_y y $S_{\mu t}$ depende del material, para el acero ASTM A-36 son los siguientes:

$$S_y = 250 \text{ MPa}$$

$$S_{\mu t} = 400 \text{ MPa}$$

Cálculos para el primer anillo

$$S_d = \left(\frac{(2)(250)}{3}\right) = 167 \text{ MPa}$$

$$S_d = \left(\frac{(2)(400)}{5}\right) = 160 \text{ MPa}$$

Por lo tanto $S_d = 160 \text{ MPa}$

$$S_t = \left(\frac{(2)(250)}{4}\right) = 125 \text{ MPa}$$

$$S_t = \left(\frac{(3)(400)}{7}\right) = 171 \text{ MPa}$$

Por lo tanto $S_t = 125 \text{ MPa}$

$$T_d = \frac{4.9(11.891)(7.5 - 0.3)(0.987)}{160} + 1.6$$

$$T_d = 4.19 \text{ mm}$$

$$T_t = \frac{4.9(11.891)(7.5 - 0.3)}{125}$$

$$T_t = 3.36 \text{ mm}$$

El espesor resultante será el mayor valor entre el espesor por condiciones de diseño y el espesor por carga hidrostática, para este caso ese valor es por condiciones de diseño, por ende este servirá para proceder a calcular los anillos restantes.

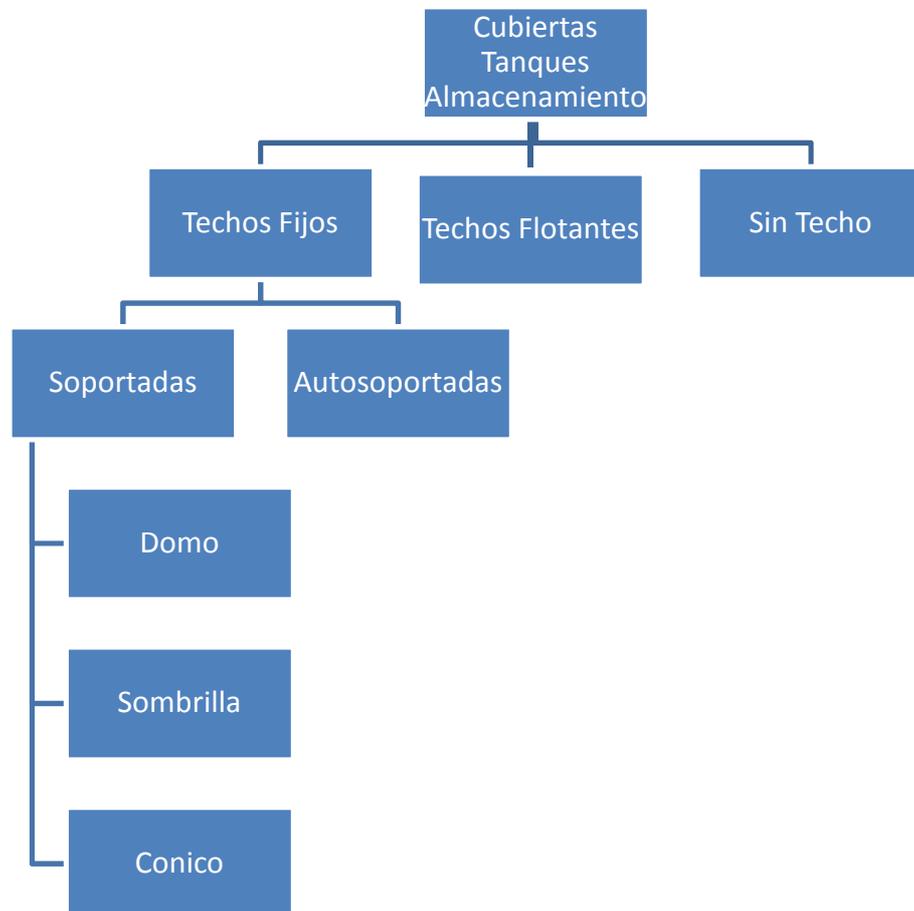
Una vez redondeado el valor del espesor de la placa para el primer anillo da como resultado un espesor de 5 *mm*, pero la norma establece que el mínimo espesor a utilizar en planchas es de 6 *mm* para evitar deformaciones por soldadura.

Como el espesor de los anillos subsecuentes es menor que del primer anillo debido a que la presión hidrostática disminuye conforme la altura aumenta, se establece que el espesor para todo el manto del tanque es de 6 *mm*.

2.5 Diseño de la Cubierta

Los tanques de almacenamiento pueden estar provistos de diferentes tipos de cubierta según sea la necesidad o en su defecto

no tenerla, así de esta manera se puede ordenar una división según su tipo. Básicamente se tiene dos tipos de cubiertas, de techos fijos y de techos flotantes, y a su vez se puede sub-dividir las cubiertas de techos fijos en: Soportadas y Auto-soportadas, las cuales también pueden ser según la forma que presentan en: Cónica, Domo o de Sombrilla. Así se tiene:



Los techos fijos son nombrados así debido a que poseen una estructura fija que no se desplaza con el nivel del fluido que contiene.

Soportados porque existe una estructura que puede ser una o varias columnas que lo sostienen.

Auto soportado si están apoyados únicamente en su periferia de modo que su forma geométrica en combinación con los espesores de las planchas que lo conforma tenga la capacidad de absorber todas las cargas presentes.

Son de tipo domo si presentan forma de un casquete esférico, cónicos si su forma es un cono recto y de tipo sombrilla si su forma es la de un polígono regular que se extiende por la ordenada.

En cualquiera de los tipos anteriores mencionados el espesor de la plancha a utilizar no puede ser menor que 5 mm por recomendaciones de la norma.

Independientemente de la forma o el método de soporte, los techos son diseñados para soportar una carga viva de por lo menos 1.8 KPa , más la carga muerta ocasionada por su propio peso. Todos los miembros estructurales internos y externos de techos soportados tendrán un espesor mínimo nominal de 5 mm .

Los techos cónicos soportados se usan generalmente para tanques de considerable diámetro, los cuales consisten en un cono formado a partir de placas soldadas a traslape, soportadas por una estructura, compuesta de columnas, traveses y largueros. Las traveses formarán polígonos regulares múltiplos de cinco y en cada arista de estos se colocará una columna. Los polígonos compuestos por traveses se encargarán de soportar los largueros.

Las placas del techo se sujetarán a un ángulo colocado en la parte superior del tanque llamado también anillo de coronamiento, sujeto con un cordón de soldadura continuo sólo por la parte superior.

Las juntas de las placas del techo estarán soldadas a traslape por la parte superior con un filete continuo a lo largo de la unión, la cual tendrá un ancho igual al espesor de las placas.

El diseño y cálculo de la estructura involucra los esfuerzos de flexión y corte, producidos por una carga uniformemente repartida ocasionada por el peso de las placas del techo, traveses y largueros, debido a lo cual las placas del techo se consideran vigas articuladas.

Las columnas para soportar la estructura del techo se seleccionan a partir de perfiles estructurales, o puede usarse tubería de acero sin costura.

Para el caso de este tanque se va a utilizar una cubierta de techo fijo cónico soportada, debido a que es una cubierta versátil, de fácil instalación y comúnmente utilizada en este tipo de tanques.

A continuación se detallará el proceso de diseño de la cubierta, se establece que el espesor del techo es de 5 mm . debido a que no existen esfuerzos considerables, ya que una cubierta de 0.35 mm en teoría sería capaz de soportar la carga viva en el techo, la pendiente será de 0.063 mm .

La separación máxima entre los largueros exteriores será de 1915 mm . y en los interiores será de 1676 mm ., el largo máximo será de 7300 mm .

Se Define además utilizar planchas de $6000 \times 1500 \times 5\text{ mm}$ como cobertura del techo. Para tal efecto se considerará una carga viva de 1.2 KPa y una carga por el peso propio del techo de 385 Pa dando de esta forma una carga total de 1585 Pa según

sugerencia de la norma mostrada en la tabla a continuación señalada.

TABLA 13
CARGA EN CUBIERTA

Espesor del techo (mm)	Peso del Techo (P_a)	Carga Viva (P_a)	Carga Total (P_a)
5	385	1200	1585
6	462	1200	1662
8	616	1200	1816
10	770	1200	1970
12	924	1200	2124

Se determina la cantidad de largueros exteriores a través de la fórmula.

$$N_e = \frac{(\pi)(D_e)}{SLE}$$

Dónde:

N_e = número de largueros exteriores

D_e = diámetro exterior en mm.

SLE = máxima separación de largueros exteriores en mm.

$$N_e = \frac{(\pi)(11897)}{1915}$$

$$N_e = 20$$

Debe existir una distribución uniforme de largueros, basada en un polígono regular, al ser 20 largueros exteriores se escoge una distribución pentagonal para así tener 4 largueros por trabe.

La relación utilizada entre el diámetro nominal y el diámetro del círculo donde circunscribirá el pentágono es de 3 a 1, de esta forma se determinarán la distribución de los largueros internos con los menores esfuerzos, peso y costos.

$$D_{ip} = \frac{D}{3}$$

Dónde:

D_{ip} = diámetro inscrito del polígono en mm.

D = diámetro nominal del tanque en mm.

$$D_{ip} = \frac{11891}{3} = 3964 \text{ mm}$$

Ahora se procede a calcular el diámetro circunscrito del polígono.

$$D_{cp} = \frac{D_{ip}}{\cos\left(\frac{\pi}{n}\right)}$$

Dónde:

D_{cp} = diámetro circunscrito del polígono en mm.

n = número de lados del polígono

$$D_{cp} = \frac{3964}{\cos\left(\frac{180}{5}\right)} = 4900 \text{ mm}$$

Cálculo de largueros

$$nli = \frac{(\pi)(D_{cp})}{SLI}$$

Dónde:

nli = numero de largueros interiores

SLI = maxima separación de largueros interiores en mm.

$$nli = \frac{(\pi)(4900)}{1676} = 9.18 \cong 10$$

A continuación se muestra la distribución obtenida de los largueros interiores y exteriores.

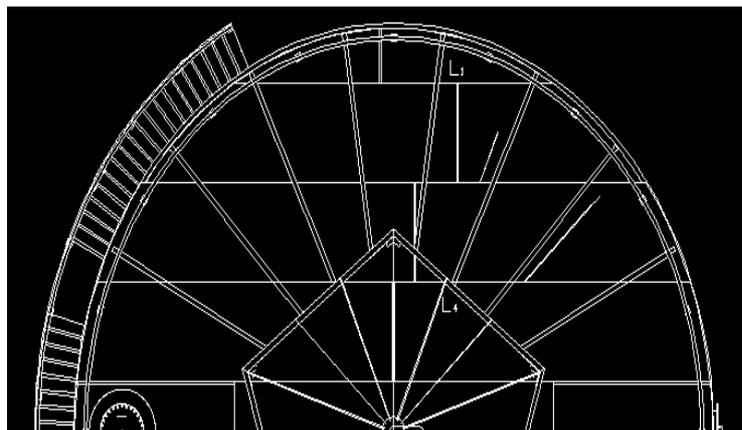


Figura 2. 3 Distribución de largueros

Se muestra que los largueros de mayor longitud son los largueros L_{E1} y L_{I4} considerando la pendiente de 0.063 mm que estos tienen las longitudes reales serian:

$$L_{E1} = \frac{D}{(3)[\cos(\tan^{-1} 0.063)]}$$

$$L_{E1} = \frac{11891}{(3)[\cos(\tan^{-1} 0.063)]} = 3972 \text{ mm}$$

$$L_{I4} = \frac{D}{(6)[\cos(\tan^{-1} 0.063)]}$$

$$L_{I4} = \frac{11891}{(6)[\cos(\tan^{-1} 0.063)]} = 1986 \text{ mm}$$

Los largueros soportan una carga que es directamente proporcional al área que soporta de forma individual.

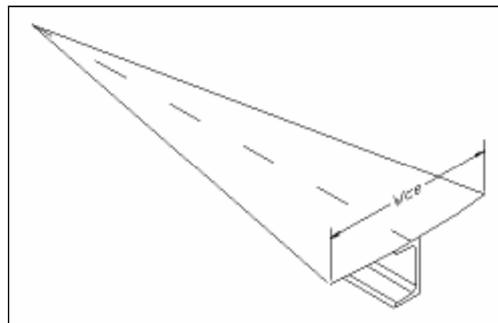


Figura 2. 4 Carga sobre Larguero Interior L_{I4}

El ancho promedio que soporta el larguero interior es:

$$W_{ci} = \frac{(\pi)(D_{ip})}{nli}$$

$$W_{ci} = \frac{(\pi)(3964)}{10}$$

$$W_{ci} = 1245 \text{ mm para } L_{I4}$$

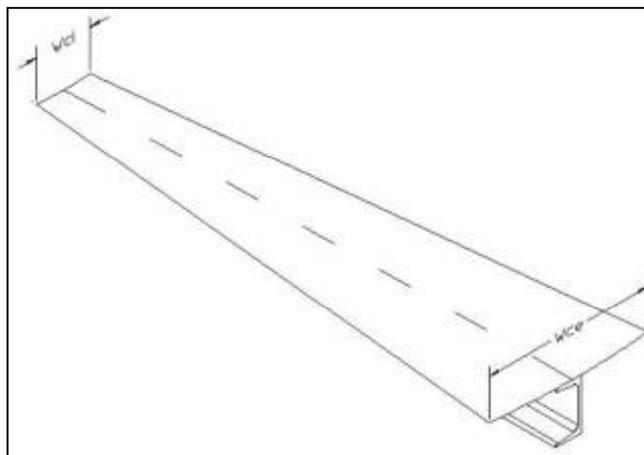


Figura 2. 5 Carga sobre Larguero Exterior L_{E4}

El ancho promedio que soporta el larguero exterior es:

Entonces el ancho promedio de la separación de los largueros es:

$$W_m = \frac{(W_{ci} + W_{ce})}{2}$$

$$W_m = \frac{1245 + 1245}{2}$$

$$W_m = \frac{2490}{2}$$

$$W_m = 1245 \text{ mm}$$

Luego se procede a calcular la carga del larguero L_{E1}

$$\omega = (C_v + C_m)W_m$$

$$\omega = (1585 \text{ Pa})(1245)$$

$$\omega = 1973 \text{ N/m}$$

Ahora se procederá a establecer el perfil estructural más apropiado para ser utilizado como larguero.

TABLA 14
SELECCIÓN DE LARGUERO EXTERIOR

Tipo de Perfil	Correa G
Dimensiones (mm)	200 x 75 x 25 x 5
Material	ASTM A-36
Peso Lineal	1.47 N/m
Momento de Inercia	129.62 cm^4
Módulo de resistencia de la sección y-y (W_y)	2.5 x 10 ⁻⁵ m^3

Por lo tanto:

$$\omega' = 1973 + 1.47 = 1974.47 \text{ N/m}$$

$$R_{E1} = \frac{\omega' L_{E1}}{2} = \frac{(1974.47)(3.972)}{2} = 3.92 \text{ KN}$$

$$M_{E1\max} = \frac{\omega' L_{E1}^2}{8} = \frac{(1974.47)(15.78)}{8} = 3.89 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$S_{E1\max} = \frac{M_{E1\max}}{W_y} = \frac{3.89}{2.5 \times 10^{-5}} = 155.6 \text{ MPa}$$

$$\eta = \frac{S_y}{S_{E1\max}} = \frac{250 \text{ MPa}}{155.6 \text{ MPa}} = 1.6$$

Donde η es el factor de seguridad, el cual siempre debe ser mayor que 1 para garantizar que el perfil soportará la carga.

Se efectúan el mismo procedimiento de cálculo para el larguero L_{I4} , que corresponde al larguero interno de mayor longitud.

TABLA 15

SELECCIÓN DE LARGUERO INTERIOR

Tipo de Perfil	Correa G
Dimensiones (mm)	100 x 50 x 25 x 5
Material	ASTM A-36
Peso Lineal	0.87 N/m
Momento de Inercia	36,52 cm^4
Módulo de resistencia de la sección y-y (W_y)	1.2 $\times 10^{-5} \text{m}^3$

Por lo tanto:

$$\omega' = 1973 + 0.87 = 1973.87 \text{ N/m}$$

$$R_{I4} = \frac{\omega' L_{I4}}{2} = \frac{(1973.87)(1.986)}{2} = 1.96 \text{ KN}$$

$$M_{I4max} = \frac{\omega' L_{I4}^2}{8} = \frac{(1973.87)(1.986)^2}{8} = 0.973 \text{ KN} - m$$

$$S_{I4max} = \frac{M_{I4max}}{W_y} = \frac{0.973}{1.2 \times 10^{-5}} = 81 \text{ MPa}$$

$$\eta = \frac{S_y}{S_{I4max}} = \frac{250}{81} = 3$$

Cálculo de traves

Los traves son los elementos estructurales de la cubierta que cumplen con la función de soportar las cargas concentradas producidas por los largueros tanto exteriores como interiores, en conjunto forman un polígono regular inscrito dentro del tanque, deberán siempre existir por lo menos 4 largueros que lleguen a cada trave, sino en su defecto se deberán considerar para el cálculo como vigas con cargas puntuales.

Los traves tienen la misma metodología de cálculo que los largueros para determinar el perfil óptimo y el módulo de sección requerido, se calculan de la siguiente manera:

$$W = \frac{\omega' I_L n}{L_t}$$

Dónde:

$W = \text{carga uniforme sobre el trabe}$

$\omega' = \text{carga sobre larguero critico incluyendo peso propio.}$

$I_L = \text{media longitud del larguero}$

$n = \text{numero de largueros apoyados sobre el trabe}$

$L_t = \text{longitud del trabe}$

Se procede con el cálculo del perfil adecuado para el trabe. La longitud del trabe en un arreglo pentagonal viene dada por la expresión:

$$L_t = (D_{ip}) \tan \frac{\pi}{n}$$

$$L_t = (3964) \tan \left(\frac{\pi}{5} \right) = 2880 \text{ mm}$$

Se selecciona el perfil, que en este caso será un tubo rectangular de 100x50x5 con las siguientes características:

TABLA 16
SELECCIÓN DE TRABES

Tipo de Perfil	Tubo Cuadrado
Dimensiones (mm)	180 x 80 x 5
Material	ASTM A-36
Peso Lineal	19.12 Kg/m – 1.95 N/m
Momento de Inercia	272cm ⁴
Módulo de resistencia de la sección y-y (W_y)	6.8 x 10 ⁻⁵ m ³

Entonces se tiene que la carga sobre el larguero incluyendo su propio peso será:

$$\omega' = 1974.47 \text{ N/m}$$

$$I_{L1} = \frac{3972}{2} = 1986 \text{ mm}$$

$$W = \frac{\omega' I_L n}{L_t} = \frac{(1974.47)(1986)(6)}{2880} = 8.17 \text{ KN/m}$$

Se aplica la misma metodología de cálculo usada en los largueros.

$$R_t = \frac{W L_t}{2} = \frac{(8.17)(2.88)}{2} = 11.76 \text{ KN}$$

$$M_{tmax} = \frac{W L_t^2}{8} = \frac{(8.17)2.88^2}{8} = 8.47 \text{ KN} - m$$

$$S_{tmax} = \frac{M_{tmax}}{W_{yt}} = \frac{8.47}{6.8 \times 10^{-5}} = 125 \text{ MPa}$$

$$\eta = \frac{S_y}{S_{tmax}} = \frac{250}{125} = 2$$

Con este valor de factor de seguridad se demuestra que el perfil sobrepasa ampliamente los esfuerzos existentes.

Cálculo de Columnas.

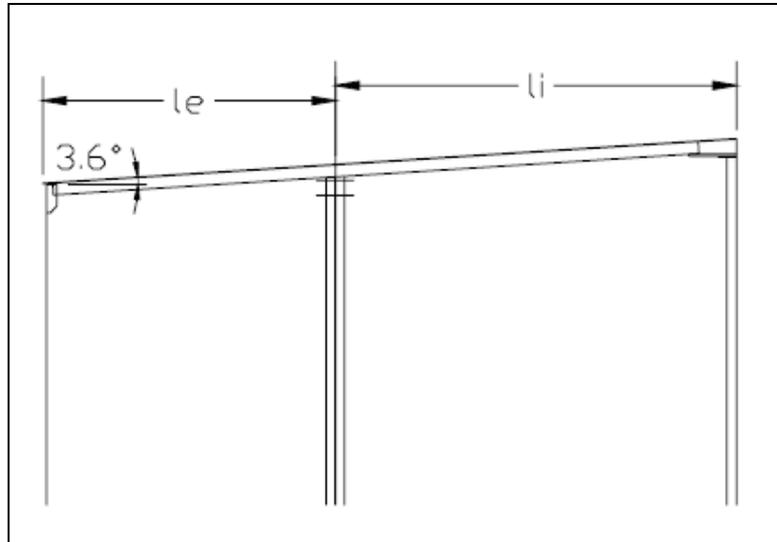


Figura 2. 6 Vista lateral de columnas (tomada de API-650)

Debido a la geometría del tanque es necesario colocar una columna central y 5 columnas de apoyo en cada uno de los vértices del pentágono que forman los traveses.

Se pueden considerar perfiles estructurales o tuberías para formar las columnas, en este caso se considera la utilización de una tubería sin costura en cada una de las columnas.

Las longitudes de las columnas vienen dadas en función de la pendiente de 0.063 mm que tiene el techo, así de esta forma se tiene:

Longitud columna central: 7881 mm

Longitud columnas del polígono: 7688 mm

Se procede a calcular el radio de giro de las columnas mediante la expresión:

$$r = \frac{L_C}{180}$$

Para la columna central se tiene:

$$r_{cc} = \frac{7881}{180} = 43.78 \text{ mm}$$

Para las 5 columnas del polígono se tiene

$$r_{cp} = \frac{7688}{180} = 42.71 \text{ mm}$$

Donde cada columna soportará una carga de:

$$\text{Columna central: } 11R_4 = 11(1.87) = 20.57 \text{ KN}$$

$$\text{Columna del polígono: } 2R_t = 2(11,23) = 22.46 \text{ KN}$$

Se establece el uso de una tubería de 8" (203 mm) como perfil estructural para el uso de esta columna central, las características son mostradas a continuación:

TABLA 17
SELECCIÓN DE COLUMNA CENTRAL

Material	ASTM A-53 Grado A
Diámetro Nominal	203 mm (8")
Diámetro Exterior	219.1 mm
Cedula	20
Espesor	6.35 mm
Peso Lineal	326.44 N/m
Área de sección transversal	$4.244 \times 10^{-3} m^2$
Momento de Inercia (I)	$2.4 \times 10^{-5} m^4$
Módulo de elasticidad (E)	$2 \times 10^{11} N/m^2$
Radio de Giro	$7.52 \times 10^{-2} m$

Entonces el esfuerzo real que soportaría la columna central sería:

$$\frac{11R_4}{A} = \frac{11(1.87)}{4.244 \times 10^{-3}} = 4.85 \text{ MPa}$$

El esfuerzo máximo de compresión al que se puede someter a las columnas viene dado por la expresión:

$$C_{ma} = \frac{5,15 E}{(L/r)^2}$$

Dónde:

L = longitud de la columna

r = radio de giro

$E = \text{modulo de elasticidad del acero}$

El esfuerzo máximo que soporta el tubo es

$$C_{ma} = \frac{5,15 (2 \times 10^{11})}{(7.881 \text{ m} / 7.52 \times 10^{-2} \text{ m})^2} = 93.78 \text{ MPa}$$

Por lo que la columna soporta ampliamente el esfuerzo al que es sometida.

Se debe repetir la misma metodología de cálculo para las columnas secundarias, en donde el perfil seleccionado será una tubería sin costura de 4" con las siguientes características:

TABLA 18

SELECCIÓN DE COLUMNAS SECUNDARIAS

Material	ASTM A-53 Grado A
Diámetro Nominal	100 mm (4")
Diámetro Exterior	114.3 mm
Cedula	40
Espesor	6.02 mm
Peso Lineal	1.64 N/m
Área de sección transversal	$2.06 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
Momento de Inercia (I)	$3.01 \times 10^{-6} \text{ m}^4$
Modulo de elasticidad (E)	$2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
Radio de Giro	$3.8 \times 10^{-2} \text{ m}$

Para el caso de las columnas del polígono el esfuerzo real sería:

$$\frac{2R_t}{A} = \frac{2(11.23)}{2.06 \times 10^{-3}} = 10.9 \text{ MPa}$$

El esfuerzo máximo que soporta el tubo es:

$$C_{ma} = \frac{5,15 (2 \times 10^{11})}{(7.688 \text{ m} / 3.8 \times 10^{-2} \text{ m})^2} = 5091 \text{ MPa}$$

De igual modo esta columna soporta ampliamente el esfuerzo al que va a ser sometida.

Perfil de Coronamiento

Es también conocido como perfil de coronamiento, y es un elemento de gran importancia en los tanques de almacenamiento cumple la función de ayudar a mantener la rigidez, evitar el ovalamiento, soportar el peso del techo y lograr un sello entre el cuerpo y techo del tanque, también ayudar a contrarrestar cargas axiales que actúan sobre el techo del tanque.

TABLA 19
SELECCIÓN DE PERFIL DE CORONAMIENTO (TOMADO DE
API-650)

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

^aApproximate equivalent sizes may be used to accommodate local availability of materials.

En este caso se utiliza un ángulo laminado 70x70x6 mm, debido a que es el inmediato superior que se ajusta al valor ofrecido en la tabla mostrada.

Con respecto a las juntas del perfil de coronamiento el estándar establece que:

- a) Las placas del techo serán soldadas al perfil de coronamiento del tanque con un filete continuo únicamente por la parte superior y el tamaño del filete será igual al espesor más delgado.
- b) Las secciones que formen el perfil de coronamiento estarán unidas por cordones de soldadura que tengan penetración y fusión completa.

A continuación se muestran los ejemplos ilustrativos que recomienda API para uso como perfiles de coronamiento, se utilizará en el caso de este tanque el ejemplo 1 por ser el de más sencilla instalación.

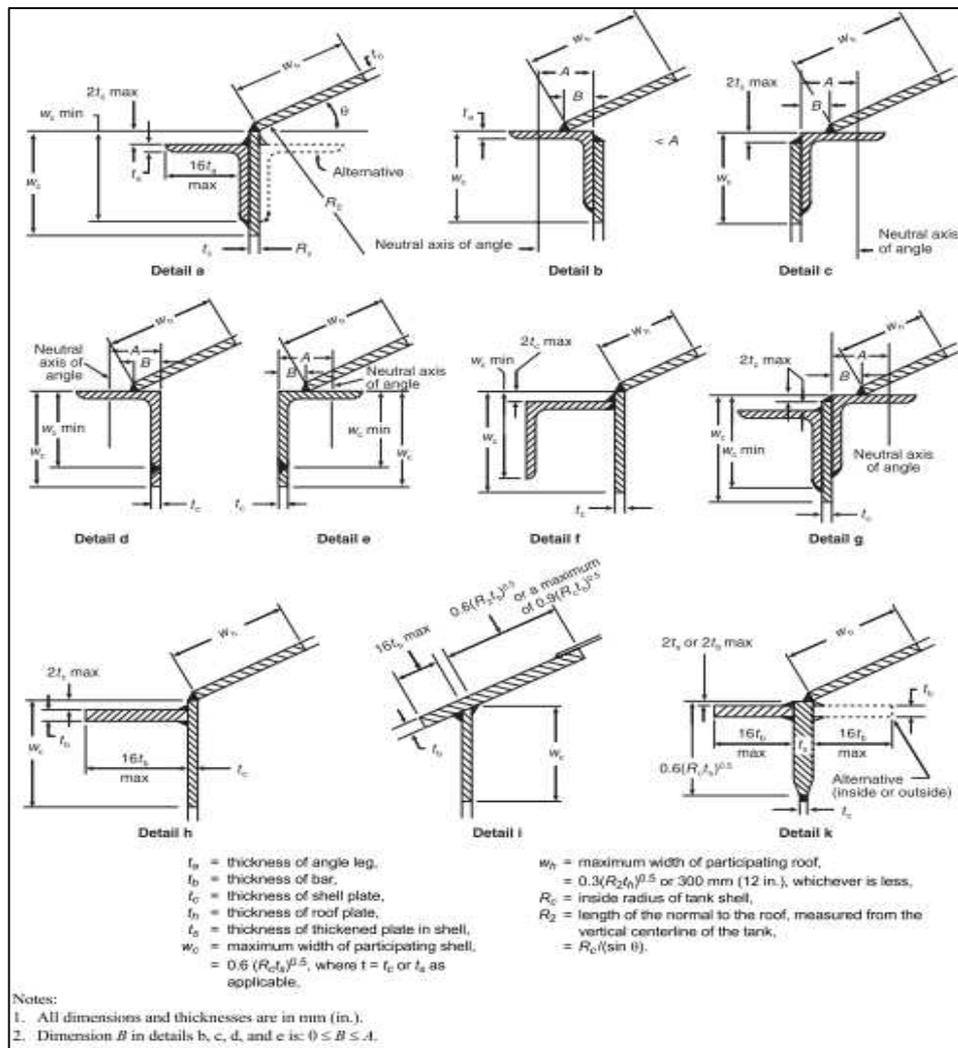


Figura 2. 7 Diseños Permisibles de Perfil de Coronamiento

2.6 Selección de accesorios

Los accesorios cumplen con la finalidad de facilitar las operaciones en los tanques de almacenamiento, tales como accesos desde el exterior hacia el interior para realizar cualquier labor de mantenimiento o limpieza, permiten la medición del nivel del líquido almacenado y la evacuación de gases producto de la evaporación del líquido contenido.

Dentro de los medios de acceso al tanque se encuentran las escaleras, plataformas y entradas de hombre, las cuales tienen la finalidad de situar al personal que así lo requiera en una zona específica del tanque que necesite constante supervisión o mantenimiento de una forma cómoda y segura.

Los tanques de almacenamiento contarán con al menos una entrada de hombre en el cuerpo y una en el techo, además de otros accesorios como sumidero, venteo, y medidor de nivel, para lo cual hay que tomar en cuenta ciertas recomendaciones como son:

Todas las aberturas que se realizan en los costados del tanque o sobre el techo deberán ser circulares o elípticas.

Las aberturas deberán estar colocadas de modo que la distancia entre el filo exterior del refuerzo y alguna línea de discontinuidad, sea cuando mínimo 150 mm.

Todas las aberturas colocadas a los costados del tanque deberán tener una placa de refuerzo la cual deberá estar provista de un agujero de 6 mm ubicado en la línea media horizontal y expuesta a la atmosfera con fin de detectar posibles fugas de líquido.

Los accesorios que se considera necesarios para el tanque, se los enlista a continuación:

- a) Una escalera helicoidal exterior con pasamano.
- b) Una escalera vertical interior con protección.
- c) Una plataforma situada en la parte superior con pasamano.
- d) Una entrada de hombre de costado.
- e) Una entrada de hombre en el techo.
- f) Un sumidero de agua y lodos.
- g) Un Respiradero.
- h) Un medidor de nivel.

**Requisitos para Plataformas y Pasarelas (OSHA 29 CFR 1910,
Subpart D, Tomado de API- 650 Tabla 5-17)**

1. Todas las piezas deberán ser de metal.
2. La anchura mínima del pasillo será de 610 mm, después de hacer ajustes en todas las proyecciones.
3. El piso deberá ser de un material antideslizante o rejilla.
4. La altura del pasamano hasta la parte superior deberá ser 1070 mm.
5. La altura mínima del rodapié será de 75 mm.
6. El espacio máximo entre la parte superior del piso y la parte inferior del rodapié deberá ser de 6 mm.
7. La altura de la barandilla media será aproximadamente la mitad de la distancia desde la parte superior de la pasarela a la parte superior del pasamano.
8. La distancia máxima entre los postes de la barandilla será de 2400 mm.
9. La estructura completa deberá ser capaz de soportar una carga concentrada en movimiento de 4.45 KN, y la estructura de la barandilla deberán ser capaces de soportar una carga de 900 N aplicada en cualquier dirección en cualquier punto de la barra superior.

10. Existirán pasamanos en ambos lados de la plataforma, pero se interrumpirá cuando sea necesario para el acceso.
11. En las aberturas de los pasamanos con espacios más anchos que 150 mm entre el tanque y la plataforma debe colocarse piso.
12. Una plataforma que se extiende desde una parte de un tanque a cualquier parte de un tanque adyacente, al suelo, o a otra estructura se debe apoyar de manera que se permite el movimiento relativo libre de las estructuras unidas por la pasarela. Esto puede lograrse mediante la unión firme de la pasarela a un tanque y el uso de una junta de deslizamiento en el punto de contacto entre la pasarela y el otro tanque.

Requisitos para Escaleras (OSHA 29 CFR 1910 Subpart D, Tomado de API- 650 Tabla 5-18)

1. Todas las piezas deberán ser de metal.
2. El ancho mínimo de la escalera debe ser de 710 mm.
3. El ángulo máximo de la escalera con respecto a la horizontal es de 50 grados.
4. El ancho mínimo de los peldaños de las escaleras será de 200 mm.

5. Los peldaños serán de material antideslizante o rejilla.
6. La barandilla superior deberá estar unida a la barandilla superior de la plataforma sin compensación, y la altura medida verticalmente desde el nivel del peldaño hasta el borde del mismo será 760 mm - 860 mm
7. La distancia máxima entre los postes del pasamano, medida a lo largo de la pendiente del mismo será de 2400 mm.
8. La estructura completa deberá ser capaz de soportar una carga concentrada en movimiento de 4,45 KN, y la estructura del pasamano deberán ser capaces de soportar una carga de 900 N aplicada en cualquier dirección en cualquier punto de la barra superior.
9. Deben situarse pasamanos en ambos lados de las escaleras rectas; y también será en ambos lados de las escaleras circulares cuando el espacio libre entre la pared del tanque y los largueros de la escalera excedan los 200 mm.
10. Escaleras circulares serán completamente soportadas con la pared del tanque, y los extremos de los largueros deberán ser apoyados al piso. Las escaleras deben extenderse desde el fondo del tanque hasta una plataforma sobre la cubierta.
11. Se recomienda que se emplee el mismo ángulo para todas las escaleras en un grupo de tanques o área de la planta.

TABLA 20
ÁNGULO DE ELEVACIÓN PARA ESCALERAS (TOMADO DE
API-650, TABLA 5-19)

Table 5-19—Rise, Run, and Angle Relationships for Stairways						
Height of Rise mm (in.) <i>R</i>	$2R + r = 610 \text{ mm (24 in.)}$			$2R + r = 660 \text{ mm (26 in.)}$		
	Width of Run mm (in.) <i>r</i>	Angle		Width of Run mm (in.) <i>r</i>	Angle	
		Degrees	Minutes		Degrees	Minutes
135 (5 ¹ / ₄)	340 (13 ¹ / ₂)	21	39	—	—	—
140 (5 ¹ / ₂)	330 (13)	22	59	380 (15)	20	13
145 (5 ³ / ₄)	320 (12 ¹ / ₂)	24	23	370 (14 ¹ / ₂)	21	24
150 (6)	310 (12)	25	49	360 (14)	22	37
155 (6 ¹ / ₄)	300 (11 ¹ / ₂)	27	19	350 (13 ¹ / ₂)	23	53
165 (6 ¹ / ₂)	280 (11)	30	31	330 (13)	26	34
170 (6 ³ / ₄)	270 (10 ¹ / ₂)	32	12	320 (12 ¹ / ₂)	27	59
180 (7)	250 (10)	35	45	300 (12)	30	58
185 (7 ¹ / ₄)	240 (9 ¹ / ₂)	37	38	290 (11 ¹ / ₂)	32	32
190 (7 ¹ / ₂)	230 (9)	39	34	280 (11)	34	10
195 (7 ³ / ₄)	220 (8 ¹ / ₂)	41	33	270 (10 ¹ / ₂)	35	50
205 (8)	200 (8)	45	42	250 (10)	39	21
210 (8 ¹ / ₄)	190 (7 ¹ / ₂)	47	52	240 (9 ¹ / ₂)	41	11
215 (8 ¹ / ₂)	—	—	—	230 (9)	43	4
220 (8 ³ / ₄)	—	—	—	220 (8 ¹ / ₂)	45	0
225 (9)	—	—	—	210 (8)	46	58

Entrada de hombre lateral

Este acceso se encuentra ubicado en el cuerpo del tanque muy cerca del fondo permitiendo el ingreso desde el exterior hacia el interior del tanque, es un acceso muy útil para tarea de mantenimiento y limpieza facilitando el ingreso de herramientas e insumos, además del ingreso de aire para disminuir la

concentración de volátiles producto de los combustibles fósiles contenidos.

El estándar API ha normalizado el diseño y dimensionamiento de estos accesos mostrados en la tabla a continuación.

TABLA 21
ENTRADA DE HOMBRE LATERAL

Column 1	Column 2	Column 3	Column 4	Column 5	Column 6	Column 7	Column 8	Column 9	Column 10
Max. Design Liquid Level	Equivalent Pressure ^a	Minimum Thickness of Cover Plate ^b (t_c)				Minimum Thickness of Bolting Flange After Finishing ^b (t_f)			
m (ft) H	kPa (lbf/in. ²)	500 mm (20 in.) Manhole	600 mm (24 in.) Manhole	750 mm (30 in.) Manhole	900 mm (36 in.) Manhole	500 mm (20 in.) Manhole	600 mm (24 in.) Manhole	750 mm (30 in.) Manhole	900 mm (36 in.) Manhole
5.2 (17.1)	51 (7.4)	8 (⁵ / ₁₆)	10 (³ / ₈)	11 (⁷ / ₁₆)	13 (¹ / ₂)	6 (¹ / ₄)	6 (¹ / ₄)	8 (⁵ / ₁₆)	10 (³ / ₈)
6.7 (21.9)	66 (9.5)	10 (³ / ₈)	11 (⁷ / ₁₆)	13 (¹ / ₂)	14 (⁹ / ₁₆)	6 (¹ / ₄)	8 (⁵ / ₁₆)	10 (³ / ₈)	11 (⁷ / ₁₆)
8.0 (26.1)	78 (11.3)	10 (³ / ₈)	11 (⁷ / ₁₆)	14 (⁹ / ₁₆)	16 (⁵ / ₈)	6 (¹ / ₄)	8 (⁵ / ₁₆)	11 (⁷ / ₁₆)	13 (¹ / ₂)
9.9 (32.6)	97 (14.1)	11 (⁷ / ₁₆)	13 (¹ / ₂)	16 (⁵ / ₈)	18 (¹¹ / ₁₆)	8 (⁵ / ₁₆)	10 (³ / ₈)	13 (¹ / ₂)	14 (⁹ / ₁₆)
11.1 (36.5)	109 (15.8)	13 (¹ / ₂)	14 (⁹ / ₁₆)	16 (⁵ / ₈)	19 (³ / ₄)	10 (³ / ₈)	11 (⁷ / ₁₆)	13 (¹ / ₂)	16 (⁵ / ₈)
13.4 (43.9)	131 (19)	13 (¹ / ₂)	14 (⁹ / ₁₆)	18 (¹¹ / ₁₆)	21 (¹³ / ₁₆)	10 (³ / ₈)	11 (⁷ / ₁₆)	14 (⁹ / ₁₆)	18 (¹¹ / ₁₆)
16.1 (52.9)	158 (22.9)	14 (⁹ / ₁₆)	16 (⁵ / ₈)	19 (³ / ₄)	22 (⁷ / ₈)	11 (⁷ / ₁₆)	13 (¹ / ₂)	16 (⁵ / ₈)	19 (³ / ₄)
18.6 (61.0)	182 (26.4)	16 (⁵ / ₈)	18 (¹¹ / ₁₆)	21 (¹³ / ₁₆)	24 (¹⁵ / ₁₆)	13 (¹ / ₂)	14 (⁹ / ₁₆)	18 (¹¹ / ₁₆)	21 (¹³ / ₁₆)
22.9 (75.1)	224 (32.5)	18 (¹¹ / ₁₆)	19 (³ / ₄)	24 (¹⁵ / ₁₆)	25 (1)	13 (¹ / ₂)	14 (⁹ / ₁₆)	18 (¹¹ / ₁₆)	24 (¹⁵ / ₁₆)

TABLA 22
DIMENSIÓN DE ENTRADA HOMBRE LATERAL

Table 5-4—Dimensions for Shell Manhole Neck Thickness				
Thickness of Shell and Manhole Reinforcing Plate ^a <i>t</i> and <i>T</i>	Minimum Neck Thickness ^{b,c} <i>t_n</i> mm (in.)			
	For Manhole Diameter 500 mm (20 in.)	For Manhole Diameter 600 mm (24 in.)	For Manhole Diameter 750 mm (30 in.)	For Manhole Diameter 900 mm (36 in.)
5 (³ / ₁₆)	5 (³ / ₁₆)	5 (³ / ₁₆)	5 (³ / ₁₆)	5 (³ / ₁₆)
6 (¹ / ₄)	6 (¹ / ₄)	6 (¹ / ₄)	6 (¹ / ₄)	6 (¹ / ₄)
8 (⁵ / ₁₆)	6 (¹ / ₄)	6 (¹ / ₄)	8 (⁵ / ₁₆)	8 (⁵ / ₁₆)
10 (³ / ₈)	6 (¹ / ₄)	6 (¹ / ₄)	8 (⁵ / ₁₆)	10 (³ / ₈)
11 (⁷ / ₁₆)	6 (¹ / ₄)	6 (¹ / ₄)	8 (⁵ / ₁₆)	10 (³ / ₈)
12.5 (¹ / ₂)	6 (¹ / ₄)	6 (¹ / ₄)	8 (⁵ / ₁₆)	10 (³ / ₈)
14 (⁹ / ₁₆)	6 (¹ / ₄)	6 (¹ / ₄)	8 (⁵ / ₁₆)	10 (³ / ₈)
16 (⁵ / ₈)	6 (¹ / ₄)	6 (¹ / ₄)	8 (⁵ / ₁₆)	10 (³ / ₈)
18 (¹¹ / ₁₆)	6 (¹ / ₄)	6 (¹ / ₄)	8 (⁵ / ₁₆)	10 (³ / ₈)
19 (³ / ₄)	6 (¹ / ₄)	6 (¹ / ₄)	8 (⁵ / ₁₆)	10 (³ / ₈)
21 (¹³ / ₁₆)	8 (⁵ / ₁₆)	6 (¹ / ₄)	8 (⁵ / ₁₆)	10 (³ / ₈)
22 (⁷ / ₈)	10 (³ / ₈)	8 (⁵ / ₁₆)	8 (⁵ / ₁₆)	10 (³ / ₈)
24 (¹⁵ / ₁₆)	11 (⁷ / ₁₆)	11 (⁷ / ₁₆)	11 (⁷ / ₁₆)	11 (⁷ / ₁₆)
25 (1)	11 (⁷ / ₁₆)	11 (⁷ / ₁₆)	11 (⁷ / ₁₆)	11 (⁷ / ₁₆)
27 (1 ¹ / ₁₆)	11 (⁷ / ₁₆)	11 (⁷ / ₁₆)	11 (⁷ / ₁₆)	11 (⁷ / ₁₆)
28 (1 ¹ / ₈)	13 (¹ / ₂)	13 (¹ / ₂)	13 (¹ / ₂)	13 (¹ / ₂)
30 (1 ³ / ₁₆)	14 (⁹ / ₁₆)	14 (⁹ / ₁₆)	14 (⁹ / ₁₆)	14 (⁹ / ₁₆)
32 (1 ¹ / ₄)	16 (⁵ / ₈)	14 (⁹ / ₁₆)	14 (⁹ / ₁₆)	14 (⁹ / ₁₆)
33 (1 ³ / ₁₆)	16 (⁵ / ₈)	16 (⁵ / ₈)	16 (⁵ / ₈)	16 (⁵ / ₈)
34 (1 ³ / ₈)	17 (¹¹ / ₁₆)	16 (⁵ / ₈)	16 (⁵ / ₈)	16 (⁵ / ₈)
36 (1 ⁷ / ₁₆)	17 (¹¹ / ₁₆)	17 (¹¹ / ₁₆)	17 (¹¹ / ₁₆)	17 (¹¹ / ₁₆)
40 (1 ¹ / ₂)	19 (³ / ₄)	19 (³ / ₄)	19 (³ / ₄)	19 (³ / ₄)

Como se mencionó anteriormente para este trabajo se ha considerado el uso de dos entradas de hombre laterales, a continuación se muestran las dimensiones seleccionadas y el plano D2 muestra los detalles constructivos del mismo.

TABLA 23
DIMENSIÓN DE ENTRADA HOMBRE LATERAL

Diámetro Interior	610 mm
Diámetro del círculo de pernos	768 mm
Diámetro de la tapa	832 mm
Diámetro del refuerzo	1372 mm

Entrada de Hombre en el techo

Este acceso permite el ingreso hacia el interior del tanque por el techo, como es lógico la escalera vertical debe ir colineal con este acceso, se puede observar el estado de la estructura que soporta el techo, tomar muestras del líquido almacenado y ayuda a la desgasificación del tanque. La tabla mostrada a continuación es la estandarización que establece API para estos accesos.

TABLA 24

DIMENSIÓN ENTRADA HOMBRE TECHO (TOMADO DE API 650)

Column 1 Size of Manhole	Column 2 Diameter of Neck ID^a	Column 3 Diameter of Cover Plate D_C	Column 4 Diameter of Bolt Circle D_B	Column 5 Number of Bolts	Column 6 Diameter of Gasket		Column 8 Diameter of Hole in Roof Plate or Reinforcing Plate D_P	Column 9 Outside Diameter of Reinforcing Plate D_R
					Inside	Outside		
					500 (20)	500 (20)		
600 (24)	600 (24)	750 (30)	690 (27 $\frac{1}{2}$)	20	600 (24)	750 (30)	615 (24 $\frac{5}{8}$)	1150 (46)

A continuación se muestran las dimensiones seleccionadas para la única entrada de hombre de techo que se considera en este trabajo, los detalles constructivos se muestran el plano D2.

TABLA 25**SELECCIÓN DE ENTRADA HOMBRE POR EL TECHO**

Diámetro Interior	600 mm
Diámetro del círculo de pernos	690 mm
Diámetro de la tapa	750 mm
Diámetro del refuerzo	1150 mm
Número de pernos	20
Diámetro interior del empaque	600 mm
Diámetro exterior del empaque	750 mm
Diámetro del cuello	600 mm

Sumidero de Agua y lodos

Este es un accesorio pensado con el fin de desalojar productos indeseables acumulados en el fondo del tanque producto de la sedimentación del hidrocarburo contenido, en general las sustancias contaminantes son más pesadas que los derivados de petróleo por lo que por diferencias de densidades estas se van a asentar, siendo las más perjudicial de estas sustancias el agua, ya que va acelerar la corrosión en el tanque, entonces es ahí donde interviene el uso del sumidero, el cual estando el tanque en operación para a remover estos desechos a través de una tubería hacia el exterior del mismo, API como es lógico ha estandarizado estos accesorios, teniendo entonces:

TABLA 26
DIMENSIÓN DE SUMIDERO (TOMADO DE API 650)

NPS	Diameter of Sump	Depth of Sump	Distance from	Thickness of Plates	Minimum Internal Pipe Thickness	Minimum Nozzle Neck Thickness
	mm (in.) <i>A</i>	mm (in.) <i>B</i>	Center Pipe to Shell m (ft) <i>C</i>	in Sump mm (in.) <i>t</i>		
2	610 (24)	300 (12)	1.1 (3 ¹ / ₂)	8 (5/16)	5.54 (0.218)	5.54 (0.218)
3	910 (36)	450 (18)	1.5 (5)	10 (3/8)	6.35 (0.250)	7.62 (0.300)
4	1220 (48)	600 (24)	2.1 (6 ³ / ₄)	10 (3/8)	6.35 (0.250)	8.56 (0.337)
6	1520 (60)	900 (36)	2.6 (8 ¹ / ₂)	11 (7/16)	6.35 (0.250)	10.97 (0.432)

Se selecciona el sumidero con las siguientes características:

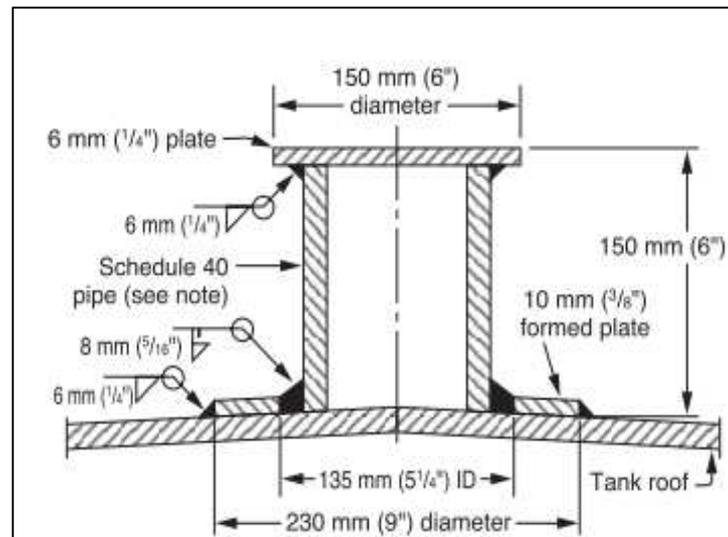
TABLA 27
SELECCIÓN DEL SUMIDERO

Diámetro nominal de la tubería	76.2 mm
Diámetro del sumidero	910 mm
Profundidad del sumidero	450 mm
Distancia desde centro de la tubería al cuerpo del tanque	1500 mm
Espesor placas del sumidero	10 mm

Respiradero

Los tanques de almacenamiento deben contar con una boquilla exclusiva para venteo, la cual está diseñada con la finalidad de evitar deformaciones o colapsos por aumentos de presión o la existencia de presiones negativas en los procesos de carga o

descarga del líquido contenido. Se deberá de colocar en la medida de lo posible en la parte más alta del tanque. A continuación se muestra un gráfico con los detalles del respiradero.



Medidor de nivel

Es un dispositivo que permite tomar lecturas con buenas aproximaciones del nivel del líquido almacenado en el tanque. Este dispositivo consiste en un sistema de boyas constituido por platinas de acero las cuales se desplazan de manera vertical según el nivel del líquido, este movimiento se transmite a través de juegos de poleas hacia un marcador tipo regla calibrado en las unidades volumétricas deseadas.

2.7 Análisis de Estabilidad por Vientos

En esta sección se analizará y diseñará el tanque para soportar los esfuerzos y momentos de volteo que originan las cargas por vientos.

Para diseñar esto se basará en la norma ANSI A58.1 donde se considera al tanque como si este fuera una viga en voladizo con carga uniforme y donde la presión ejercida por la fuerza del viento viene dada por la expresión.

$$P_w = q_s C_e C_q$$

Donde se tiene:

q_s = Presión de estancamiento del viento a altura estándar, para el caso de Guayaquil es de 15 lbs/pie^2 .

C_q = Factor de forma ANSI en este caso es 0.8 por tener forma cilíndrica.

C_e = Coeficiente de factor de Ráfagas, en este caso toma un valor de 0.8 por encontrarse en exposición a condiciones moderadas y altura sobre los 24 pies.

TABLA 28**FACTOR DE FORMA ANSI (TOMADO DE NORMA ANSI)**

Coeficiente de presión C_q	Factor de Forma
Torres Cuadradas o Rectangulares	1.4
Torres Hexagonales u Octogonales	1.1
Torres Redondas o Elípticas	0.8

TABLA 29**FACTOR DE RÁFAGAS (TOMADO DE NORMA ANSI)**

Altura sobre piso (Pies)	Coeficiente C_e	
	Exposición C	Exposición B
0-20	1.2	0.7
20-40	1.3	0.8
40-60	1.5	1.0
60-100	1.6	1.1

Exposición B: Condiciones medias en EE.UU.

Exposición C: Condiciones severas en EE.UU.

Se procede a calcular el valor de

$$P_w = q_s C_e C_q$$

$$P_w = (15)(0.8)(0.8)$$

$$P_w = 9.6 \text{ lbs/pie}^2 = 460 \text{ Pa}$$

A partir del dato de presión obtenida se calcula el momento de volteo debido al viento modelado como el momento máximo para una viga en voladizo con carga uniforme.

$$M_{max} = \frac{P_w D H^2}{2}$$

$$M_{max} = \frac{(460)(11.891)(7.5^2)}{2}$$

$$M_{max} = 154 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

El valor del momento máximo se lo utilizará posteriormente para el cálculo del anclaje.

2.8 Análisis de Estabilidad por Sismo

Dependiendo de la zona sísmica donde se ubique el tanque los movimientos telúricos son un tema de suma importancia debido a que estos pueden producir dos tipos de eventos en el tanque, que son:

Movimientos telúricos de alta frecuencia:

Estos pueden provocar desplazamiento lateral del terreno donde se ubica el tanque.

Movimientos telúricos de baja frecuencia:

Provocan un movimiento de masa del líquido contenido, ocasionando oleajes dentro del tanque lo cual genera fuerzas que actúan en el centro de gravedad del tanque dando origen a una inestabilidad del conjunto generando un momento de volteo.

El momento de volteo sísmico viene dado por la siguiente expresión:

$$M_s = \sqrt{[A_i(W_1X_1 + W_sX_s + W_rX_r)]^2 + [A_c(W_2X_2)]^2}$$

Dónde:

M_s : Momento de volteo ($N \cdot m$)

A_i : Coeficiente de aceleración espectral Impulsivo

W_1 : Peso de la masa efectiva contenida en el tanque que se mueve al unirlo con el cuerpo del tanque (N).

X_1 = Altura desde el fondo del cuerpo tanque al centroide de la fuerza lateral sísmica aplicada a W_1 . (m)

W_s : Peso total del cuerpo del tanque (N)

X_s : Altura desde el fondo del cuerpo tanque al centro de gravedad(m)

W_r : Peso total del techo del tanque más la carga viva (N)

X_r : Altura total del cuerpo tanque (m)

A_c : Coeficiente de aceleración espectral Convectivo

W_2 = Peso de la masa efectiva contenida en el tanque que se mueve en el primer oleaje. (N)

X_2 = Altura desde el fondo del cuerpo tanque al centroide de la fuerza lateral sísmica aplicada a W_2 . (m)

W_t : Peso del producto contenido en el tanque.(N).

A continuación se detalla los valores de los pesos de las partes que constituyen el tanque necesario para el cálculo del Momento de volteo:

Peso Total= 31773 kg= 3.24 KN

Peso Manto = 13196 kg= 1.35 KN

Peso Fondo= 5378 Kg= 0.55 KN

Peso Techo= 5199 kg= 0.53 KN

Peso Estructura = 1632 Kg= 0.17 KN

Peso máximo de producto contenido = 80.1 KN

Masas Efectivas del Tanque.

Las masas efectivas W_1 y W_2 , se obtienen de las siguientes ecuaciones:

$$W_1 = \frac{\tanh\left(0.866 \frac{D}{H}\right)}{0.866 \frac{D}{H}} W_t$$

$$W_1 = \frac{\tanh\left(0.866 \left(\frac{11891}{7500}\right)\right)}{0.866 \left(\frac{11891}{7500}\right)} (80.1)$$

$$W_1 = 51.3 \text{ KN}$$

$$W_2 = \left(1.0 - 0.218 \frac{D}{H}\right) W_t$$

$$W_2 = \left(1.0 - 0.218 \frac{11891}{7500}\right) (80.1)$$

$$W_2 = 52.4 \text{ KN}$$

Estas ecuaciones están representadas en la Figura a continuación mostrada

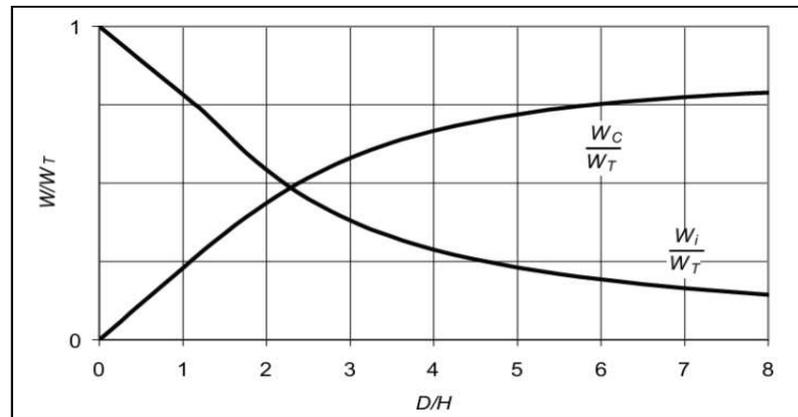


Figura 2. 8 Masas Efectivas (Tomado de API-650)

Los valores correspondiente de X_1 y X_2 se obtienen a través de las siguientes ecuaciones:

$$X_1 = 0.375H; \text{ cuando } \frac{D}{H} \geq 1.333$$

$$X_1 = \left(0.5 - 0.094 \frac{D}{H}\right) H; \text{ cuando } \frac{D}{H} < 1.333$$

$$X_2 = \left[1 - \frac{\cosh\left(\frac{3.67}{\frac{D}{H}}\right) - 1}{\frac{3.67}{\frac{D}{H}} \sinh\left(\frac{3.67}{\frac{D}{H}}\right)} \right] H$$

$$\frac{D}{H} = \frac{11891}{7500} = 1,59$$

Las figuras (2.9) y (2.10) representan un esquema de las masas efectivas y sus centroides de acción.

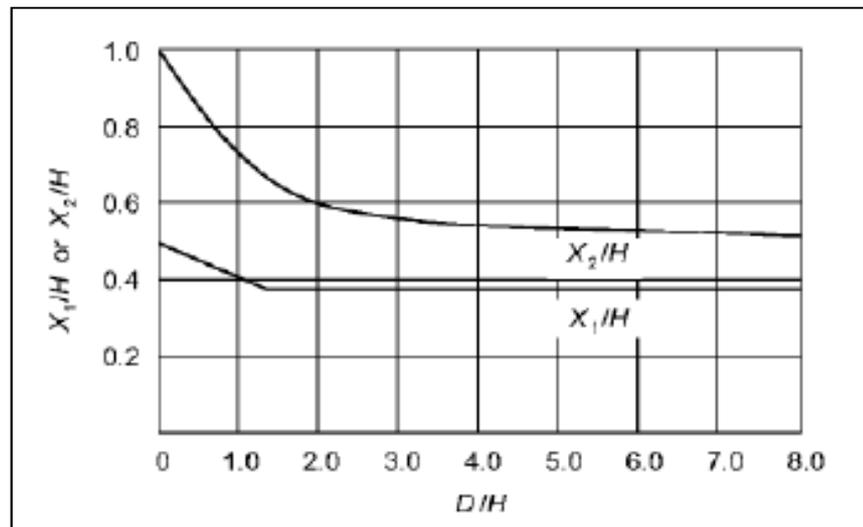


Figura 2.9 Distribución de masas efectivas

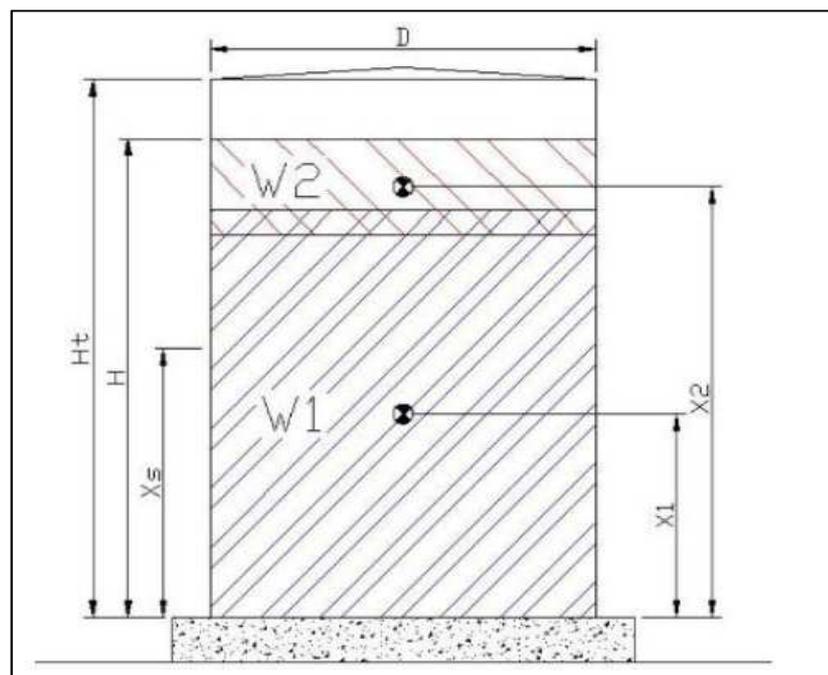


Figura 2.10 Centroides de Pesos que pueden Producir Volcamiento cuando existan Movimientos Telúricos

Entonces se tiene los valores de X_1 y X_2 :

$$X_1 = 0.375H$$

$$X_1 = 0.375(7500) = 2813 \text{ mm}$$

$$X_2 = \left[1 - \frac{\left(\cosh \frac{3.67}{H} \right) - 1}{\frac{3.67}{H} \sinh \frac{3.67}{H}} \right] H$$

$$X_2 = \left[1 - \frac{\left(\cosh \frac{3.67}{\frac{11891}{7500}} \right) - 1}{\frac{3.67}{\frac{11891}{7500}} \sinh \frac{3.67}{\frac{11891}{7500}}} \right] 7500$$

$$X_2 = 4842.67 \text{ mm}$$

TABLA 30
FACTOR DE IMPORTANCIA (I) Y GRUPO
SÍSMICO. (TOMADO DE API 650)

Grupo Sísmico	Factor de Importancia (I)
I	1
II	1.25
III	1.5

El factor de importancia (*I*) es dependiente del riesgo para vida o salud pública que representa el fluido a almacenarse, su valor es 1 sino representa riesgo alguno y es de 1,25 si representa riesgo pero

tiene un método de control en caso de derrame y es 1,5 sino presenta método de control.

Se considera el factor de importancia (I) como 1,25 debido a que es un producto peligroso para la salud pero existe una prevención en caso de derrame.

TABLA 31
FACTORES DE MODIFICACIÓN (TOMADO DE API 650)

Tipo de Anclaje	R_{wi}	R_{wc}
Estable sin anclajes	3.5	2
Anclaje mecánico mediante pernos	4	2

Los factores de modificación R_{wi} y R_{wc} son referentes al tipo de anclaje del tanque se obtienen de tabla mostrada anteriormente y para el caso de este tanque sus valores son los correspondiente a un tanque mecánicamente anclado por pernos.

$$R_{wi} = 4$$

$$R_{wc} = 2$$

Coefficiente de Ajuste Espectral

El valor K (coeficiente de ajuste espectral) es siempre 1,5 a menos que se especifique lo contrario.

$$K = 1.5$$

Período de Oscilación Natural

El periodo de oscilación natural (T_c) que viene dado por la expresión:

$$T_c = 1.8K_s\sqrt{D}$$

$$T_c = 1.8(0.58)\sqrt{11.891}$$

$$T_c = 3.6$$

Donde K_s esta representado por la siguiente figura.

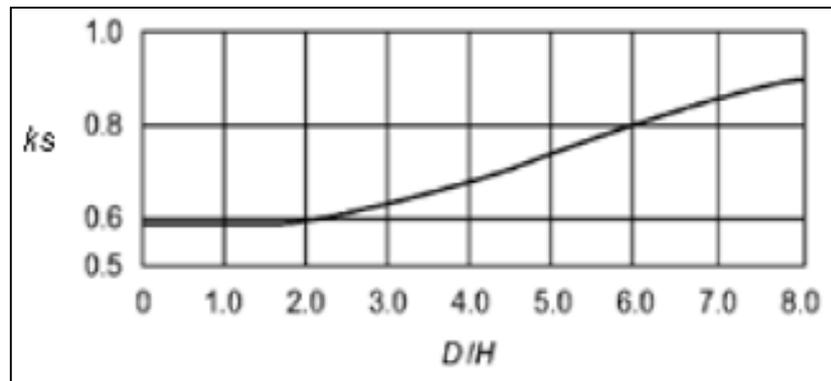


Figura 2. 11 Factor K_s

La expresión para su cálculo es:

$$K_s = \frac{0.578}{\sqrt{\tanh\left(\frac{3.68H}{D}\right)}}$$

$$K_s = \frac{0.578}{\sqrt{\tanh\left(\frac{3.68(7500)}{11891}\right)}} = 0.58$$

Coeficientes de Aceleración

Los coeficientes de aceleración espectral impulsivo (A_i) y convectivo (A_c), son determinados de la siguiente forma:

$$A_i = S_{DS}(I/R_{wt})$$

$$A_c = KS_{D1}(1/T_c)(I/R_{wc}); \text{ Si } T_c \leq T_L$$

$$A_c = KS_{D1}(T_L/T_c^2)(I/R_{wc}); \text{ Si } T_c > T_L$$

El periodo regional de transición (T_L) para periodos de movimiento relativamente grandes se asume siempre como 4 segundos, a menos que se especifique lo contrario.

$$T_L = 4$$

Los valores de S_{DS} y S_{D1} son valores dependientes del sitio donde se va a instalar el tanque, esto se encuentra detallado en el apéndice E de API 650 donde indica los tipos de terrenos y zonas sísmicas. A continuación se presenta el mapeo de las zonas sísmicas del Ecuador.

Por la ubicación dentro del mapa de la ciudad de Guayaquil la Zona sísmica correspondiente es III, y se asume un tipo de terreno D, ya

que en caso de conocer el tipo de terreno API recomienda el uso de este.

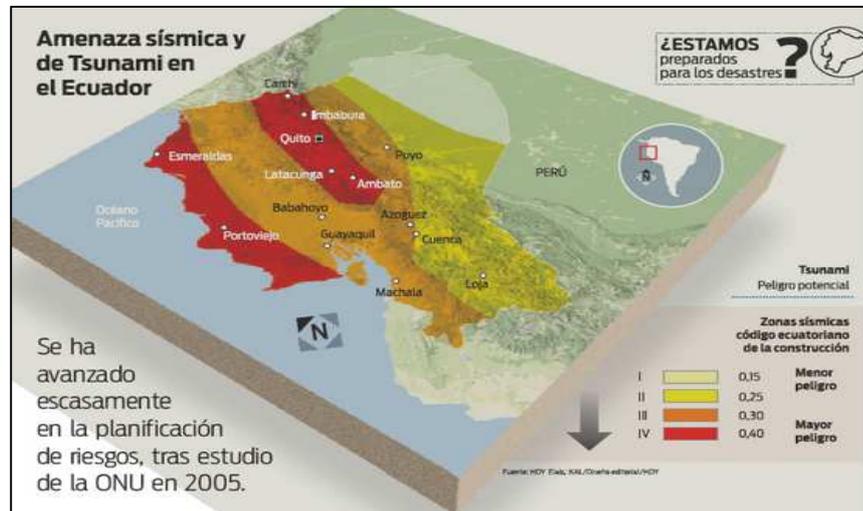


Figura 2. 12 Zonas sísmicas en el Ecuador

TABLA 32

COEFICIENTE S_{DS}

Tipo de Terreno	Zona Sísmica		
	I	II	III - IV
A	0.4	0.53	0.67
B	0.5	0.67	0.83
C	0.55	0.67	0.83
D	0.6	0.73	0.83
E	0.6	0.6	0.75

TABLA 33

COEFICIENTE S_{D1}

Tipo de Terreno	Zona Sísmica		
	I	II	III - IV
A	0.16	0.21	0.27
B	0.2	0.27	0.33
C	0.3	0.37	0.43
D	0.36	0.43	0.5
E	0.56	0.64	0.8

Por lo cual según las tablas se tiene:

$$S_{DS} = 0.83$$

$$S_{D1} = 0.5$$

Entonces los coeficientes de aceleración serán:

$$A_i = S_{DS} \left(\frac{1.25}{4} \right)$$

$$A_i = 0.26$$

En este caso $T_C \leq T_L$ por lo que se puede aplicar la siguiente expresión para el valor de A_c

$$A_c = K S_{D1} (1/T_C) (I/R_{WC})$$

$$A_c = (1.5)(0.5) \left(\frac{1}{3.6} \right) \left(\frac{1.25}{2} \right)$$

$$A_c = 0.13$$

Momento de volteo.

$$M_s = \sqrt{[A_i(W_1X_1 + W_sX_s + W_rX_r)]^2 + [A_c(W_2X_2)]^2}$$

$$M_s = \sqrt{[0.26((51300)(2.81) + (1900)(3.75) + (137716)(7.5))]^2 + [0.13((52400)(4.84))]^2}$$

$$M_s = 309.64 \text{ KN-m}$$

Este valor de momento se utilizará para comparación con el momento generado por vientos y así determinar el anclaje adecuado del tanque.

2.9 Análisis del Anclaje del Tanque

Los tanques de almacenamiento pueden requerir o no un anclaje, este criterio viene determinado por la relación de anclaje, la cual determina si es el tanque es estable sin anclaje debido a su propio peso más el del fluido contenido o si requiere un anclaje mecánico mediante pernos.

Se comprueba la relación de anclaje a través de la tabla y la ecuación a continuación mostrada:

TABLA 34
RELACIÓN DE ANCLAJE

Relación de Anclaje	Criterio de Estabilidad
$J \leq 0.785$	Estable sin anclajes
$0.785 < J \leq 1.54$	Tanque se eleva debido al momento de volteo sísmico pero es estable por lo que se debe satisfacer los requerimientos de compresión del cuerpo, por lo que no requeriría anclajes.
$J > 1.54$	Tanque no es estable y requiere un sistema de anclaje mecánico y reforzar el fondo con placa angular.

El radio del anclaje (J) viene dado por la siguiente expresión.

$$J = \frac{M_s}{D^2(W_t(1 - 0.056S_{DS}) + W_s)}$$

Dónde:

M_s : Momento de volteo (Nm) (el mayor valor de momento entre sismo o vientos).

W_s : Peso total del cuerpo del tanque (N)

W_t : Peso del producto contenido en el tanque(N)

S_{DS} : Coeficiente de aceleración espectral

$$J = \frac{309638}{(11.891)^2(80100(1 - 0.056(0.83)) + 1900)}$$

$$J = 0.03$$

Este cálculo demuestra que este tanque es estable y no requiere un anclaje mecánico.

2.10 Selección de Sistema de Bombeo y Tubería

Para diseñar este sistema se debe considerar dos factores claves como son el caudal requerido del fluido para la operación del tanque y las pérdidas generadas por los cabezales de altura y fricción en tuberías y accesorios. Con estos datos de entrada se obtendrá la potencia que deberá suministrar la bomba y la tubería óptima para minimizar estas pérdidas.

Se asume que la capacidad del tanque de uso diario es de 6600 galones, así de este modo la capacidad aproximada de suministro garantizada de este tanque será de 30 días, siendo este valor un indicador del tiempo de reposición.

Bocatoma de Descarga

Se requiere un caudal de 110 Gl/min para satisfacer la operación del tanque de uso diario con un tiempo de llenado aproximado de 60 minutos lo cual es una solicitud del contratante. Se basa en la ecuación:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{6600}{110} = 60 \text{ min}$$

Dónde:

t = tiempo en minutos.

Q = Caudal en galones/minuto.

V = Volumen en galones.

Existe una relación entre el caudal del líquido y el diámetro de la tubería que se utilizará como bocatoma de salida, mostrada en la siguiente tabla:

TABLA 35
RELACIÓN CAUDAL VS DIÁMETRO DE TUBERÍA DE
DESCARGA

Caudal (Gal/min)	Diámetro de tubería (mm)
0 - 2	12.5
3 - 4	19
5 - 7.5	25
8 - 16	31
17 - 24	38
25 - 48	50
49 - 77	62
78 - 140	75
141 - 280	100
281 - 500	125
501- 800	150

Las dimensiones de este accesorio están basadas en los valores de caudal requerido para un tiempo de reposición adecuado, adicional a esto el código API ha normalizado las dimensiones de la misma las cuales se muestran a continuación, y adicionalmente se muestra un esquema representativo en el cual se ha seleccionado una bocatoma de doble brida, debido a que en la parte interna del tanque justo antes de la misma se encontrará conectada al calentador de succión.

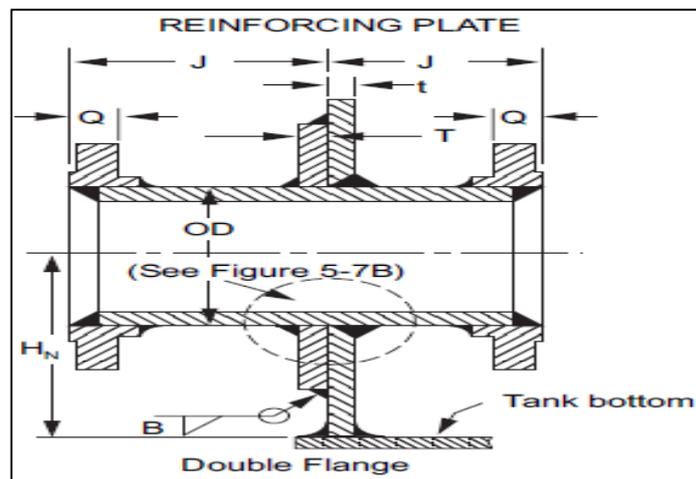


Figura 2. 13 Bocatoma de Descarga

TABLA 36
DIMENSIONES PARA BOCATOMAS DE DESCARGA
(TOMADO DE API 650)

Column 1	Column 2	Column 3	Column 4	Column 5	Column 6	Column 7 ^c	Column 8 ^e	Column 9 ^e
NPS (Size of Nozzle)	Outside Diameter of Pipe OD	Nominal Thickness of Flanged Nozzle Pipe Wall ^a t_n	Diameter of Hole in Reinforcing Plate D_R	Length of Side of Reinforcing Plate ^b or Diameter $L = D_o$	Width of Reinforcing Plate W	Minimum Distance from Shell-to-Flange Face J	Minimum Distance from Bottom of Tank to Center of Nozzle Regular Type ^d H_N	Low Type C
Flanged Fittings								
48	1219.2 (48)	e	1222 (48 ^{1/8})	2455 (96 ^{3/4})	2970 (117)	400 (16)	1325 (52)	1230 (48 ^{3/8})
46	1168.4 (46)	e	1172 (46 ^{1/8})	2355 (92 ^{3/4})	2845 (112)	400 (16)	1275 (50)	1180 (46 ^{3/8})
44	1117.6 (44)	e	1121 (44 ^{1/8})	2255 (88 ^{3/4})	2725 (107 ^{1/4})	375 (15)	1225 (48)	1125 (44 ^{3/8})
42	1066.8 (42)	e	1070 (42 ^{1/8})	2155 (84 ^{3/4})	2605 (102 ^{1/2})	375 (15)	1175 (46)	1075 (42 ^{3/8})
40	1016 (40)	e	1019 (40 ^{1/8})	2050 (80 ^{3/4})	2485 (97 ^{3/4})	375 (15)	1125 (44)	1025 (40 ^{3/8})
38	965.2 (38)	e	968 (38 ^{1/8})	1950 (76 ^{3/4})	2355 (92 ^{3/4})	350 (14)	1075 (42)	975 (38 ^{3/8})
36	914.4 (36)	e	918 (36 ^{1/8})	1850 (72 ^{3/4})	2235 (88)	350 (14)	1025 (40)	925 (36 ^{3/8})
34	863.6 (34)	e	867 (34 ^{1/8})	1745 (68 ^{3/4})	2115 (83 ^{1/4})	325 (13)	975 (38)	875 (34 ^{3/8})
32	812.8 (32)	e	816 (32 ^{1/8})	1645 (64 ^{3/4})	1995 (78 ^{1/2})	325 (13)	925 (36)	820 (32 ^{3/8})
30	762.0 (30)	e	765 (30 ^{1/8})	1545 (60 ^{3/4})	1865 (73 ^{1/2})	300 (12)	875 (34)	770 (30 ^{3/8})
28	711.2 (28)	e	714 (28 ^{1/8})	1440 (56 ^{3/4})	1745 (68 ^{3/4})	300 (12)	825 (32)	720 (28 ^{3/8})
26	660.4 (26)	e	664 (26 ^{1/8})	1340 (52 ^{3/4})	1625 (64)	300 (12)	750 (30)	670 (26 ^{3/8})
24	609.6 (24)	12.7 (0.50)	613 (24 ^{1/8})	1255 (49 ^{1/2})	1525 (60)	300 (12)	700 (28)	630 (24 ^{3/4})
22	558.8 (22)	12.7 (0.50)	562 (22 ^{1/8})	1155 (45 ^{1/2})	1405 (55 ^{1/4})	275 (11)	650 (26)	580 (22 ^{3/4})
20	508.0 (20)	12.7 (0.50)	511 (20 ^{1/8})	1055 (41 ^{1/2})	1285 (50 ^{1/2})	275 (11)	600 (24)	525 (20 ^{3/4})
18	457.2 (18)	12.7 (0.50)	460 (18 ^{1/8})	950 (37 ^{1/2})	1160 (45 ^{3/4})	250 (10)	550 (22)	475 (18 ^{3/4})
16	406.4 (16)	12.7 (0.50)	410 (16 ^{1/8})	850 (33 ^{1/2})	1035 (40 ^{3/4})	250 (10)	500 (20)	425 (16 ^{3/4})
14	355.6 (14)	12.7 (0.50)	359 (14 ^{1/8})	750 (29 ^{1/2})	915 (36)	250 (10)	450 (18)	375 (14 ^{3/4})
12	323.8 (12 ^{3/4})	12.7 (0.50)	327 (12 ^{7/8})	685 (27)	840 (33)	225 (9)	425 (17)	345 (13 ^{1/2})
10	273.0 (10 ^{3/4})	12.7 (0.50)	276 (10 ^{7/8})	585 (23)	720 (28 ^{1/4})	225 (9)	375 (15)	290 (11 ^{1/2})
8	219.1 (8 ^{5/8})	12.7 (0.50)	222 (8 ^{3/4})	485 (19)	590 (23 ^{1/4})	200 (8)	325 (13)	240 (9 ^{1/2})
6	168.3 (6 ^{5/8})	10.97 (0.432)	171 (6 ^{3/4})	400 (15 ^{3/4})	495 (19 ^{1/2})	200 (8)	275 (11)	200 (7 ^{7/8})
4	114.3 (4 ^{1/2})	8.56 (0.337)	117 (4 ^{5/8})	305 (12)	385 (15 ^{1/4})	175 (7)	225 (9)	150 (6)
3	88.9 (3 ^{1/2})	7.62 (0.300)	92 (3 ^{5/8})	265 (10 ^{1/2})	345 (13 ^{1/2})	175 (7)	200 (8)	135 (5 ^{1/4})
2 ^f	60.3 (2 ^{3/8})	5.54 (0.218)	63 (2 ^{1/2})	—	—	150 (6)	175 (7)	h
1 ^{1/2} ^f	48.3 (1.90)	5.08 (0.200)	51 (2)	—	—	150 (6)	150 (6)	h
1 ^f	33.4 (1.315)	6.35 (0.250)	—	—	—	150 (6)	150 (6)	h
3/4 ^f	26.7 (1.05)	5.54 (0.218)	—	—	—	150 (6)	150 (6)	h
Threaded and Socket-Welded Couplings								
3 ^B	108.0 (4.250)	Coupling	111.1 (4 ^{3/8})	285 (11 ^{1/4})	360 (14 ^{1/4})	—	225 (9)	145 (5 ^{5/8})
2 ^f	76.2 (3.000)	Coupling	79.4 (3 ^{1/8})	—	—	—	175 (7)	h

Dimensiones seleccionadas bocatoma de descarga:

TABLA 37
SELECCIÓN PARA BOCATOMA DE DESCARGA
(TOMADO DE API 650)

Diámetro nominal	NPS 3 (75 mm)
Diámetro exterior (OD)	88.9
Distancia Cuerpo – Brida (J)	175
Distancia del fondo al centro tubería (HN)	220
Diámetro placa de refuerzo (Do)	305
Espesor de pared de tubería (tn)	7.62
Ancho de la Placa de Refuerzo (W)	345
Diámetro de Agujero en Placa de Refuerzo (DR)	92

Bocatoma de Carga

Este accesorio va situado en la parte superior del tanque, específicamente en el techo cerca de la periferia, se asume que el suministro del producto no deberá exceder un tiempo mayor a 8 horas, ya que por obvias razones para un tanque de dimensiones como el mencionado deberá estar situado cerca de un muelle donde un buque cisterna lo pueda alimentar sin problemas, entonces basados en estas premisas, se calcula el caudal de entrada mediante la fórmula:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{200000}{480} \cong 420 \text{ Gl/min}$$

Este valor ayudará a calcular la tubería, regida por API a través de la siguiente tabla, la cual caracteriza tuberías con brida:

TABLA 38
DIMENSIONES BOCATOMA DE CARGA (TOMADO DE API 650)

Table 5-14—Dimensions for Flanged Roof Nozzles (mm [in.])				
Column 1	Column 2	Column 3	Column 4	Column 5
Nozzle NPS	Outside Diameter of Pipe Neck	Diameter of Hole in Roof Plate or Reinforcing Plate D_P	Minimum Height of Nozzle H_R	Outside Diameter of Reinforcing Plate ^a D_R
1½	48.3 (1.900)	50 (2)	150 (6)	125 (5)
2	60.3 (2 ³ / ₈)	65 (2½)	150 (6)	175 (7)
3	88.9 (3½)	92 (3 ⁵ / ₈)	150 (6)	225 (9)
4	114.3 (4½)	120 (4 ⁵ / ₈)	150 (6)	275 (11)
6	168.3 (6 ⁵ / ₈)	170 (6¾)	150 (6)	375 (15)
8	219.1 (8 ⁵ / ₈)	225 (8 ⁷ / ₈)	150 (6)	450 (18)
10	273.0 (10¾)	280 (11)	200 (8)	550 (22)
12	323.8 (12¾)	330 (13)	200 (8)	600 (24)

Por lo cual se selecciona la tubería a continuación detallada para el caudal deseado y las condiciones establecidas por la norma, además de un gráfico esquemático de la tubería con brida.

TABLA 39
SELECCIÓN DE BOCATOMA DE CARGA

Diámetro nominal	NPS 6 (152.4 mm)
Diámetro exterior (OD)	168.3
Altura Brida (Hr)	150
Diámetro exterior placa de refuerzo (DR)	375
Diámetro agujero en plancha de techo (DP)	170

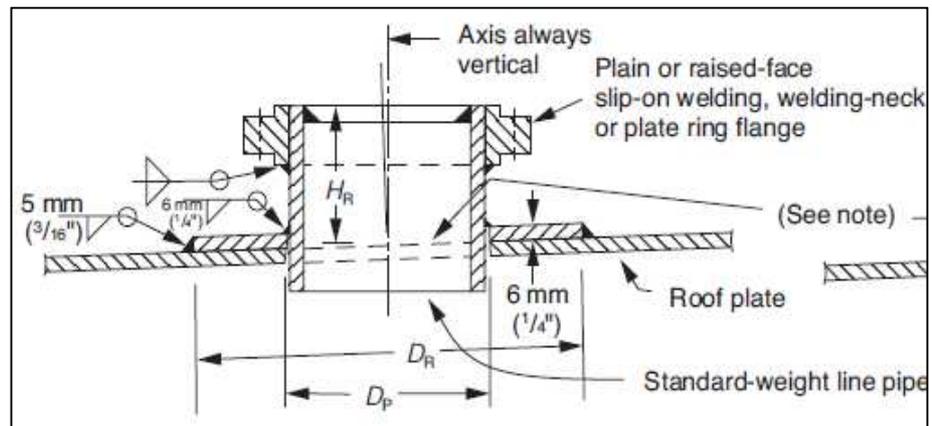


Figura 2. 14 Bocatoma de Carga (Tomado de API 650)

Cálculo de Bomba de Descarga

Una vez seleccionada la tubería que se usará en la bocatoma de descarga de producto, es necesario encontrar la bomba que más se ajuste a estas necesidades, esta deberá de cumplir con ciertas características basadas en el producto a bombear.

La bomba deberá ser de engranes debido a que el bunker es un producto de alta viscosidad.

Se determina las pérdidas debido a la fricción en la tubería y altura, el recorrido hasta el tanque de uso diario es 200 metros lo cual es un dato proporcionado por el usuario.

Considerando el diámetro interior de la bocatoma de descarga (73.66 mm), se basa en la fórmula de Bernoulli para calcular el cabezal en metros a vencer.

$$P_L = \frac{v^2 f L}{g D_i}$$

Donde se tiene:

L = Longitud de tubería(m).

v = Velocidad del fluido en el interior de la tubería (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (9.8m/s²)

D_i =Diámetro interno de la tubería.(mm)

f =Factor de fricción, se encuentra mediante el diagrama de Moody, y se procederá a hallarlo de la siguiente manera.

Primero se determina el valor de Reynolds mediante la fórmula:

$$R_e = \frac{v D_i}{\nu}$$

Donde:

v = Velocidad del fluido dentro de la tubería(m/s)

D_i =Diámetro interno de la tubería.(m)

ν = Viscosidad cinemática del bunker
(m²/s , @ temperatura de bombeo 50 °C)

$$R_e = \frac{(2,66)(0.07366)}{5.2 \times 10^{-4}}$$

$$R_e = 376,79$$

$$f = \frac{64}{R_{eD}}$$

$$f = \frac{64}{376,79}$$

$$f = 0.16$$

Una vez hallado este valor se procede a calcular las pérdidas por fricción

$$P_L = \frac{(2,66)^2(0,16)(200)}{(9,8)(0,07366)}$$

$$P_L = 313,65 \text{ m}$$

El valor que se haya de P_L son las pérdidas por fricción en el interior de la tubería, a este valor se deben sumar el valor de cabezal de altura del tanque que para este caso se considera de 4 metros por lo que las pérdidas totales serían.

$$P_t = 317,65 \text{ m}$$

Se Procede a calcular la potencia hidráulica de la bomba

$$Pot = \rho g Q P_t$$

Dónde:

$\rho =$ densidad del bunker (Kg/m^3)

$g =$ aceleración de la gravedad

$Q =$ caudal hidráulico (m^3/s)

$P_t =$ perdidas totales fricción + altura. (m)

$$Pot = (296,22)(9,8)(0,0069)(317,65)$$

$$Pot = 6,3 \text{ Kw}$$

Para calcular la potencia efectiva que deberá suministrar la bomba se asume los valores de eficiencia mecánica en 75 % y un 90 % de eficiencia del motor eléctrico.

$$Pot_{efec} = 6,3 / (0.75)(0.9)$$

$$Pot_{efec} = 9,48 Kw (12 HP)$$

Entonces la potencia requerida suministro de la bomba será de 9,48KW, por lo que solicitará a un proveedor una bomba con dichas características basadas en la potencia, cabezal y caudal a manejar.

Cálculo del Calentador de Succión

Es necesario seleccionar un sistema de calentamiento con el fin de bajar la viscosidad del Fuel Oil para lograr una mayor fluidez del producto, para esto se procederá a diseñar y seleccionar un calentador de succión, el cual no es otra cosa que un dispositivo similar a un intercambiador de calor de tubo y coraza, en el cual fluye vapor por el interior de los tubos mientras que el hidrocarburo fluye por el lado de la coraza, teniendo una correcta transferencia de calor, se logra disminuir considerablemente la potencia de bombeo a través del decremento de la viscosidad del producto.

A continuación se muestra un esquema de las temperaturas de trabajo conocidas en el calentador de succión.

Dónde:

T_{iVapor} = Temperatura de entrada del vapor

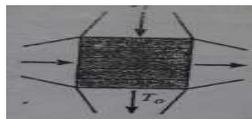
$T_{iBunker}$ = Temperatura de entrada del bunker

$T_{fBunker}$ = Temperatura de salida del bunker

T_{fVapor} = Temperatura de salida del vapor

$$T_{iBunker} = 18^{\circ}\text{C}$$

$$T_{iVapor} = 235^{\circ}\text{C}$$



$$T_{fVapor} = ?^{\circ}\text{C}$$

$$T_{fBunker} = 50^{\circ}\text{C}$$

El calor que se debe generar para que el bunker tenga una viscosidad adecuada para su bombeo se lo halla mediante la siguiente ecuación:

$$q = \dot{m}_{Bunker} C_{p_{Bunker}} (T_{f_{Bunker}} - T_{i_{Bunker}})$$

Dónde:

q = Calor generado

\dot{m}_{Bunker} = Flujo másico del bunker

$C_{p_{Bunker}}$ = Calor específico del bunker

El flujo másico se obtiene de la siguiente manera, basado en una densidad $\rho = 987.4 \text{ Kg}/\text{m}^3$

$$\left(110 \frac{\text{gal}}{\text{m}^3}\right) \left(0.003785 \frac{\text{m}^3}{\text{gal}}\right) \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}\right) = 0.006939 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$\dot{m}_{Bunker} = \left(0.006939 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}\right) \left(987.4 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)$$

$$\dot{m}_{Bunker} = 6.85 \text{ Kg}/\text{seg}$$

Por lo tanto la expresión de calor quedaría de la siguiente manera:

$$q = \left(6.85 \frac{Kg}{seg}\right) \left(1700 \frac{J}{Kg^{\circ}K}\right) (50 - 18)$$

$$q = 372640 W$$

Para determinar el área requerida de transferencia de calor se lo hallará mediante la siguiente expresión:

$$q = \dot{m}_{vapor} C_{pvapor} (T_{ivapor} - T_{fvapor})$$

Dónde:

q = Calor generado (es el mismo valor hallado para el bunker)

\dot{m}_{vapor} = Flujo másico de vapor

C_{pvapor} = Calor específico del vapor

El flujo másico del vapor se obtiene mediante la siguiente expresión, basado en los parámetros que muestra la caldera a continuación:

$$\dot{m}_{vapor} = \left(5000 \frac{Kg}{h}\right) \left(\frac{h}{60seg}\right)$$

$$\dot{m}_{vapor} = 1.38 \frac{Kg}{seg}$$

Características técnicas para la selección de la caldera basada en marca Bosch modelo UL-S

Tipo	UNIVERSAL UL-S	UNIVERSAL UL-SX
Portador de calor	Vapor saturado - alta presión	Vapor sobrecalentado - alta presión
Modelo	Técnica de calderas pirotubulares de tres pasos y un hogar interior	Técnica de calderas pirotubulares de tres pasos y un hogar interior
Potencia	1.250 hasta 28.000 kg/h	2.600 hasta 28.000 kg/h
Presión de diseño	hasta 30 bares	hasta 30 bares
Temperatura máx.	hasta 235 °C	hasta 300 °C
Combustible	fuel-oil, gas	fuel-oil, gas

Basados en un calor específico $C_{pVapor} = 1986.92 \frac{J}{Kg^{\circ}K}$ el valor de la temperatura de salida de vapor se halla de la siguiente manera

$$372640 = \left(1.38 \frac{Kg}{seg}\right) \left(1986.92 \frac{J}{Kg^{\circ}K}\right) (235 - T_{fVapor})$$

$$T_{fVapor} = 99.09^{\circ}C$$

Se Procede a encontrar el área útil de transferencia de calor a través de la expresión de calor usando la diferencia de temperatura media logarítmica:

$$q = UAF\Delta T_{ml}$$

Dónde:

U = Coeficiente global de transferencia de calor

A = Área de transferencia de calor

F = Factor de corrección

ΔT_{ml} = Diferencia de temperatura media logarítmica

El coeficiente global de transferencia de calor U se calcula a través de la ecuación

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}}$$

Dónde:

h_i = Coeficiente de convección

h_o = Coeficiente promedio de convección

Los valores de ambas expresiones se basan en el cálculo con los números de Nusselt, Reynolds y Prandtl. Mostrados a continuación

$$h_i = \frac{k}{D} Nu_D$$

$$Nu_D = 0.023(Re)^{4/5}(Pr)^{0.4}$$

$$Re = \frac{4\dot{m}_{vapor}}{\pi D\mu}$$

$$D = 12mm$$

$$\mu = 173.28 \times 10^{-7}$$

$$Pr = 0.9972$$

$$k = 34.54 \times 10^{-3}$$

$$h_o = 4000 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Re = \frac{41.38 \text{ Kg/seg}}{\pi (12 \times 10^{-3}) (173.28 \times 10^{-7})}$$

$$Re = 8.45 \times 10^6$$

$$Nu_D = 0.023 (8.45 \times 10^6)^{4/5} (0.9972)^{0.4}$$

$$Nu_D = 12248.9$$

$$h_i = \frac{34.54 \times 10^{-3}}{12 \times 10^{-3}} (12248.9)$$

$$h_i = 35256.41 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

De esta manera se calcula el valor del coeficiente global de transferencia de calor

$$U = \frac{1}{\frac{1}{35256.41 \frac{W}{m^2 \cdot K}} + \frac{1}{4000 \frac{W}{m^2 \cdot K}}}$$

$$U = 395.51 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

El cálculo del factor de corrección F se basa en los valores R y P:

$$R = \frac{T_{iBunker} - T_{fBunker}}{T_{fVapor} - T_{iVapor}}$$

$$R = \frac{18 - 50}{99.09 - 235}$$

$$R = 0.23$$

$$P = \frac{T_{fVapor} - T_{iVapor}}{T_{iBunker} - T_{iVapor}}$$

$$P = \frac{99.09 - 235}{18 - 235}$$

$$P = 0.62$$

Por lo tanto el valor F es:

$$F = 0.95$$

La diferencia de temperaturas media logarítmica se calculada a través de la siguiente ecuación la cual toma los valores de temperatura de entrada y salida de vapor y bunker.

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{iVapor} - T_{fBunker}) - (T_{fVapor} - T_{iBunker})}{\ln \left[\frac{(T_{iVapor} - T_{fBunker})}{(T_{fVapor} - T_{iBunker})} \right]}$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{(235 - 50) - (99.09 - 18)}{\ln \left[\frac{(235 - 50)}{(99.09 - 18)} \right]}$$

$$\Delta T_{ml} = 126.07^{\circ}\text{C}$$

En consecuencia la expresión para el valor del área de transferencia de calor es el siguiente:

$$A = \frac{q}{UFA\Delta T_{ml}}$$

$$A = \frac{372260W}{\left(395.51 \frac{W}{m^2 \cdot K}\right) (0.95)(126.07)}$$

$$A = 7.86m^2$$

$$A = \pi NDL$$

La longitud necesaria que deben tener los 30 tubos de diámetro 12 mm es la mostrada a continuación:

$$L = \frac{A}{N\pi D}$$

$$L = \frac{7.86}{\pi \left((12 \times 10^{-3}) \right) (30)}$$

$$L = 6.9m \cong 7m$$

CAPÍTULO 3

3.- CONSIDERACIONES DE CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE

3.1 Selección del Procedimiento de Soldadura.

Las normativas actuales establecen que antes de iniciar cualquier procedimiento de soldadura sea de partes para producción industrial o construcción en general se debe siempre calificar y aprobar los materiales a soldar, metales de aportación, procedimiento de soldadura y soldadores.

Las variables y parámetros de soldadura que deben analizarse para la calificación difieren entre normas tanto en información como clasificación, sin embargo y a pesar de las diferencias mencionadas pueden categorizarse de forma básica de la siguiente manera:

- a. Juntas y Uniones
- b. Material base
- c. Electrodo y metales de aportación

- d. Posiciones de soldadura
- e. Calificación de soldadores y características eléctricas

API-650 establece que tanto procedimiento de soldadura como habilidad de soldador está calificada bajo la normativa ASME IX QW, haciendo referencia a esta norma. Para poder calificar los distintos procedimientos se deben identificar y analizar cada una de las variables mencionadas anteriormente.

Los procesos contemplados dentro de ASME IX son mencionados a continuación:

SMAW: Soldadura de arco con electrodo revestido. (Shielded metal arc welding)

SAW: Soldadura de arcosumergido (submerged arc welding).

GMAW: Soldadura de arco con electrodo metálico y gas protector. (Gas metal arcwelding)

GTAW: Soldadura de arco con electrodo de tungsteno y gas protector. (Gas tungstenarcwelding)

FCAW: Soldadura de arco con electrodo con núcleo de fundente. (Flux coredarcwelding)

PAW: Soldadura de arco con plasma (Plasma arcwelding)

OFW: Soldadura con oxígeno y combustible (Oxy fuel welding).

Existen más procesos y subprocesos pero no se los ha considerado para este caso de estudio.

Juntas y Uniones

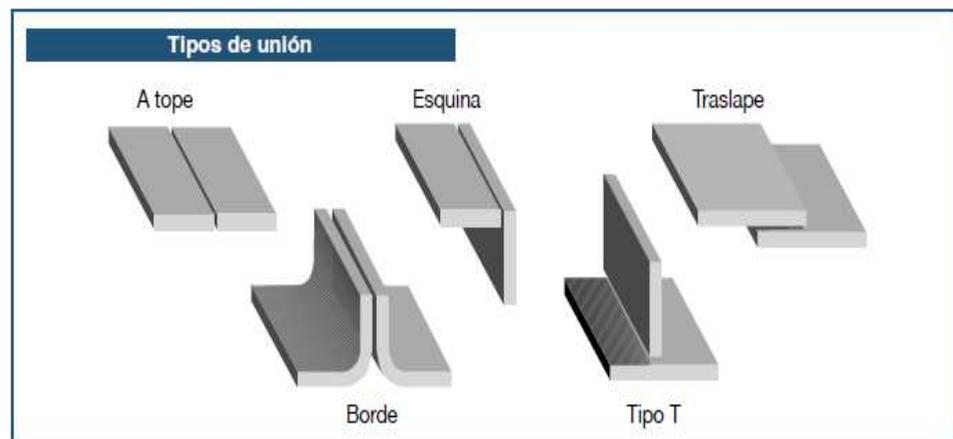


Figura 3. 1Tipos de Unión (tomada de manual Indura)

En el gráfico anterior se detallan los distintos tipos de uniones que se pueden encontrar en un proceso de soldadura.

Existen también tipos de juntas relacionados al código ASME los cuales son:

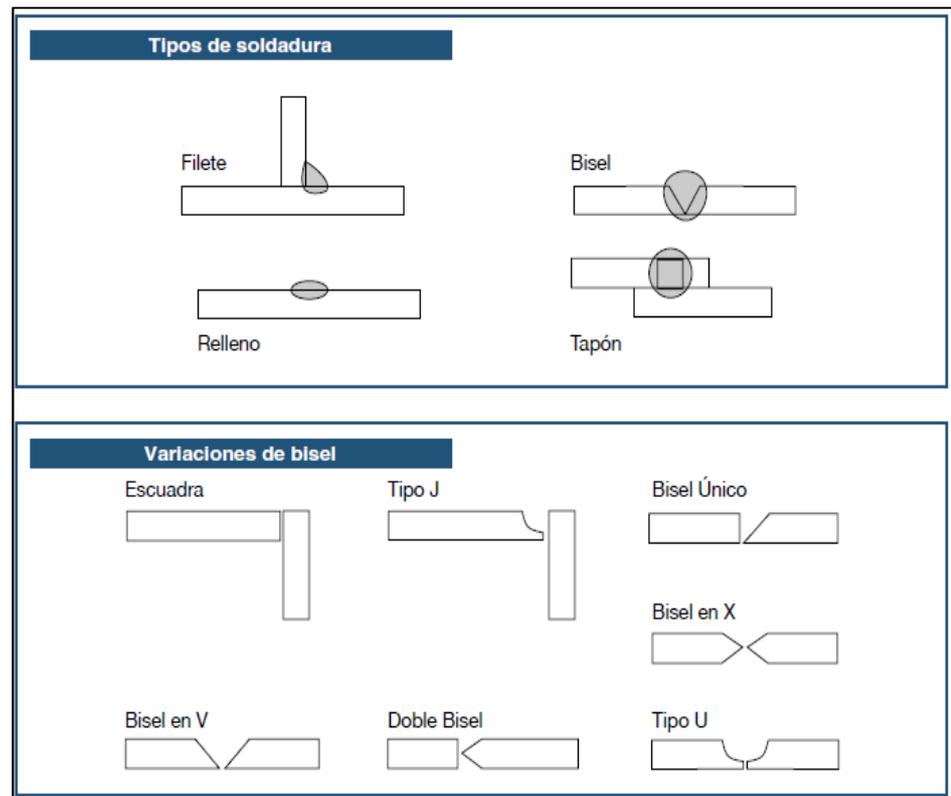


Figura 3. 2 Tipos de Juntas (Tomado de manual Indura)

Material Base

El material base es acero A- 36, el cual es un acero de bajo contenido de carbono, y esto repercute en una muy buena soldabilidad, además de poseer características mecánicas buenas que lo vuelven bastante atractivo para la construcción de estructuras metálicas debido a su bajo costo. A continuación se muestra algunas de las características de este acero.

TABLA 40
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO A36 (TOMADA DE
CATÁLOGO IPAC)

Elemento	C	Cu	Fe	Mn	P	S
%	0.25	0.02	99	0.8 - 1.2	Máx.	Máx.
					0.04	0.05

TABLA 41
PROPIEDADES DEL ACERO ASTM A-36 (TOMADO DE CIENCIA
DE MATERIALES DE L. MANGONON)

Propiedad	Valor	Unidades
Densidad	7850	Kg/m^3
Límite de fluencia	32- 36 (250-280)	Ksi (MPa)
Resistencia a la tensión	58-80 (400-550)	Ksi (MPa)
Módulo de elasticidad	29000	Ksi
% de elongación mínimo	20(8")	%
Punto de fusión	1538	°C

Electrodos y Materiales de Aportación

Es necesario analizar las condiciones de trabajo específicas para poder seleccionar el electrodo y diámetro adecuado que más se adapte a estas condiciones. Es un análisis simple que reconoce el metal base, la condiciones del área o pieza a soldar, la entrega de corriente de la maquina soldadora y entre otras.

Existen en el mercado una gama sumamente amplia de electrodos para diferentes aplicaciones que van desde electrodos para arco manual, pasan por electrodos para procesos semiautomáticos hasta llegar a electrodos con núcleo fundente.

La nomenclatura más común para la clasificación de electrodos se da en base a la norma AWS, en donde se tiene que se compone de la letra E seguida de cuatro dígitos.

E -6010

Dónde:

- E = Electrodo arco eléctrico.
- 60XX = Los dos primeros dígitos indican la resistencia en KSI, que en este caso sería 60000 PSI.
- XX1X = El tercer dígito indica la posición para soldar el electrodo

TABLA 42
TIPO DE POSICIONES DE SOLDADURA (TOMADO DE
MANUAL INDURA)

1	Toda posición
2	Plana y horizontal
3	Vertical
4	Sobre cabeza

- XXX0 = El cuarto dígito indica el tipo de recubrimiento, escoria y penetración del electrodo.

TABLA 43
TIPO DE RECUBRIMIENTO DE ELECTRODOS
(TOMADO DE AGA)

Dígito	Escoria	Penetración
0	Orgánica	Mucha
1	Orgánica	Mucha
2	Rutilica	Mediana
3	Rutilica	Poca
4	Rutilica	Poca
5	Básica	Mediana
6	Básica	Mediana
7	Mineral	Mediana
8	Básica	Mediana

Posiciones de Soldadura

A continuación se muestran las diferentes posiciones de soldadura existentes, teniendo de manera general posición plana, horizontal, vertical y sobre cabeza.

Cabe destacar que el soldador debe ser calificado en cada posición en que va a soldar a menos que se califique en la posición 6G (rota en tubería a 45°) que califica todas las posiciones anteriores.

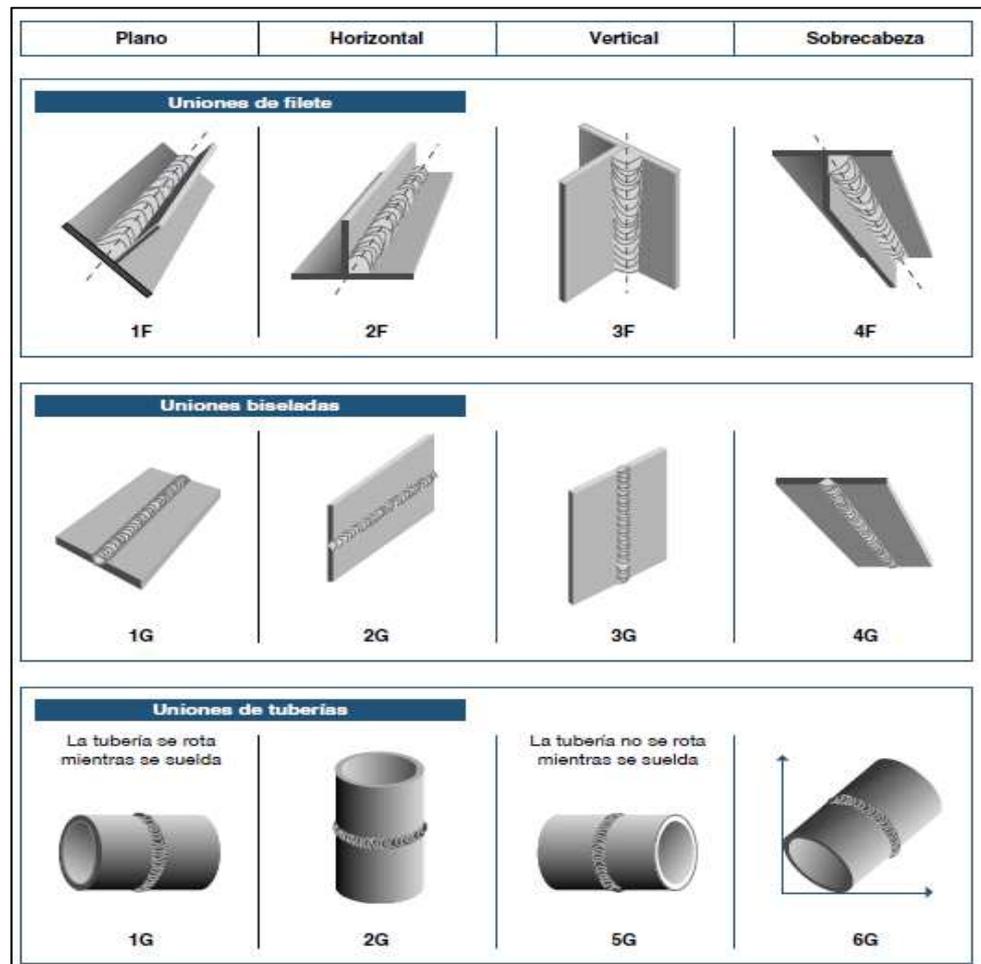


Figura 3. 3 Posiciones de Soldadura (tomado de Indura)

La nomenclatura se basa en un número y una letra que corresponden a la posición del eje de soldadura propiamente dicho y al tipo de unión. Se detalla a continuación

1= Plana

2= Horizontal

3= Vertical

4= Sobre cabeza

5= Tubería horizontal

6= Tubería inclinada 45°

F= Unión de filete

G=Unión biselada o tubería

Diseño del procedimiento

A continuación se detalla en una tabla resumida el proceso de soldadura a utilizar en las diferentes áreas de este tanque.

TABLA 44
DISEÑO DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

N°	Ubicación	Orientación de la Junta	Tipo de Junta	Proceso
1	Fondo	Plana	Traslape	SMAW
2	Fondo vs. 1° anillo	Circunferencial	Filete doble	SMAW
3	1° vs. 2° anillo	Circunferencial	A tope	SMAW
4	2° vs. 3° anillo	Circunferencial	A tope	SMAW
5	3° vs. 4° anillo	Circunferencial	A tope	SMAW
6	4° vs. 5° anillo	Circunferencial	A tope	SMAW
7	5° vs. ángulo rigidizante	Circunferencial	A tope	SMAW
8	1°,2°,3°,4°,5° anillos	Vertical	A tope	SMAW
9	Techo	Plana	Traslape	SMAW
10	Elementos Estructurales	Multidireccional	A tope	SMAW
11	Elementos Estructurales	Multidireccional	Filete	SMAW
12	Accesorios	Multidireccional	Filete	SMAW
13	Accesorios de techo	Multidireccional	Filete	SMAW

Una vez seleccionado el proceso de soldadura para los elementos que conforman el tanque, es necesario seleccionar los parámetros para los mismos.

Procedimiento de Soldadura SMAW

Se define como un proceso de unión metálica por fusión localizada producida por un arco eléctrico entre un electrodo metálico y el metal base.

Este electrodo consiste en un núcleo metálico rodeado por un revestimiento, este núcleo es depositado en el metal base a través de una descarga eléctrica generada por la corriente de soldadura.

El revestimiento determina las características mecánicas y químicas de la unión soldada, se encarga de generar gases protectores e ionizados tanto para dirigir el arco como para crear una atmosfera protectora, además genera escoria para proteger el metal soldado hasta su solidificación.

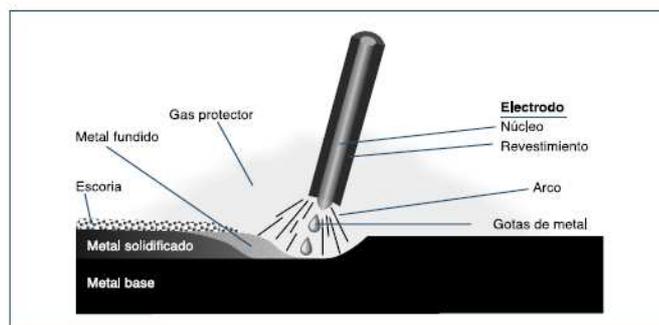


Figura 3. 4Proceso SMAW (tomado de Indura)

El proceso de arco manual o SMAW posee ciertas desventajas con respecto a otros tales como:

- Baja velocidad de deposición.
- Baja eficiencia.
- Producción de escoria que requiere ser removida.

Pero debido a los trabajos en altura se torna un método menos complejo, ya que solo requiere la conexión del cable de tierra y la colocación del electrodo en el punto a soldar, dándole mayor movilidad al soldador.

Selección del Electrodo

En el diseño del proceso de soldadura se ha seleccionado como único proceso el SMAW, se consideran 2 pases el primero como un cordón de raíz donde la penetración es primordial y se utilizará un electrodo E 6010 y el segundo un pase de acabado en el cual se utilizará un electrodo E 6013.

Pase de Raíz (E 6010)

Presenta rápida solidificación del metal depositado facilitando la soldadura en posición vertical y sobre cabeza.

El arco puede ser dirigido fácilmente en cualquier posición, permitiendo altas velocidades de deposición.

Este electrodo es apto para ser utilizado en todas las aplicaciones de soldadura en acero al carbono, especialmente en trabajos donde se requiera alta penetración

Posee cualidades como:

- Alta velocidad de deposición
- Depósitos lisos
- Bajo chisporroteo
- Fácil remoción de escoria
- Excelente penetración

TABLA 45
AMPERAJES RECOMENDADOS ELECTRODO E 6010
(TOMADO DE INDURA)

Diámetro	Longitud	Amperaje		Electrodos
		Min.	Máx.	X Kg aprox.
mm	mm			
2,4	300	60	90	75
3,2	350	80	110	35
4,0	350	110	160	24
4,8	350	150	200	17

Pase de acabado (E 6013)

Electrodo caracterizado por una escoria fácil de remover y un arco suave y estable.

Electrodo especialmente recomendado para soldar láminas metálicas delgadas y en general toda clase de aceros al carbono.

TABLA 46
AMPERAJES RECOMENDADOS ELECTRODO E 6013
(TOMADO DE INDURA)

Diámetro	Longitud	Amperaje		Electrodos X Kg aprox.
		Min.	Máx.	
2,4	300	40	90	52
3,2	350	70	120	35
4,0	350	120	190	22
4,8	350	160	240	17

Esfuerzo máximo en cordón de soldadura inferior

$$\sigma = \frac{pD}{2t}$$

Dónde:

p = presión

D= diámetro nominal del tanque

t= espesor de pared en base del tanque

$$p = \rho gh$$

$$p = (787.4)(9.8)(7.5)$$

$$p = 57,87 \text{ KPa}$$

$$\sigma = \frac{57870(11,89)}{(2)(0,006)}$$

$$\sigma = 57,34 \text{ MPa}$$

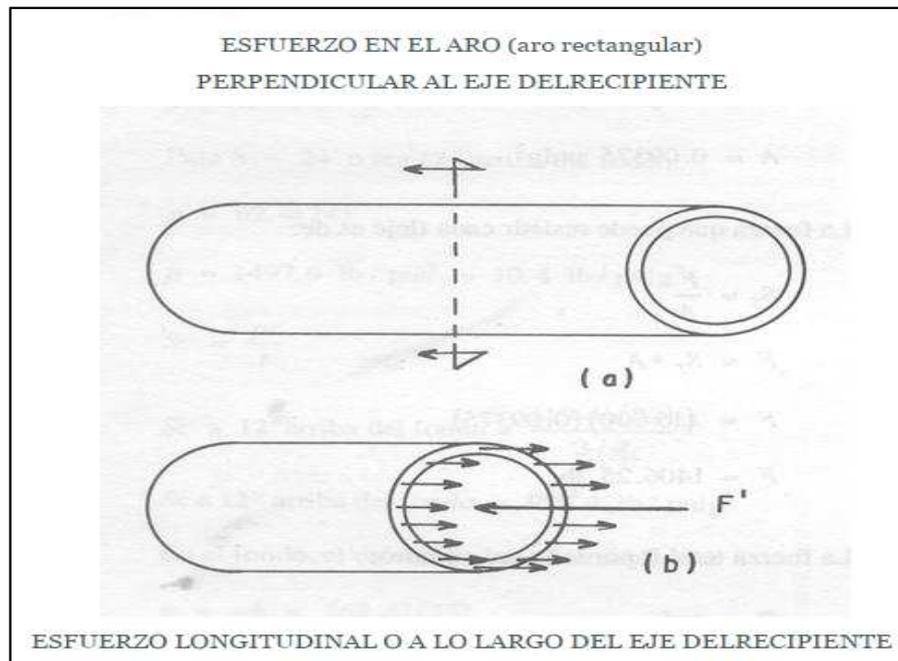


Figura 3. 5 Esfuerzo longitudinal en fondo del tanque

Evidentemente el electrodo E 601X satisface ampliamente los esfuerzos calculados en la unión entre el fondo y manto del tanque que es considerada como la zona con mayor concentración de esfuerzos, por lo que se lo designa como el electrodo óptimo para soldar el resto de uniones en el tanque.

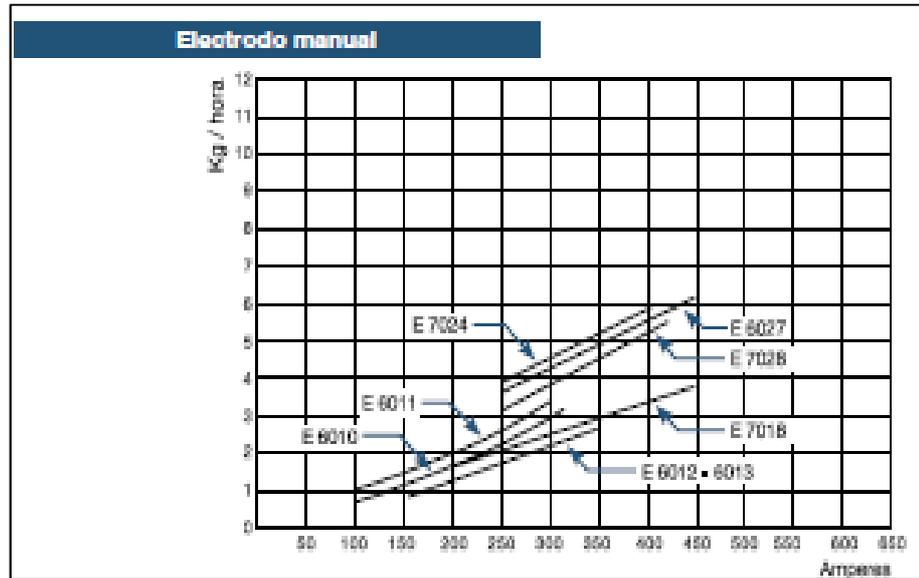


Figura 3. 6 Selección de Electrodo Óptimo (Tomado de Manual Indura)

Eficiencia de aportación:

Relación entre el metal efectivamente depositado y cantidad en peso de electrodos requeridos para efectuar ese depósito.

TABLA 47

EFICIENCIA DE DEPOSICIÓN (TOMADO DE MANUAL INDURA)

Proceso	Eficiencia deposición (%)
Electrodo manual	60 – 70
MIG solido	90
MIG tubular c/protección	83
MIG tubular s/protección	79
TIG	95
Arco sumergido	98

Factor de operación:

Se define como la relación entre el tiempo en que ha existido arco y el tiempo real o tiempo total pagado.

TABLA 48
FACTOR DE OPERACIÓN (TOMADO DE MANUAL INDURA)

Proceso	Factor de Operación (%)
Electrodo manual	5 - 30
MIG solido	10 - 60
MIG tubular	10 - 60
TIG	5 -20
Arco sumergido	50 - 100

Calificación de Soldadores

La calificación de soldadores para procesos SMAW se basa en la normativa AWS D1.1 para acero estructural donde se elaborarán los respectivos registros de calificación de soldadores. A continuación se muestra un ejemplo ilustrativo de los PQR para el proceso de soldadura utilizado:

TABLA 49
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

WPS ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA			
Nombre de la empresa	Tesis	Identificación nº	1
Proceso de Soldadura	SMAW	Soporte del WPS nº	1
Tipo	Manual	Revisión	
Soldador	Evaristo	Fecha	

	Caicedo		
		Autorizado por	
DISEÑO DE UNIÓN		POSICIÓN	
Tipo de Unión	A tope	Ranura	3G
Tipo de Soldadura	Ranura en V (Simple)	Filete	n/a
Abertura de Raíz	3,2 mm	Elemento	Plancha
Ángulo de ranura	60°		
Limpieza de raíz	Esmeril		
METAL BASE		CARACTERISTICAS ELECTRICAS	
Especificación acero MB1	ASTM A36	Modo de transferencia SMAW	Corto circuito
Especificación acero MB2	ASTM A36	Corriente	DCEP
Espesor Plancha	6mm		
METAL DE APORTE		TECNICA	
Especificación AWS	A 5.1	Aportación	Oscilante
Clasificación AWS	E 6010 – E 6013	Pases	Múltiple
Marca	INDURA	Limpieza entre pases	Esmeril
Tamaño electrodo	3.2 mm		
PROTECCIÓN			
Fundente	Revestimiento		
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA			
SMAW PASE 1		SMAW PASE 2	
Progresión	Ascendente	Progresión	Ascendente
Clase	E 6010	Clase	E 6013
Diámetro	3,2 mm	Diámetro	3,2 mm
Tipo y Polaridad	DCEP	Tipo y Polaridad	DCEP
Amperaje	105	Amperaje	115
Voltaje	17-19	Voltaje	17- 19
Velocidad de Avance	80 mm/min	Velocidad de Avance	75 mm/min

3.2 Corte de Planchas Metálicas

El corte de las planchas que conformarán el tanque es un proceso relativamente sencillo pero importante debido a que incidirá

directamente en que se tenga una buena calidad en los subprocesos siguientes y en la conformación del tanque.

El primer paso que se debe realizar antes de realizar cualquier corte de las planchas, es la identificación en el plano de las misma con su respectivo registro, ya que de esta manera se garantiza una correcta ubicación, sabiendo la posición que le corresponde, el número de anillo al que pertenece y en caso de fabricar varios tanques en simultaneo saber al cual pertenece.

Generalmente las planchas vienen de origen con medidas aproximadas tanto en longitud como ancho, por lo que es necesario refrentarlas, es decir cortar los filos garantizando la uniformidad y perpendicularidad entre sus caras.

Es necesario que se use un proceso semiautomático de corte con oxi-acetileno conocido como frog, para realizar el corte y biselado en caso de ser necesario de las planchas metálicas, aquí se procede a fijar las medidas y ángulos de biselado en acuerdo con los procedimientos de soldadura que se diseñó anteriormente. Los detalles de las presiones de trabajo para los gases se las detalla en la siguiente tabla, se utiliza una boquilla HA-311.

TABLA 50
DETALLE DE PRESIONES PARA CORTE DE PLANCHAS
(TOMADO DE MANUAL AGA)

Boquilla	Material	Acetileno		oxigeno		Velocidad de corte
Serie	Espesor	Presión (KPA)	Flujo (m3/h)	Presión (KPA)	Flujo (m3/h)	mm./min
HA 311-1	1 a 3	30-80	0.1	50-250	1.3	Máx. 100
HA 311-2	3 a 10	30-80	0.3	100-250	1.6	950 - 430
HA 311-3	10 a 25	30-80	0.4	155-410	3.6	580 - 350
HA 311-4	25 a 50	30-80	0.5	155-410	6.8	500 - 300

Una vez que se realiza el proceso de corte, la plancha es colocada con orientación del bisel hacia abajo para realizar limpieza y desbaste de las rebabas que resultaron del proceso de corte.

3.3 Rolado de planchas

Este es un proceso de conformado metálico que consiste en dar una curvatura a las planchas previamente cortadas a medida y biseladas con el fin de amoldarlas al diámetro requerido para la construcción del tanque.

El método de verificación de la curvatura es mediante la utilización de una matriz guía que no es otra cosa que una sección perimetral con el diámetro requerido, considerando que el diámetro utilizado siempre es el diámetro interno del tanque.

La norma API-650 ofrece un gráfica práctica para determinar dependiendo del diámetro del tanque y espesor de las planchas utilizadas si se requiere o no el rolado de las planchas. El gráfico se muestra a continuación.

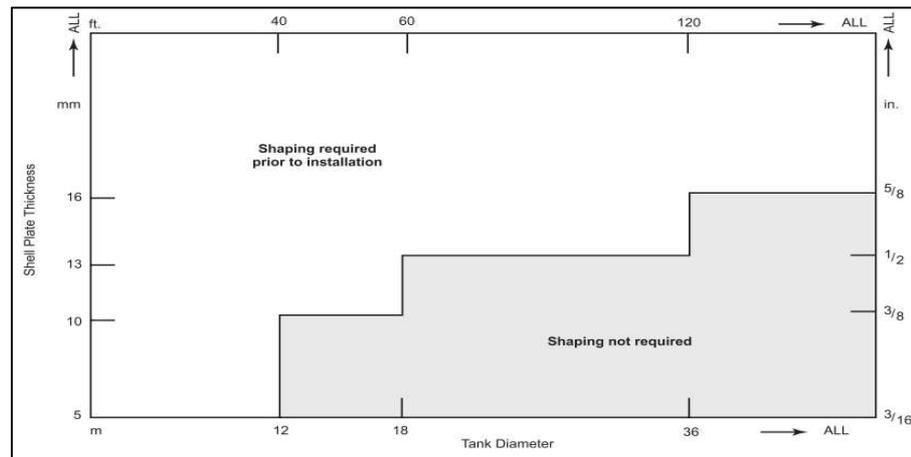


Figura 3. 7 Rolado de Planchas (tomado de API 650)

Cuando existiesen combinaciones de diámetros y espesores que se ubican en la gráfica sobre los límites de rolado o no rolado requerido, como en este caso, las planchas siempre se deben rolar. Así mismo una vez que se ha realizado con éxito el proceso de rolado se debe tener sumo cuidado en la transportación, ya que al existir en ocasiones planchas con espesores pequeños estas tenderán a deformarse con facilidad.

3.4 Preparación superficial de las planchas.

La preparación previa de la superficie de las planchas es uno de los procedimientos más importantes para garantizar una óptima calidad en el acabado de la pintura que protegerá a la estructura metálica.

Para lograr esto se debe seleccionar de forma correcta el método y el grado de limpieza de la superficie. Las variables principales de influencia son el tipo de pintura a utilizar y tipo de atmosfera existente donde se ubicará la estructura.

Los métodos de limpieza existentes son:

Método manual: Con este método se retiran todos los residuos de óxido, pintura vieja, etc. Pero es un procedimiento impráctico debido a que el operador utiliza martillos, espátulas, raspadores entre otros. Tomando mucho tiempo y generando demoras.

Método con Herramientas mecánicas: En este método el operador recibe la ayuda de herramientas mecánicas tales como esmeriles y lijadoras.

Método Neumático (Arenado/Granallado): Se basa en hacer impactar contra la superficie metálica partículas finas de arena o granalla que viajan a gran velocidad. Es una de las técnicas más efectivas para la remoción de óxido, restos de calamina y grasas. Deja la superficie con un perfil de anclaje adecuado para el proceso

de pintado. Es necesario el uso de compresores y tolvas para generar la presión neumática para la realización de esta actividad.



Figura 3. 8 Método Neumático

El proceso esta estandarizado y regido a normas, en este caso se toma la SSPC (STEEL STRUCTURES PAINTING COUNCIL) y NACE (NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS) como referencia. El estándar SSPC realiza una comparación con fotografías, y utiliza un material abrasivo que como se menciona puede ser arena o granalla.

A continuación se muestra descripciones breves de los principales métodos de preparación de superficie:

SSPC-1 Limpieza con solvente

Es llamada limpieza con solvente, sin embargo está basado en la utilización de productos tales como: vapor de agua, soluciones alcalinas, emulsiones jabonosas, detergentes y solventes orgánicos. Mediante este método son removidos la mayoría de los contaminantes como: grasa, aceite, polvo y sales solubles en el agente limpiador. La solución limpiadora es aplicada suavemente o mediante equipo de presión, seguido de un lavado con agua natural y secado con equipo de vacío o simplemente utilizando aire seco.

SSPC-2 Limpieza Manual

Este método utiliza herramientas manuales, no eléctricas, para eliminar impurezas, tales como: residuos de soldaduras, oxidación, pintura envejecida y otras incrustantes que puedan ser removidos con el solo esfuerzo humano.

A través de este método, generalmente no es posible desprender completamente todas las incrustaciones. Los bordes de pintura envejecida, deben ser desvanecidos para mejorar la apariencia del repintado que se haga posterior a la limpieza.

SSPC-3 Limpieza Mecánica

La limpieza mecánica, es un método que utiliza herramienta eléctrica o neumática, para eliminar impurezas tales como: residuos de soldadura, oxidación, pintura envejecida y otros incrustantes que pueden ser removidos con estas herramientas. A través de este método, generalmente no es posible desprender completamente todas las incrustaciones.

Los bordes de pintura envejecida, deben ser desvanecidos, para mejorar la apariencia del repintado que se haga posterior a la limpieza.

SSPC-4 Limpieza con flama

Este método consiste en pasar sobre las superficies metálicas, altas temperaturas a alta velocidad.

Generalmente se usa flama de acetileno. Una vez aplicada la flama a la superficie, ésta debe limpiarse con cepillo de alambre para eliminar la escama floja y el óxido. La pintura primaria deberá aplicarse antes de que la superficie esté completamente fría.

SSPC-5 (NACE-1) Limpieza con chorro abrasivo grado metal blanco

Este tipo de limpieza, utiliza algún tipo de abrasivo a presión para limpiar la superficie, a través de este método, se elimina toda la escama de laminación, óxido, pintura y cualquier material incrustante. Una superficie tratada con este método, presenta un uniforme color gris claro, ligeramente rugoso, que proporciona un excelente anclaje a los recubrimientos. La pintura primaria debe ser aplicada antes de que el medio ambiente ataque a la superficie preparada.

SSPC-6 (NACE-3) Limpieza con chorro Abrasivo Grado Comercial

Procedimiento para preparar superficies metálicas, mediante abrasivos a presión, a través del cual es eliminado todo el óxido, escama de laminación, pintura y materiales extraños. Es permitido que pintura en buen estado e incrustaciones permanezcan adheridas aún después de la preparación de la superficie, siempre y cuando éstas no rebasen la tercera parte de cada superficie.

SSPC-7 (NACE-4) Limpieza con chorro abrasivo grado ráfaga

Este tipo de limpieza, utiliza algún abrasivo a presión para preparar superficies metálicas que tengan una cantidad mínima de escoria, pintura, oxidación y otros contaminantes, se conoce generalmente como 'Ráfaga' y consiste en una limpieza muy superficial que permite que algunas incrustantes y pintura no sean eliminadas del sustrato.

SSPC-8 Limpieza Química

Método para limpieza de metales, mediante reacción química, electrólisis o por medio de ambos.

A través de una reacción química con algún producto específico, superficies metálicas son liberadas de escamas, óxido, pintura y materiales extraños, posteriormente la reacción es neutralizada con alguna otra solución y secada con aire o vacío.

SSPC-9 Limpieza por Agentes Atmosféricos

Consiste en la remoción de pintura, escamas de laminación u óxido, por medio de la acción de agentes atmosféricos, seguido de alguno de los métodos de limpieza mencionados anteriormente.

La alteración debida a agentes atmosféricos, usualmente no constituye un método efectivo en la preparación de superficies, por

lo que debe ir siempre acompañado de alguno de los métodos sugeridos en este documento, ya sea con herramientas mecánicas o mediante la aplicación de chorro abrasivo.

SSPC-10 NACE-2 Limpieza con chorro abrasivo grado cercano a blanco

Método para preparar superficies metálicas, mediante abrasivos a presión, a través del cual es removido todo el óxido, escama de laminación, pintura y materiales extraños.

La superficie debe tener un color gris claro y deben eliminarse sombras de oxidación visibles en un 95%. De hecho la diferencia entre una limpieza con chorro de arena grado metal blanco y metal cercano al blanco, radica en el tiempo empleado para pintar, ya que el metal es atacado por el medio ambiente y pasa a ser grado cercano al blanco en poco tiempo.

En superficies exteriores se realiza la limpieza según SSPC-10 mientras que en superficies interiores SSPC-5, la diferencia radica en el acabado superficial obtenido, quedando en el último una superficie uniforme y de color blanco grisáceo, mientras que en la anterior se permiten ligeras manchas y decoloraciones producidas por residuos. Para el caso de este tanque se ha diseñado que son estos los dos niveles adecuados de preparación superficial.

Una vez terminado en proceso de preparación superficial es necesario realizar una inspección como control de calidad, donde se verifica visualmente si el grado de limpieza es el requerido y luego se mide el perfil de anclaje comprobando que este es correcto para la pintura a aplicar. Si en la inspección resulta que la superficie no es la adecuada se debe repetir el proceso.



Figura 3. 9 Limpieza con Chorro Abrasivo metal cercano a blanco

3.5 Selección del tipo de pintura para el tanque

La pintura se puede definir como un producto fluido que aplicado sobre una superficie en capas relativamente delgadas, se transforma al cabo del tiempo en una película sólida que se adhiere a dicha superficie, de tal forma que recubre, protege y decora el elemento sobre el que se ha aplicado.

La selección del sistema de pintura adecuado para la protección contra la corrosión requiere una variedad de factores que se deben

tener en cuenta para garantizar que se logre la mejor y más económica solución técnica.

Se debe considerar algunos factores de importancia definidos en la norma ISO-12944 para seleccionar el sistema de pintura, se los enuncie a continuación:

a) Corrosividad del medio ambiente.

Categoría de corrosión	Ejemplos de ambiente	
	Exterior	Interior
C1 Muy baja	-	Edificios con calefacción con una atmósfera limpia, tales como oficinas, tiendas, escuelas, hoteles.
C2 baja	Atmósfera contaminada en una pequeña parte, principalmente en las regiones rurales.	Edificios sin calefacción, donde se puede producir condensación, por ejemplo almacenes, salas deportivas.
C3 media	Ambientes industriales y urbanos con un nivel medio de contaminación de dióxido de azufre. Áreas industriales y áreas costeras de baja salinidad.	Espacio de producción de alta humedad y de la contaminación del aire, por ejemplo plantas de alimentos, lavanderías, fábricas de cerveza, industrias lácteas.
C4 alta	Las zonas industriales y zonas costeras de media salinidad.	Plantas químicas, piscinas, astilleros de reparación de barcos.
C5-I Muy alta (industrial)	Áreas industriales de alta humedad y ambiente agresivo.	Edificios y áreas de condensación casi constante y alta contaminación.
C5-M Muy alta (marina)	Zonas de tierra (inshore) y marítimas (offshore) de alta salinidad.	Edificios y áreas de condensación casi constante y alta contaminación.

Figura 3. 10 Categorías de corrosión atmosférica por ambiente (tomado de ISO 1294)

b) Categoría para agua y suelo.

Categorías de corrosividad	Ambiente	Ejemplos de ambientes y estructuras
Im1	Agua dulce	Instalaciones en ríos, centrales hidroeléctricas
Im2	Mar o agua salobre	Los puertos marítimos con las siguientes estructuras: compuerta, cerraduras (pasos de agua), pilotes de agua, muelles, estructuras marítimas
Im3	Tierra	Tanques subterráneos, pilotes de acero, tuberías

Figura 3. 11 Categoría de corrosión atmosférica para agua y suelo (tomado de ISO 1294)

C) Durabilidad requerida para el sistema de pintado

BAJA - L	2 a 5 años
MEDIA - M	5 a 15 años
ALTA - H	mas de 15 años

Figura 3. 12 Durabilidad de Pintura (tomado de ISO 1294)

Tipos genéricos de pintura

Existe en el mercado una gran variedad de pinturas según las necesidades requeridas, se las puede agrupar de manera muy general así:

De un componente

- Alquídica

- Acrílica/Cloro caucho
- Polisiloxano

De dos componentes

- Epoxi
- Poliuretano
- Silicato de Zinc
- Híbridos de polisiloxano.

Para diseñar el sistema de pintura de este tanque se ha basado en los productos que ofrece la marca "HEMPEL" como referente. Así mismo se lo ha dividido en dos sistemas uno para exterior y otro para el interior.

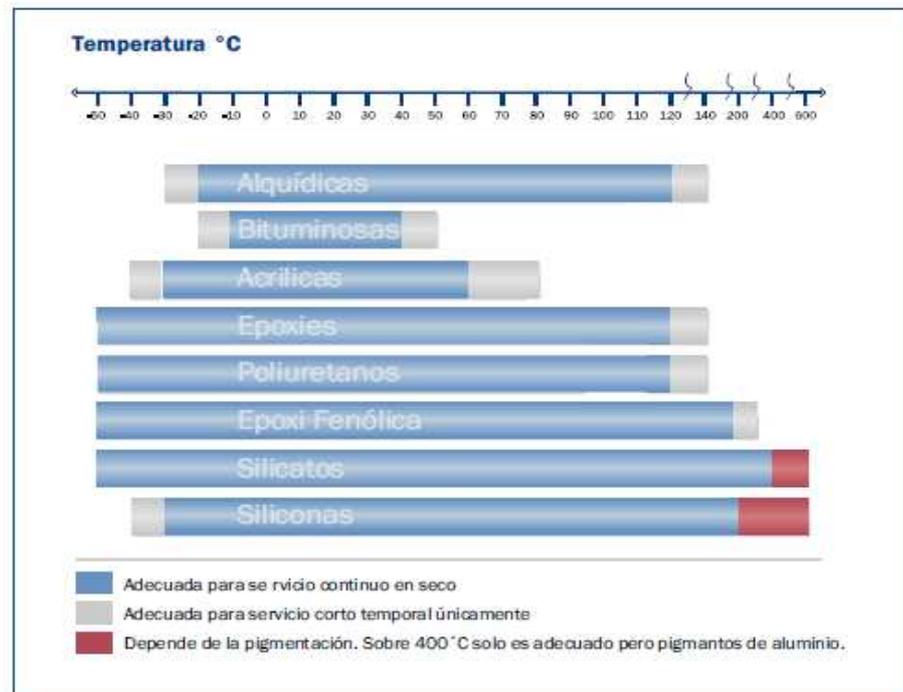


Figura 3. 13 Temperaturas de Servicio por Tipo de Pintura (Tomado de catálogo Hempel)

Sistema de pintura interior

Características:

- Superficie a ser protegida: Acero ASTM-A36 (Nuevo)
- Corrosividad del ambiente: C5-I (Alta nivel industrial)
- Fluido en contacto: Hidrocarburos
- Categoría de agua y suelo: LM-1 (agua dulce- central termoeléctrica)
- Durabilidad para el sistema de pintado: Media (5 a 15 años)
- Preparación superficial: SSPC-5, NACE 1 (metal blanco)

- Espesor de película seca recomendado: 300 micras
- Tipo de pintura seleccionada: Epoxy base disolvente
- Producto seleccionado: HEMPEL EMPADUR QUATTRO 17634

Se deberán colocar dos capas cada una de 150 micras, del producto seleccionado, a continuación se muestra los detalles técnicos del producto y cálculos de rendimiento de pintura:

- Descripción: Pintura epoxi de capa gruesa, de dos componentes que al secar forma una película dura y tenaz con una buena resistencia a la abrasión, al agua de mar y combustibles.
- Excelente anticorrosivo con buenas propiedades mecánicas y tiempo de secado corto.
- Uso recomendado: Como imprimación universal para sistemas epoxi a la intemperie o en inmersión, incluyendo tanques de lastre y tanques de petróleo.
- Temperatura de servicio: Máximo, exposición en seco: 120°C
- Volumen de sólidos%: 72 ± 1
- Rendimiento teórico: 5.8 m²/lt. en 125 micras.
- Peso específico: 1.4 kg/lt.
- Proporción de mezcla: 4:1 en volumen con catalizador

- Método de aplicación: Pistola airless
- Diluyente (vol. máx.): 5%
- Boquilla: 0.021 - 0.025 "
- Presión: 250 bar
- Espesor recomendado seco (df): 125 micras [5 mils]
- Espesor recomendado húmedo(wf): 175 micras [7 mils]

Sólidos por volumen

$$SV = \frac{df}{wf}$$

$$SV = \frac{125}{175}$$

$$SV = 71\%$$

Rendimiento teórico

$$R_t = \frac{\%SV \times 10}{df}$$

$$R_t = \frac{71\% \times 10}{125}$$

$$R_t = 5,68 \text{ m}^2/\text{lt}$$

Sistema de pintura exterior

Características:

- Superficie a ser protegida: Acero ASTM-A36 (Nuevo)
- Corrosividad del ambiente: C5-I (Alta nivel industrial)

- Fluido en contacto: Aire ambiente
- Categoría de agua y suelo: LM-1 (agua dulce- central termoeléctrica)
- Durabilidad para el sistema de pintado: Media (5 a 15 años)
- Preparación superficial: SSPC-10, NACE 2 (metal cercano a blanco)
- Espesor de película seca recomendado: 240 micras
- Tipo de pintura seleccionada: Epoxy Zinc base disolvente (1 x 60 micras).

Epoxy base disolvente (1 x 120 micras).

Poliuretano base disolvente (1 x 60 micras)

- Producto seleccionado: HEMPADUR ZINC 17360

HEMPADUR 45880

HEMPATHANE HS 55610

Se deberán colocar tres capas de pintura la primera con el producto HEMPADUR ZINC 17360 con un espesor de 60 micras, la segunda con el producto HEMPADUR 45880 con un espesor de 120 micras y por último el HEMPATHANE HS 55610 con un espesor de 60 micras, a continuación se muestra los detalles técnicos de los productos y cálculos de rendimiento de pintura:

HEMPADUR ZINC 17360

- Descripción: Pintura epoxi de dos componentes, rica en zinc, presenta excelente protección de superficies expuestas a ambientes de elevada corrosividad. Proporciona protección catódica a las zonas con daños mecánicos.
- Uso recomendado: Para la protección anticorrosiva a largo plazo de superficies de acero para sistemas epoxi, vinílicos y acrílicos, expuestos a ambientes medianamente o muy corrosivos.
 - Temperatura de servicio: Máximo, exposición en seco: 160°C
 - Volumen de sólidos%: 65 ± 2
 - Rendimiento teórico: 13 m²/lt. en 50 micras.
 - Peso específico: 2.7 kg/lt.
 - Proporción de mezcla: 4:1 en volumen con catalizador
 - Método de aplicación: Pistola airless
 - Diluyente (vol. máx.): 5%
 - Boquilla: 0.017 - 0.021 "
 - Presión: 150 atm
 - Espesor recomendado seco (*df*): 50 micras
 - Espesor recomendado húmedo(*wf*): 75 micras

Sólidos por volumen

$$SV = \frac{df}{wf}$$

$$SV = \frac{50}{75}$$

$$SV = 67\%$$

Rendimiento teórico

$$R_t = \frac{\%SV \times 10}{df}$$

$$R_t = \frac{67\% \times 10}{50}$$

$$R_t = 13,4 \text{ m}^2/\text{lt}$$

HEMPADUR 45880

- Descripción: Es un recubrimiento epoxi de capa gruesa de dos componentes con elevado contenido en sólidos. Forma una película dura y tenaz con excelentes propiedades de humectación.
- Uso recomendado: Sobre superficies no preparadas óptimamente o como capa intermedia o de acabado cuando se requiere un sistema de elevadas. Es un recubrimiento muy versátil para especificaciones de mantenimiento incluyendo tanques de lastre y acero nuevo donde no se precise un producto más específico. También puede especificarse cuando

se requieren unos intervalos amplios de repintado para acabados con poliuretano.

- Temperatura de servicio: Máximo, exposición en seco: 120°C
- Volumen de sólidos%: 80 ± 1
- Rendimiento teórico: 6.4 m²/lt. en 125 micras.
- Peso específico: 1.5 kg/lt.
- Proporción de mezcla: 3:1 en volumen con catalizador
- Método de aplicación: Pistola airless
- Diluyente (vol. máx.): 5%
- Boquilla: 0.017 - 0.023 "
- Presión: 250 BAR
- Espesor recomendado seco (*df*): 125 micras
- Espesor recomendado húmedo(*wf*): 150 micras

Sólidos por volumen

$$SV = \frac{df}{wf}$$

$$SV = \frac{125}{150}$$

$$SV = 83\%$$

Rendimiento teórico

$$R_t = \frac{\%SV \times 10}{df}$$

$$R_t = \frac{83\% \times 10}{125}$$

$$R_t = 6,64 \text{ m}^2/\text{lt}$$

HEMPATHANE HS 55610

- Descripción: Es un esmalte de poliuretano brillante de dos componentes a base de isocianato alifático, con buena retención de brillo y color.
- Uso recomendado: Como capa de acabado para la protección de estructuras de acero expuestas a ambientes corrosivos.
- Temperatura de servicio: Máximo, exposición en seco: 120°C
- Volumen de sólidos%: 65 ± 1
- Rendimiento teórico: 6.5 m²/lt. en 100 micras.
- Peso específico: 1.4 kg/lt.
- Proporción de mezcla: 7:1 en volumen con catalizador
- Método de aplicación: Pistola airless
- Diluyente (vol. máx.): 5%
- Boquilla: 0.017 - 0.021 "
- Presión: 175 BAR
- Espesor recomendado seco (*df*): 100 micras
- Espesor recomendado húmedo(*wf*): 150 micras

Sólidos por volumen

$$SV = \frac{df}{wf}$$

$$SV = \frac{100}{150}$$

$$SV = 66\%$$

Rendimiento teórico

$$R_t = \frac{\%SV \times 10}{df}$$

$$R_t = \frac{66\% \times 10}{100}$$

$$R_t = 6,6 \text{ m}^2/\text{lt}$$

CAPÍTULO 4

4. MONTAJE

4.1 Cronograma de montaje

Básicamente el procedimiento de montaje del tanque puede ser dividido en 2 etapas, la obra civil y obra mecánica.

La obra civil será el primer paso en la instalación del tanque donde se prepara el terreno y se colocará la cimentación del tanque, esta parte del proyecto deberá ser atendida por personal especializado y competente para tales efectos.

El peso del tanque incluido el del fluido que va a contener será soportado por una capa de arena fina compactada de 100 mm de espesor, debajo de esta capa el suelo debe de estar mejorado con capas de grava igualmente compactada.

La parte mecánica que incluirá todo el procedimiento de montaje de las partes constituyentes del tanque, es decir fondo, cuerpo, cubierta y accesorios será este principal objeto de análisis en este

Capítulo, cabe indicar que se planificará simultáneamente en la ejecución de la obra civil el traslado de los materiales, herramientas e insumos para la ejecución de la obra mecánica inclusive la instalación del campamento.

En el apéndice A se muestra el cronograma detallado de montaje del tanque. Teniendo un tiempo total de ejecución de 141 días desde el inicio hasta la culminación de la obra.

El montaje del tanque de almacenamiento abarca el ensamblaje en campo de todas las partes previamente construidas en taller. Debe existir una planificación armónica para poder cumplir con los tiempos proyectados, y de esta manera evitar elevación de costos por demoras en la construcción y montaje del tanque.

Debido a que el tanque se monta en el lugar mismo de su operación por lo general existen condiciones desfavorables como falta de suministros (energía, agua, etc.), dificultades en los accesos, condiciones climáticas adversas entre otras, por lo que se debe tomar en cuenta estos inconvenientes en la planificación.

4.2 Procedimiento de Montaje del Fondo

Se colocarán las planchas de fondo de acuerdo a la ubicación indicada en el plano A1, cabe destacar que en el fondo se utilizarán planchas de 12 metros de largo, por lo que será necesario el uso de una grúa debido a la gran dimensión de las mismas.

Al iniciar las labores se deberá marcar el centro del tanque y el diámetro mediante el uso de elementos de marcación como tiza en polvo o cal, una vez determinados se colocarán las planchas según la orientación indicada en los planos conservando siempre el criterio del traslape de 40 mm que se debe respetar. Las planchas se deben extender de extremo a extremo utilizando topes para evitar el movimiento entre planchas traslapadas, siempre llegando al centro con la plancha más baja traslapada, es decir pasando el centro las planchas deben quedar traslapadas por debajo, para remover los topes una vez ubicadas las planchas se debe hacer uso de amoladoras.

Es necesario hacer énfasis en la limpieza requerida de las juntas previa y posteriormente a cada pase de soldadura para garantizar la calidad de la misma, es recomendable redondear las puntas de las planchas para evitar abultamientos al momento de realizar la

soldadura produciendo defectos, se deberá utilizar amoladoras rectas o angulares con discos de corte y desbaste.

Se colocará separadores, cuñas o tirantes de ser necesario para colocar las planchas de forma precisa y en orden adecuado, en esta actividad intervendrán 2 grupos de armadores que se compone de un maestro con un auxiliar, además de 2 soldadores.

Las planchas una vez colocadas de forma correcta y ordenada se deberán unir mediante puntos de soldadura entre sí, previo al pase de cordones de soldadura definitivos.

En virtud de reducir los tiempos de montaje se deben de soldar en primer lugar las planchas de los extremos en longitudes de 300 a 500 mm, con el fin de que sean aplanadas estas soldaduras y poder realizar el montaje del primer anillo del cuerpo.

Una vez terminada la soldadura de las planchas de fondo se procederá a realizar la inspección de las mismas, comprobando que no existan deformaciones o movimientos de planchas por efecto de la soldadura.

Se colocará un anillo periférico provisional que servirá como guía para la colocación de las planchas que conforman el primer anillo

del manto del tanque, el diámetro de este anillo periférico deberá coincidir con el diámetro interior del manto del tanque.

Por lo general se inician las labores de soldadura cuando exista la temperatura ambiental más elevada posible, debido a que esta técnica ayuda a reducir la probabilidad de deformaciones.

Se debe tener sumo cuidado cuando se suelde uniones traslapadas triples, debido a que es generalmente en estos puntos donde se presenta mayor índice de fugas o fallas en la hermeticidad del reservorio. Adicional se debe tener en cuenta también que las uniones del fondo no coincidan con las uniones del cuerpo y respetando siempre el criterio de la separación mínima de 300 mm entre uniones adyacentes.

Una vez que se encuentra totalmente conformado el piso del tanque se procederá a colocar el sumidero, pero no sin antes realizar los respectivos ensayos de control de calidad de la juntas del piso, para esta actividad es necesario el uso de un equipo de oxicorte con el fin de remover la sección de plancha donde se lo va a colocar, se procede con la soldadura del mismo, hay que poner especial atención en la colocación del sumidero de hacerlo coincidir

con la tubería de desfogue previamente enterrada en la etapa de obra civil.

4.3 Procedimiento de Montaje del Cuerpo

Previo al montaje de las planchas que conformarán cada uno de los anillos, es necesario realizar la preparación de las mismas, lo cual consiste en el soldado de ménsulas que servirán como apoyo para la colocación de andamios, la colocación de guías muy cercanas a las juntas verticales con el fin de garantizar la alineación de las planchas con su respectiva adyacente, además de la preparación de las juntas con los biseles y limpieza adecuada.

Una vez colocado el anillo provisional que sirve como guía, se colocarán las 6 planchas de 6000 x 1500 x 6 mm junto con la plancha de 1500 x 1376 x 6 mm previamente roladas que conformarán el primer anillo del manto, es necesario el uso de cuñas y sujetadores en esta parte, con la utilización de niveles y plomadas se comprueba la alineación de las planchas, se debe mantener las separaciones indicadas en el diseño de la soldadura para las juntas verticales en el cuerpo. En esta etapa del armado se ha considerado la participación de 4 grupos de armado, que incluyen un maestro con un auxiliar cada uno, posterior al conformado, y una vez asegurado con puntos de soldadura y elementos de sujeción se

procederá con la soldadura definitiva, para lo cual en esta etapa participarán soldadores calificados.

En el primer anillo se debe dejar una plancha sin colocar para que esta se utilice como puerta de acceso para el personal e ingreso materiales, en todo momento se debe de procurar mantener dentro de tolerancia, constatando el diámetro interno del tanque.

Por facilidades de orientación en el cuerpo del tanque siempre se deja sin colocar la plancha donde va la entrada de hombre lateral o donde se encuentra la brida de descarga, esto será un punto de referencia para la colocación de las planchas subsiguientes.

Existen tolerancias especificadas por API con respecto al montaje de planchas en el cuerpo del tanque esto se encuentra mostrado en el plano B1, esto se logra con el uso de espaciadores y cuñas, una vez colocadas las planchas y previo a la soldadura se debe volver a comprobar los criterio de diámetro y verticalidad del tanque, con esto se logrará una soldadura adecuada y hará que cada una de las planchas formen los anillos y a su vez un solo cuerpo rígido constituyendo el tanque.

Permanentemente se encontrará en campo una grúa que se encargará de movilizar las planchas desde el sitio de almacenamiento para izarlas en el sitio de colocación.

Con respecto a la soldadura siempre debe darse en las juntas verticales primero que en las horizontales, y también siempre por la parte externa del reservorio en primera instancia, esto ocasionará que de forma temporal las planchas se deformarán con dirección hacia la parte interior.

Debido a que por diseño todo el cuerpo del tanque presenta el mismo espesor, los anillos superiores llevarán el mismo procedimiento de montaje y soldadura, manteniendo en todo momento la misma cantidad de grupos de armado y soldado, pero se debe considerar el desarrollo del manto utilizando siempre los espaciadores, cuñas y demás utensilios que permitirán el montaje de los anillos superiores. En todos los casos cuando se tenga conformados los anillos se deberán de comprobar el diámetro y verticalidad, es decir se debe de comprobarlo cuando se conforme el primer anillo, el segundo anillo y así en secuencia.

Previo a la soldadura de la parte interior del cuerpo del tanque deben de limpiarse todas las juntas con esmeril, con el fin de

eliminar todas las impurezas que podrían afectar de modo potencial la calidad de la soldadura, al soldar por la parte interna la añadidura de calor hará que las planchas que previamente se habían deformado, regresen a su posición original, manteniendo la redondez del reservorio.

En última instancia se procederá a soldar la unión entre el fondo y el cuerpo del tanque, conservando los mismos criterios anteriormente expuesto, dejando espacios equidistantes no mayores a 300 mm, con la finalidad de que fluya el agua lluvia en caso de encontrarse en época invernal, se procederá a sellar con soldadura estas intersecciones una vez colocada la cubierta.

Con respecto al ángulo de coronamiento que va colocado en el quinto anillo se colocará una vez montado el mismo, se utilizarán tramos de ángulo de longitud 6 metros previamente rolados al diámetro exterior del tanque, este únicamente se soldará por la parte superior, con un cordón continuo y uniforme como demanda la norma, los procedimientos y utensilios serán los mismos que se utilizaron en la colocación de los anillos del manto.

Debido a las dimensiones de las planchas y la altura del tanque es necesario el uso de polipastos, tecles y andamios los cuales

permitirán la manipulación de las planchas y facilitarán la movilidad del personal en los trabajos en altura.

La limpieza previa y posterior a la soldadura en cada una de las uniones de las planchas que conforman el cuerpo debe de ser igual de exhaustiva que en el fondo.

El montaje del sistema de bombeo y tubería se lo realizará una vez que se tenga todos los elementos estructurales que forman el fondo, cuerpo y cubierta montados y soldados de forma definitiva, esto incluye el montaje de la bomba de descarga, el calentador de succión, bridas de entrada y salida de producto, así como el sistema de medición de nivel y accesos, en este caso se debe contar con personal competente e instruido para el montaje de estos elementos, para el caso de la bomba de descarga y el calentador de succión por ser elementos que proveen casas comerciales, estas tendrán que incluir el servicio de montaje y mantenimiento, la actividad se centra en controlar que el montaje se realice de forma adecuada y segura, respetando las distancia desde el fondo y la correcta alineación de las mismas. Los elementos bridados se detalla en el plano D3, las tuberías y demás accesorios que salgan

de los límites del cubeto de contención del tanque, no son caso de estudio para el presente trabajo.

4.4 Procedimiento de Montaje de Cubierta

Se inicia con la ubicación de los puntos donde se van a colocar las columnas, se coloca en primer lugar la columna que se encuentra en la posición opuesta al espacio dejado por la plancha faltante en el primer anillo del manto, así se deben seguir el orden lógico de izaje hasta terminar con la columna más cercana al espacio mencionado, el uso de la grúa es importante para estas operaciones, esta se va a situar por la parte externa del tanque y desde ahí realizar los izajes respectivos. Las columnas deben ser sujetas con cuerdas viento hacia las paredes del tanque, con el fin de garantizar seguridad en el momento de su instalación y previo a su soldadura a las bases colocadas sobre el fondo del tanque, cuando existen dos columnas adyacentes montadas y aseguradas a su base en el fondo se procede a colocar el trabe respectivo entre ellas, esto servirá como viga de amarre entre columnas, dándole estabilidad.

Luego se colocan los largueros que van en la parte superior correspondiente al trabe montado, siendo asegurados a través de

soldadura entre trabe y columna o trabe y cartela según corresponda.

Este procedimiento se repite para todas las columnas y trabes presentes en la estructura, corroborando siempre la verticalidad de las columnas y que no existan esfuerzos laterales o en los trabes y largueros.

El montaje de las planchas que cierran el techo cónico tiene una orientación de 90° con respecto a las planchas utilizadas en el fondo, según recomienda la norma, de igual manera las planchas en esta parte de la estructura son traslapadas pero siendo la plancha del centro la más elevada con respecto de la otra, bajando en cascada con las planchas siguientes, el control de calidad de estas uniones es únicamente por inspección visual, ya que el único objetivo de estas es dar un acabado estético e impermeabilizar el tanque por la parte superior. Los cordones de soldadura a aplicarse en el techo sobre todo los de las zonas periféricas deberán ser con pases muy rápidos, debido a que en caso de existir una sobrepresión por exceso de fluidos, esta debe de ser la porción que se desprenda del cuerpo lo más rápido posible por temas de seguridad.

4.5 Control de Calidad de Soldadura y prueba hidrostática.

Control de Calidad de Uniones Soldadas

Es necesario establecer un procedimiento de control de calidad de las uniones soldadas en el tanque, con el fin de garantizar que estas se encuentren dentro de parámetros idóneos para el correcto funcionamiento del tanque, se deben seleccionar métodos que puedan diferir según el tipo de junta y de cordón, además de la ubicación de los mismos en el tanque.

Las juntas del techo son las únicas que no requieren de una revisión previa a la prueba hidrostática, según recomienda la norma.

Se debe definir que existen dos tipos de inspecciones, por un lado se tiene las técnicas de inspección superficial y por otro las técnicas de inspección volumétricas. Entonces se tiene así:



Las técnicas de inspección superficial comprueban la presencia de potenciales fugas (socavamientos, desalineación) mientras que las técnicas volumétricas verifican la integridad del cordón y los defectos internos que este pueda presentar (grietas, burbujas internas, etc.)

Inspección Visual

Son aceptables los cordones de soldadura, si al realizar las técnicas de inspección visual cumplen con los siguientes requisitos:

- No hay presencia grietas superficiales o raspones por arco.
- Socavamientos para juntas verticales y en cuellos de entradas de hombre y otras conexiones son menores a 0.4mm y para juntas planas 0.8 mm.
- Espesor resultante del cordón debe ser igual al determinado por diseño.
- Se deben realizar las pruebas con tintas penetrantes y polvo revelador para evidenciar defectos comunes como grietas o porosidades.
- Las porosidades superficiales no deben ser mayores a 100 mm de longitud y el diámetro del grupo no debe ser mayor a 2.5 mm.

Inspección Volumétrica

Se deben realizar tomas radiográficas según lo establecido por API 650, este tipo de pruebas se deben realizar a medida que avanza la construcción del tanque con el afán de evitar una reparación masiva en caso de presentarse no conformidades con la soldadura, a continuación se detallan los requerimientos de la norma para este tipo de tanques con espesor menor a 10 mm.

Para juntas verticales:

- Se realiza una toma radiográfica en los primeros 3000 mm de soldadura acabada por cada soldador, tipo de soldadura y espesor.
- Se debe realizar una toma radiográfica cada 3000 mm de soldadura, y preferentemente deben de darse la cuarta parte de ellos en la intersección de juntas verticales y planas.

Para juntas planas:

- Se realiza una toma radiográfica en los primeros 3000 mm de soldadura acabada por cada tipo de soldadura y espesor, no interesa el soldador.

- Se debe realizar una toma radiográfica cada 6000 mm de soldadura, aparte de las realizadas en las intersecciones con las juntas verticales.

Se adjunta un gráfico mostrado por la norma donde se detalla los spots a tomar.

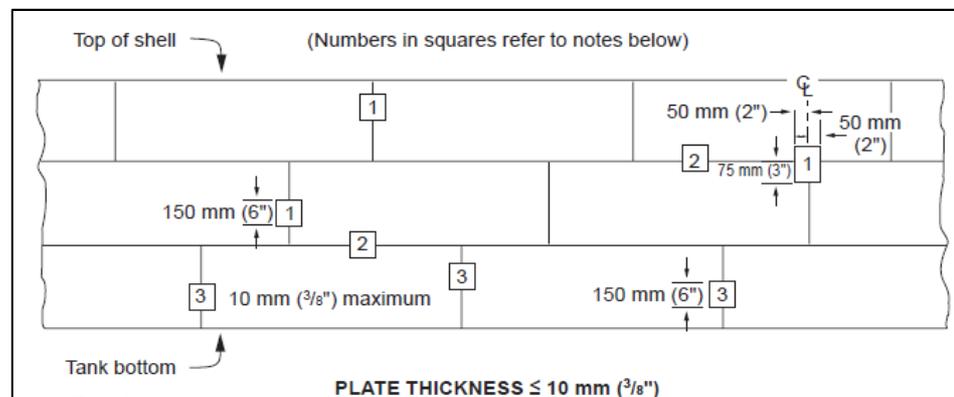


Figura 4.1 Spots radiográficos (Tomado de API 650)

Las tomas radiográficas sin excepción deben de mostrar como mínimo una longitud 150 mm de soldadura sin defectos. Los criterios de aceptación de las radiografías son:

- No existencia de indicios de fusión incompleta, grietas, discontinuidades y penetración parcial.
- Defectos de longitudes mayores a 6 mm.
- Concentraciones de poros.

- Poros aislados de gran diámetro con una separación en ambos extremos de por lo menos 254 mm.

Los criterios de aceptación mencionados están normados en el estándar ASME VIII sección UW-51.

En caso de encontrarse cualquier de los defectos anteriormente mencionados tanto para pruebas superficiales o volumétricas, o de no cumplir con los criterios de aceptación, es obligación del constructor realizar una remoción de la soldadura defectuosa a través de medios mecánicos, e inmediatamente proceder a resoldar la junta, en todos los casos la soldadura debe de ser esmerilada a ras con la plancha, estas soldaduras deben ser verificadas mediante inspección visual para comprobar que no poseen defectos.

Se deben probar las soldaduras finales del fondo mediante el método de caja de vacío, el cual consiste en una caja aproximadamente de 150 x 75 mm con un ventana transparente en la parte superior en la cual se aplica una presión de vacío de entre 20 y 35 KPa, para comprobar la existencia de fugas, debido al crecimiento de burbujas por la solución jabonosa contenida, cabe destacar que la temperatura del metal debe de

encontrarse entre 4 ° C y 52 ° C, el tiempo mínimo de prueba es de 5 segundos.

Prueba Hidrostática

Este es un test cualitativo que se ejecuta con dos fines, el primero es verificar el asentamiento del tanque como consecuencia del fluido a almacenar, comprobando la existencia de deformaciones, abombamientos o tensionamientos del recipiente y las tuberías conectadas al mismo, y como segundo punto comprobar la hermeticidad, es decir que no existan fugas o lagrimeos de fluido.

Previo al llenado del tanque se deben soldar platinas cada 3 metros equidistantes a una altura de 300 mm con el fin de verificar asentamientos del tanque durante la prueba.

Se recomienda tomar las siguientes previsiones durante la prueba:

- Todo el tiempo deben permanecer abiertas entradas de hombre superior, venteos y respiraderos, con el fin de compensar presiones.
- La altura máxima de llenado debe ser hasta el perfil de coronamiento
- Se deben calcular la tasa de bombeo y en lo posible colocar válvulas provisionales de desfogue rápido ante cualquier eventualidad.

- El recipiente debe estar libre de conexiones a calentadores de succión o calderas.

Según como incremente el nivel de agua, se deben de tomar mediciones del asentamiento del suelo con el fin de elaborar una curva características de desplazamiento del suelo vs altura de llenado.

Verificar la calidad del fluido a ser utilizado para la prueba, el cual debe ser agua cruda o tratada, a una temperatura de 16 a 40°C limpia, libre de materia en suspensión y microorganismos, con una concentración de cloruros menor a 300 ppm para aceros al carbono.

No se debe utilizar para esta prueba condensado, agua de ósmosis inversa, agua de pozo, agua de río o mar.

Para el llenado del tanque se realizará una instalación provisional de una línea de tubería que tome el agua de la fuente de alimentación. Esta tubería se conectará a la boquilla de drenaje del fondo. El drenaje se realizará a través de la misma línea.

Con esta prueba se debe verificar el correcto cierre de válvulas, para el cual se debe colocar sellos correspondientes en las bridas, tapas de entradas de hombre y otros accesorios previos al llenado del tanque.

La preparación del tanque para la prueba. Debe incluir la eliminación de toda la basura, desechos, grasa, aceite, escoria de soldadura, y cualquier otra materia extraña en el interior y el techo del tanque.

Tanto el llenado como el vaciado del tanque se realizarán en cuatro etapas, de acuerdo a la tabla adjunta, entre las cuales se suspenderá el llenado o vaciado, por un lapso de 4 horas, para realizar las revisiones e inspecciones correspondientes.

TABLA 51

DETALLE DE PRUEBA HIDROSTÁTICA

Etapa	Porcentaje del nivel de llenado	Tiempo de permanencia en horas
Primera	25%	4
Segunda	50%	4
Tercera	75%	4
Cuarta	100 %	24

Las reparaciones de los defectos descubiertos después de que el tanque ha sido llenado con agua se realizarán con el nivel del agua por lo menos 0.3 m por debajo de cualquier punto a ser reparado.

CAPÍTULO 5

5. COSTOS

Este capítulo analizará de forma general los costos de Construcción, Transportación y Montaje.

5.1 Costos de Construcción

Se procede a analizar los costos de construcción del tanque, donde se identifican los rubros de materia prima, procesos de transformación, preparación superficial y pintura.

En las tablas mostradas a continuación se identifican las cantidades de planchas utilizadas para la construcción de fondo, cuerpo y cubierta, los perfiles para la fabricación de la estructura soportante del techo, y demás procesos de transformación necesarios para la construcción del tanque.

TABLA 52
COSTO DE PLANCHAS

Ubicación	Fondo	Manto		Techo
Medidas de planchas (mm)	12000 x 1500 x 6	6000 x 1500 x 6	1500 x 1500 x 6	6000 x 1500 x 5
Cantidad	8	31	1	15
Peso Unitario (kg)	847,8	423,9	105,97	353,25
Peso Total (kg)	6782,4	13140,9	105,97	5298,75
Precio Unitario (\$/kg)	0,9	0,9	0,9	0,9
Precio Total (\$)	6104,16	11826,81	95,373	4768,875
			Suma Total (\$)	22795,22

TABLA 53
MATERIA PRIMA – PERFILES Y TUBERÍAS

Elemento	Ubicación	Perfil	Cantidad	Peso lineal (kg/m)	Longitud Total (m)	Peso total (Kg)	Precio Unitario (\$/kg)	Costo Total (\$)
Perfil de Coronamiento	Manto	L 75 x 6 x 6000 mm	6	6.9	36	248,4	1.10	273,24
		L 75 x 6 x 3000	1	6.9	1,376	9,49	1.10	10,44
Larguero interior	Cubierta	G 200 x 75 x 30 x 5 mm	3.5	14.80	19,86	293,93	0.93	273,35
Larguero exterior	Cubierta	G 100 x 50 x 30 x 5 mm	13,5	8,66	79.44	687,95	0,93	639,79
Trabe	Cubierta	Tubo rectangular 175x 75 x 5 X 6000 mm	2	17,52	12	210,24	1,51	317,46
		Tubo rectangular 175x 75 x 5 X 3000 mm	1	17,52	2,4	42,05	1,51	63,5
Tubería	Columna Central	ASTM A-53 Gr A Sch 40 (8" x 12000 mm)	1	42,55	7,720	328,48	77,05 (\$/m)	924,6
Tubería	Columnas del Polígono	ASTM A-53 Gr. A Sch 40 (4" x 12000 mm)	3	16,07	36	578,52	22,82 (\$/m)	821,52
Tubería	Columnas del Polígono	ASTM A-53 Gr. A Sch 40 (4" x 6000 mm)	1	16,07	6	9,6	22,82 (\$/m)	136,92

Suma Total (\$) 3460,82

TABLA 54
COSTOS MATERIA PRIMA CONSUMIBLES

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total (\$)
Electrodo E-6011	953,19 <i>kg</i>	2,5 (\$/kg)	2382,98
Electrodo E-6013	953,19 <i>kg</i>	2,5 (\$/kg)	2382,98
Grata	100 Unidades	1,6 (\$/u)	160
Discos de Corte 7"	1000 Unidades	2 (\$/u)	2000
Discos de Desbaste 7"	1000 Unidades	1,5 (\$/u)	1500
Oxigeno	609,13 <i>m</i> ³	1,97 (\$/ <i>m</i> ³)	1200
Acetileno	1500 <i>kg</i>	1,2(\$/kg)	1800
Suma Total (\$)			\$ 11425,96

TABLA 55
COSTO CORTE Y BISELADO

Descripción	Ubicación	Cantidad	Precio Unitario (\$/kg)	Peso Total (kg)	Precio Total (\$)
PL 12000 x 1500 x 6 mm	Fondo	8	0,15	6782,4	1017,36
PL 6000 x 1500 x 6 mm	Manto	30		12717,0	1907,55
PL 1500 x 1376 x 6 mm	Manto	5		486,1	72,91
PL 6000 x 1500 x 5 mm	Techo	15		5298,8	794,81
Suma Total (\$)					3792,63

TABLA 56
COSTO ROLADO

Descripción	Cantidad de Planchas	Precio Unitario (\$/kg)	Peso Total a Rolar (Kg)	Precio Total (\$)
PL 6000 x 1500 x 6 mm	30	0,40	12717	5086,80
PL 1500 x 1376 x 6 mm	5	0,40	486,07	194,42
Suma Total (\$)				5281,22

TABLA 57
COSTO DE PREPARACIÓN SUPERFICIAL

Ubicación	Área (m ²)	Precio Unitario (\$/m ²)	Precio Total (\$)
Fondo (Cara Superior)	117,61	10	1176,1
Manto (Interior- Exterior)	560,64		5606,4
Techo (Interior- Exterior)	228,36		2283,6
Suma Total (\$)			9066,1

TABLA 58
COSTO DE PINTURA

Interior	Descripción de Pintura	Rendimiento Teórico	Número de capas	Área (m ²)	Total Litros	Precio Unitario (\$/lt)	Precio Total (\$)
	EmpadurQuattro 17634	5,8	2	960,61	157	10,97	3444,58
Exterior	Hempadur Zinc 17360	13,4	1	789	59	34,6	2041,4
	Hempadur 45880	6,64	1	789	119	13,73	1633,87
	Hempathane HS 55610	6,6	1	789	220	16,17	3557,4
Suma Total							10677,25

5.2 Costos de transportación

Según la ubicación que se menciona en las generalidades del presente proyecto el tanque está ubicado en la ciudad de Guayaquil, por lo que será necesario trasladar las 32 toneladas del material preparado en taller para ser montado en el sitio de la obra, por tal motivo se considera una distancia entre ambos puntos de 40

Km, asumiendo una capacidad de carga del cabezal de 40 toneladas.

TABLA 59
COSTOS DE TRANSPORTE

Descripción	Precio Total (\$)
Traslado de materiales y estructura en cabezal con plataforma (Cap. 40 Ton)	2500
Traslado de Insumos (Taller – Obra)	2000
Uso de Montacargas (carga y descarga de materiales)	2000

Costo Total \$6500

5.3 Costos de Montaje

El proceso de montaje como se sabe se basa primordialmente en los procesos de soldadura que van a experimentar cada uno de los elementos constitutivos del tanque, y es entonces que basados en esta premisa se deben considerar los costos que inciden en este proceso.

TABLA 60
COSTOS EQUIPOS Y HERRAMIENTALES

Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Tiempo	Costo Total (\$)
Grúa 30 Ton.	1	45 (\$/hora)	288 horas	12960
Soldadoras SMAW	6	25(\$/día)	36 días	5400
Andamios	30	3,75	86 días	9675

		(\$/cuerpo)		
Equipos de oxicorte	2	30 (\$/día)	36 días	2160

Suma total: \$ 30195

TABLA 61

COSTOS DE PERSONAL DE MONTAJE

Descripción	Cantidad.	Sueldo diario (\$/día)	Días de trabajo	Costo Total
Ing. Residente de obra	1	50	141	7050
Soldadores calificados SMAW	6	40	36	8640
Pintor	4	16,66	30	1992,2
Maestros Armadores	4	26,66	76	3839,04
Auxiliares de Armador	4	11,80	76	896,80
Auxiliares de Soldador	6	11,80	76	896,80
Bodeguero	1	11,80	141	1663,80

Suma Total: \$ 4978,64

TABLA 62

COSTO DE PRUEBAS DE CALIDAD

Descripción	Cantidad	Precio Total (\$)
Radiografías	30	1650

TABLA 63

PRUEBA HIDROSTÁTICA

Descripción	Costo Total (\$)
Prueba hidrostática incluye agua, bomba transporte, topografía y calibración	12350

TABLA 64

BOMBA Y CALENTADOR DE SUCCIÓN

Descripción	Cantidad	Costo Total(\$)
Bomba	1	\$ 3750

Calentador de Succión	1	\$ 12000
-----------------------	---	----------

5.4 Resumen General de Costos

TABLA 65
RESUMEN GENERAL DE COSTOS

Total Costo Construcción	\$ 66499,18
Total Costo Montaje	\$ 55173,64
Total Costo Transportación	\$ 6500
Total Costo de pruebas y otros	\$29750

TABLA 66
COSTO TOTAL

Costo Total del Proyecto	\$ 157922,82
--------------------------	--------------

CAPÍTULO 6

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Una vez que se ha realizado el diseño correspondiente se puede concluir que el tanque cumple con los estándares internacionales, principalmente el API 650, esto repercute en tener un sistema con optimización de costos, seguridad y eficiencia en la construcción y el montaje.
- La normativa API 650 presentó de forma simple y metódica todos los requerimientos necesarios para diseñar cada uno de los elementos constitutivos del tanque.
- Las fuerzas externas como sismos o vientos que actúan sobre el tanque y que podrían causar inestabilidades en el mismo, fueron consideradas en el diseño al fin de reducir al mínimo sus efectos.

- Todos los elementos estructurales y accesorios considerados en el diseño se basan en la disponibilidad existente a nivel nacional.
- Los materiales e implementos recomendados para todos los procesos constructivos, son de alta calidad y que por ende poseen un costo elevado, como consecuencia una inversión inicial alta pero así mismo una alta durabilidad en el tiempo, abaratando costos posteriores en mantenimientos y reparaciones.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda que el usuario genere un plan de mantenimiento preventivo del tanque, que incluya limpiezas periódicas de las tuberías y accesorios, además de inspecciones de la estructura.
- El instituto ecuatoriano de normalización, en este caso el INEN debería de crear y actualizar una estándar nacional para este tipo de construcciones, debido a que siendo Ecuador un país petrolero es común ver tanques de similares características en este país, y debido a que la interpretación de normativas internacionales y la adaptación de estas a las condiciones locales no son siempre las más idóneas.

- Se recomienda que durante la construcción los parámetros especificados en el diseño se respeten siempre, para de esta manera saber que el tanque cumple con todos los requerimientos de calidad y seguridad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Welded steel tanks for oil storage, API standard 650 eleventh edition, June 2007 American Petroleum Institute
2. INGLESIA, Diseño de Tanques de Almacenamiento, México 1994.
3. ANSI A58.1-1972 American National Standard Institute (Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures)
4. ASME IX (The American Society of Mechanical Engineers), ASME (Qualification standard for welding and brazing procedures, welders, brazers, and welding and brazing operators)
5. SSPC-SP 05 (The Society for Protective) NACE no. 1/sspc-sp 5 (joint surface preparation standard, white metal blast cleaning), USA 2000.
6. SSPC-SP 10(The Society for Protective) NACE no. 2/sspc-sp 10 (joint surface preparation standard, near-white metal blast cleaning), USA
- 7.- Hempel - Directrices de protección anticorrosiva según la Norma ISO 12944 (UNE-EN ISO 12944)
8. - ASME VIII (The American Society of Mechanical Engineers), ASME

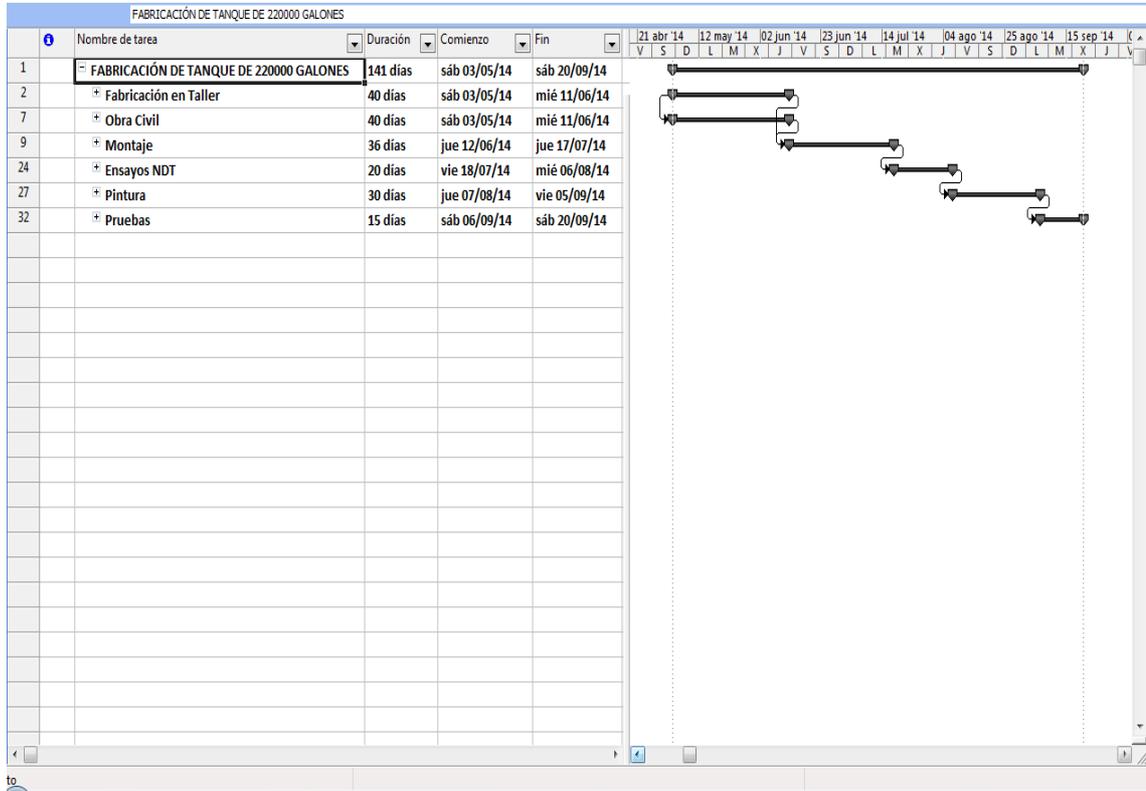
(UW-51 radiographic and radiosopic examination of welded joints)

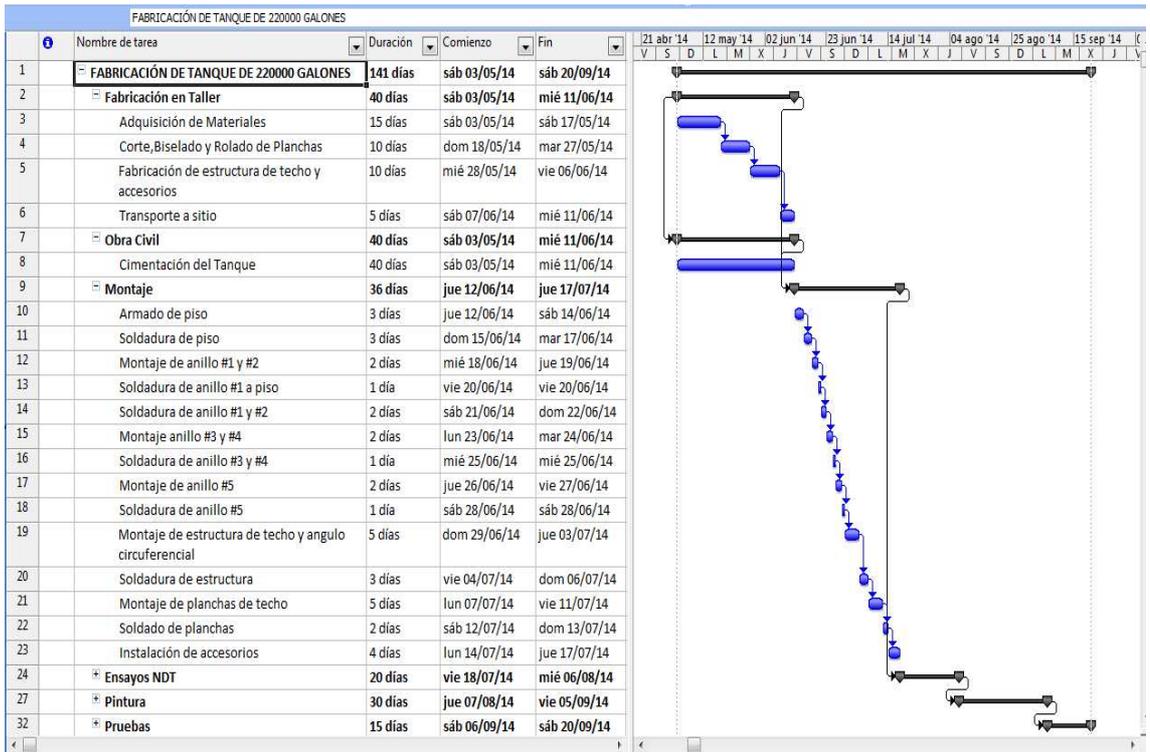
- 9.- Fundamentos de transferencia de calor, Frank P. Incropera – David P. de Witt (cuarta edición, diseño de intercambiadores de calor capítulo 11)
- 10.- Manual Indura, Materiales y sistemas de soldadura
- 11.- Manual AGA, Sistemas de soldadura
- 12.- Catálogo técnico de Calderas Bosch
13. - ASTM Designation: A 36/A 36M - 97 E1 Standard Specifications for Carbon Structural Steel.
- 14.- OSHA 29 CFR 1910, Subpart D Occupational Safety and Health Standards
- 15.- ASTM D1.1/D1.1M:2010, Structural Welding Code – Steel
- 16.- Manual de Recipientes a Presión, Diseño y Cálculo, Eugene F. Megyesy, Editorial Limusa-Noruega, Séptima Edición, México, D. F.

APÉNDICES

Apéndice A

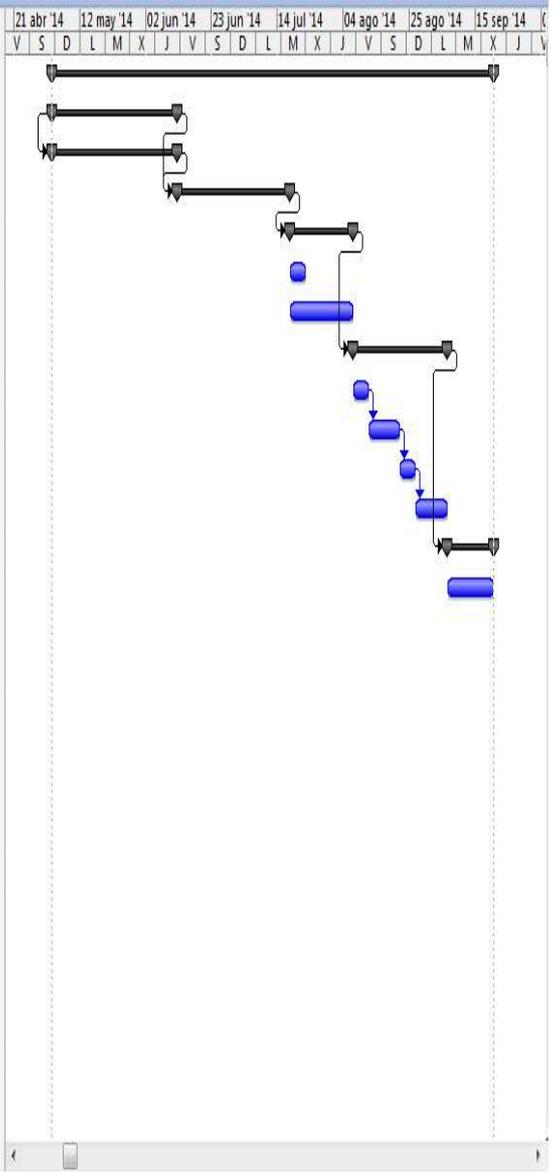
Diagrama de Gantt del proyecto, Cronograma de Construcción y Montaje del tanque.





FABRICACIÓN DE TANQUE DE 220000 GALONES

	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
1	- FABRICACIÓN DE TANQUE DE 220000 GALONES	141 días	sáb 03/05/14	sáb 20/09/14
2	+ Fabricación en Taller	40 días	sáb 03/05/14	mié 11/06/14
7	+ Obra Civil	40 días	sáb 03/05/14	mié 11/06/14
9	+ Montaje	36 días	jue 12/06/14	jue 17/07/14
24	- Ensayos NDT	20 días	vie 18/07/14	mié 06/08/14
25	Pruebas de Vacío	5 días	vie 18/07/14	mar 22/07/14
26	Radiografías a juntas soldadas	20 días	vie 18/07/14	mié 06/08/14
27	- Pintura	30 días	jue 07/08/14	vie 05/09/14
28	Limpieza superficial exterior	5 días	jue 07/08/14	lun 11/08/14
29	Pintura exterior	10 días	mar 12/08/14	jue 21/08/14
30	Limpieza superficial interior	5 días	vie 22/08/14	mar 26/08/14
31	Pintura interior	10 días	mié 27/08/14	vie 05/09/14
32	- Pruebas	15 días	sáb 06/09/14	sáb 20/09/14
33	Pruebas Hidrostatica	15 días	sáb 06/09/14	sáb 20/09/14



Apéndice B

Información de seguridad del Fuel Oil 6

Ficha de Seguridad para Sustancias Químicas

Fecha de revisión: Marzo 2008

Nombre: Fuel Oil #6 | Fabricante/Suplidor: REFIDOMSA

Uso: Combustible

Composición: Hidrocarburos Derivados Del Petróleo

Propiedades físicas/químicas:

Estado/color	Líquido negro, muy viscoso	Presión de vapor	
Olor		Punto de inflamación	144°C
Densidad relativa	0.9950	Límite explosión	No Determinado
Densidad relativa gas/vapor (aire=1)		Solubilidad en agua	Ninguna

Riesgos

Salud	0 Sin Peligro
Flamabilidad	2 Advertencia
Reactividad	0 Estable

Clasificación peligro

Infamable

Peligros

Excesiva exposición puede causar irritación de los ojos, nariz, garganta y en tracto intestinal.

Protección Personal:

Gafas, guantes y máscara para respirar

Primeros Auxilios:

Ojos	Lavar los ojos con suficiente agua. Si persiste la irritación consultar médico.
Piel	Lavar con agua y jabón hasta que desaparezca el olor si la piel enrojece consultar médico.
Inhalación	Mover la persona afectada a una ventilación fresca. Si no hay respiración, dar respiración artificial.
Ingestión	No induzca al vómito. No tomar líquido y dar asistencia médica

Manejo

Almacenamiento	Mantenerlo alejado del calor, chispa y flama.
Derrame/Pérdida de contención	Absorber sobre material inerte. Prevenir la ignición. Usar agua en spray para dispersar los vapores. Usar respiradores.

Combate de Incendios

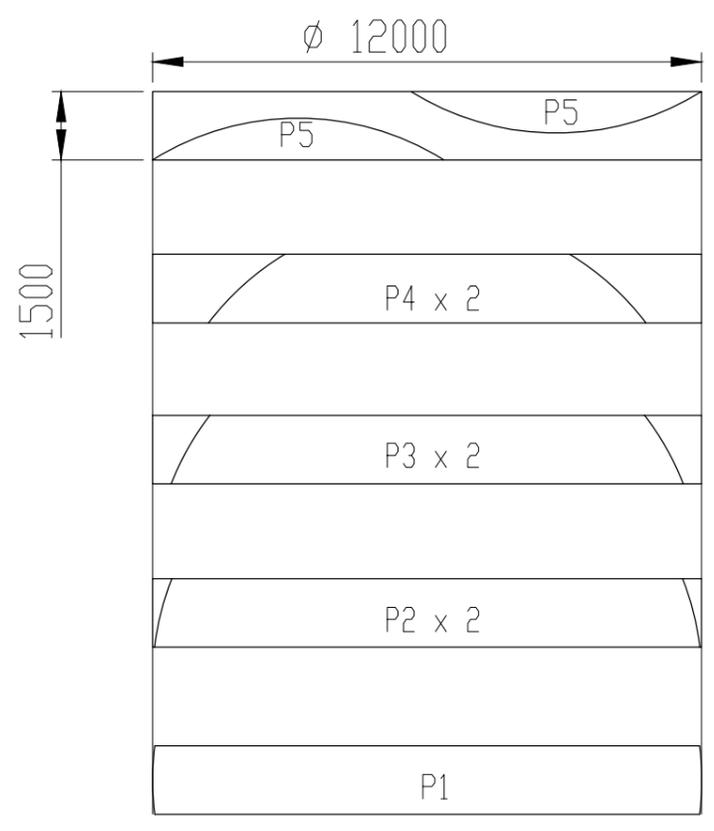
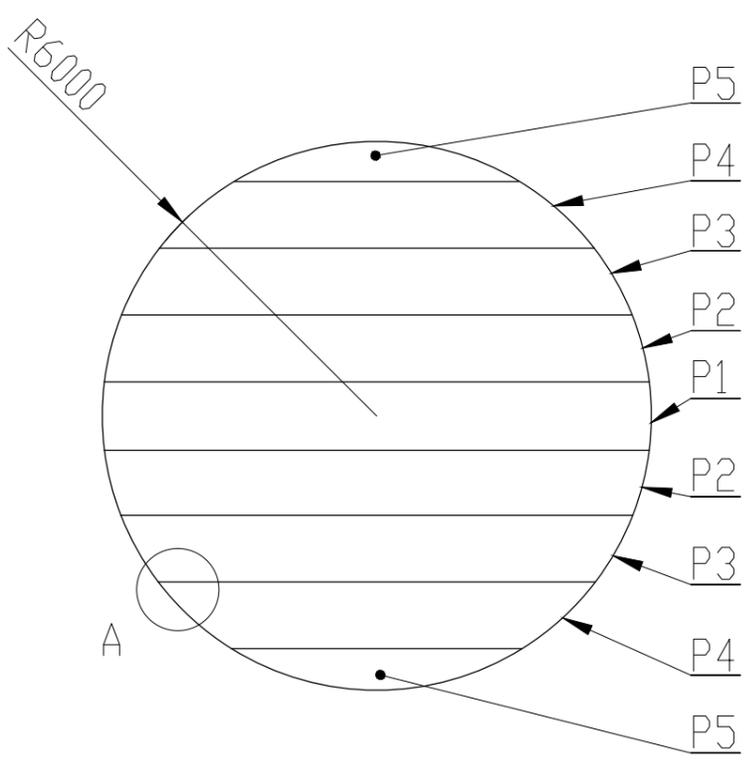
Niebla de agua, polvo químico seco, espuma química y dióxido de carbono.

Información suplementaria

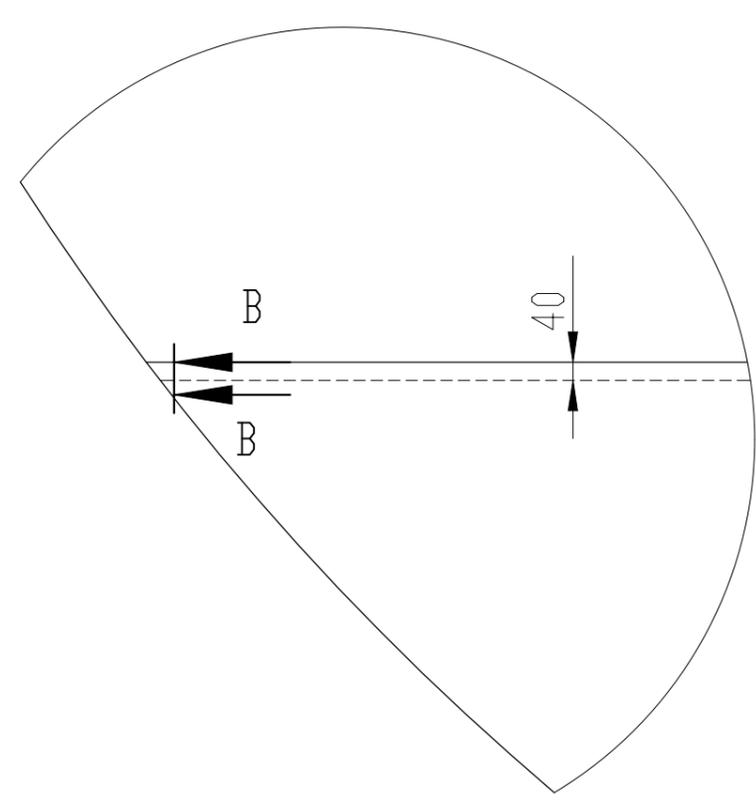
Libera CO₂, asfixiantes y óxido de azufre en la ignición.-

Esta Hoja de Datos de Seguridad del Producto (MSDS) debe ser utilizado únicamente como un documento de referencia. En caso de emergencia debe proceder según el procedimiento de su empresa o comunicarse con la unidad de Bomberos más cercana o llamar al 911.

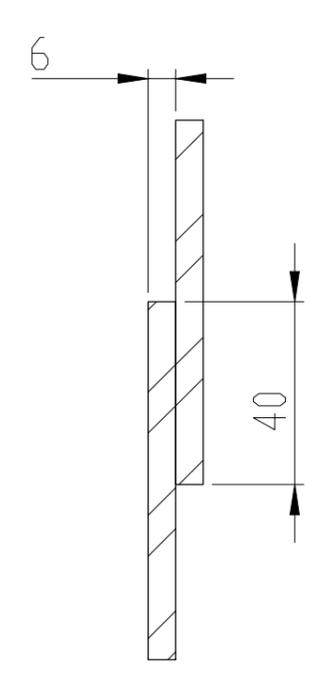
Planos



TRASLAPE DE PLANCHAS



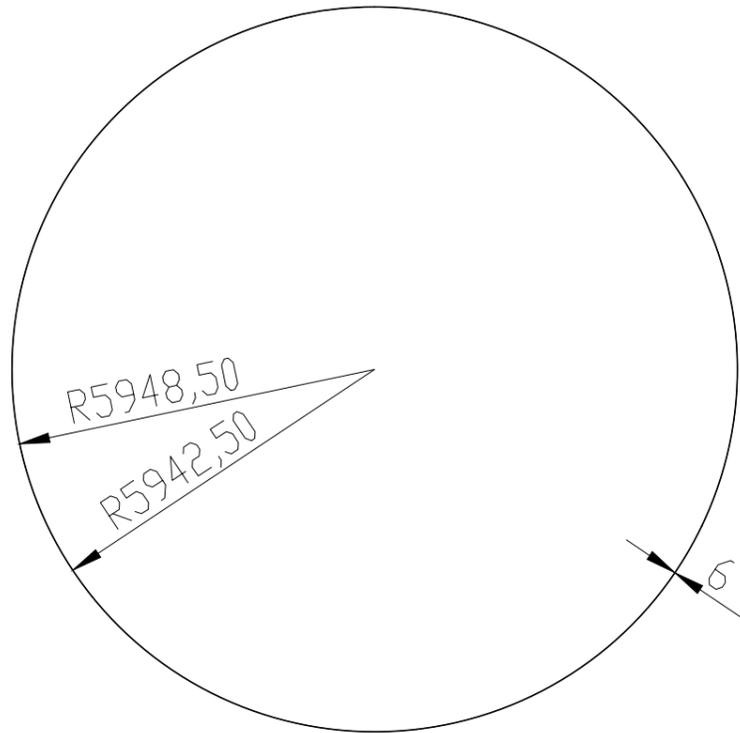
DETALLE A
ESCALA 1 : 20



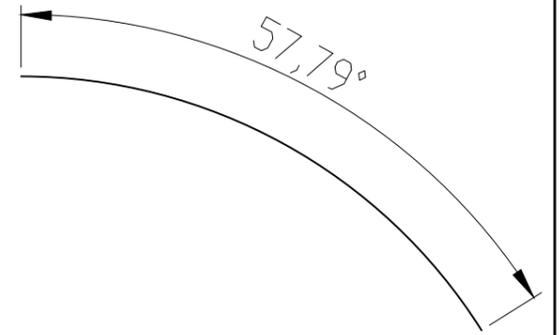
SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 2

	NOMBRE	FECHA	FIRMA	TÍTULO: Tanque de Almacenamiento
	DIBUJÓ: M.CABRERA - L.SOLIS	24-MAR-2015		
	VERIFICÓ: ING. MANUEL HELGUERO	24-MAR-2015		
APROB.				
ESPOL - FIMCP	MATERIAL:	ASTM A-36		N.º DE DIBUJO: Fondo del Tanque Distribución de Placas Metalicas
				PLANO N.º: A1
		ESCALA: 1:200	NO CAMBIE LA ESCALA	HOJA 1 DE 1

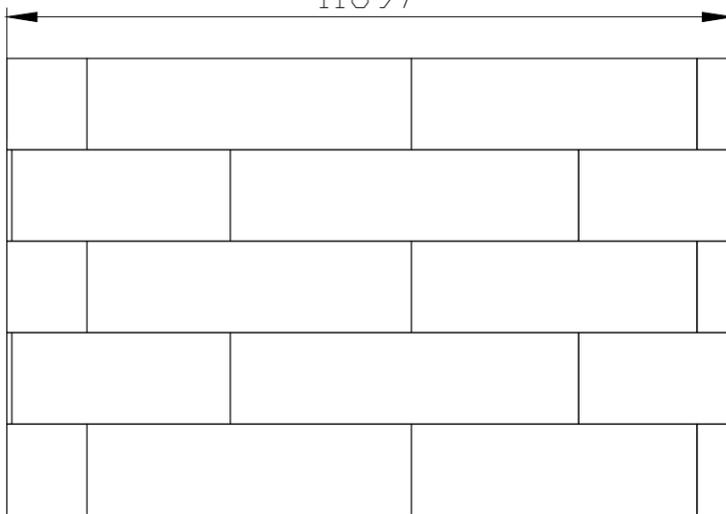
Manto - Vista Superior



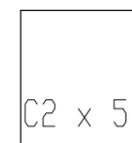
Plancha Conrolada 1



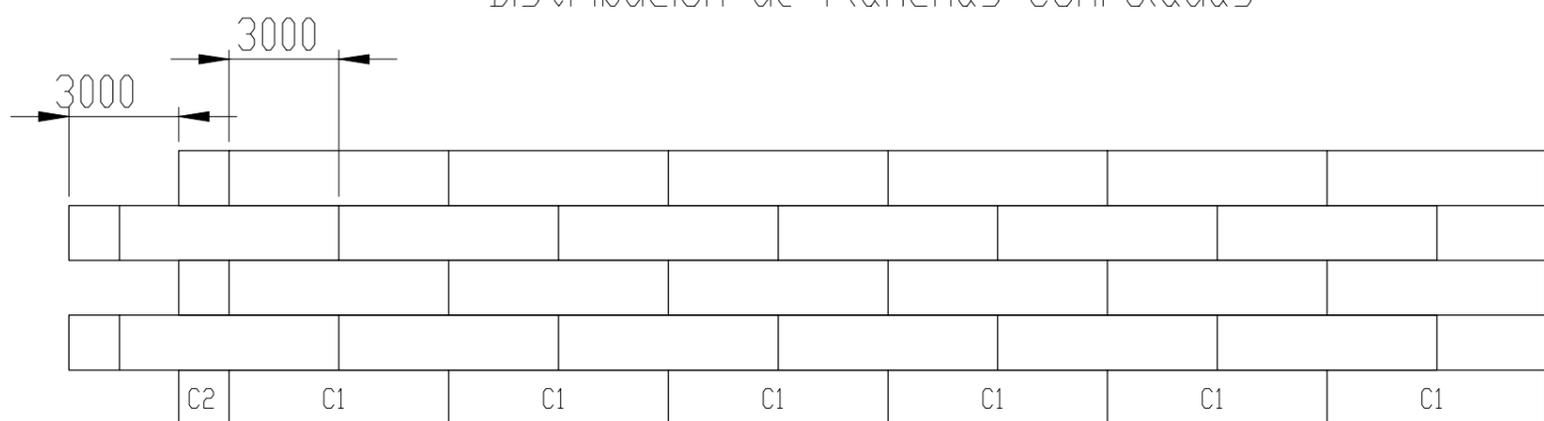
Manto - Vista Frontal
11897



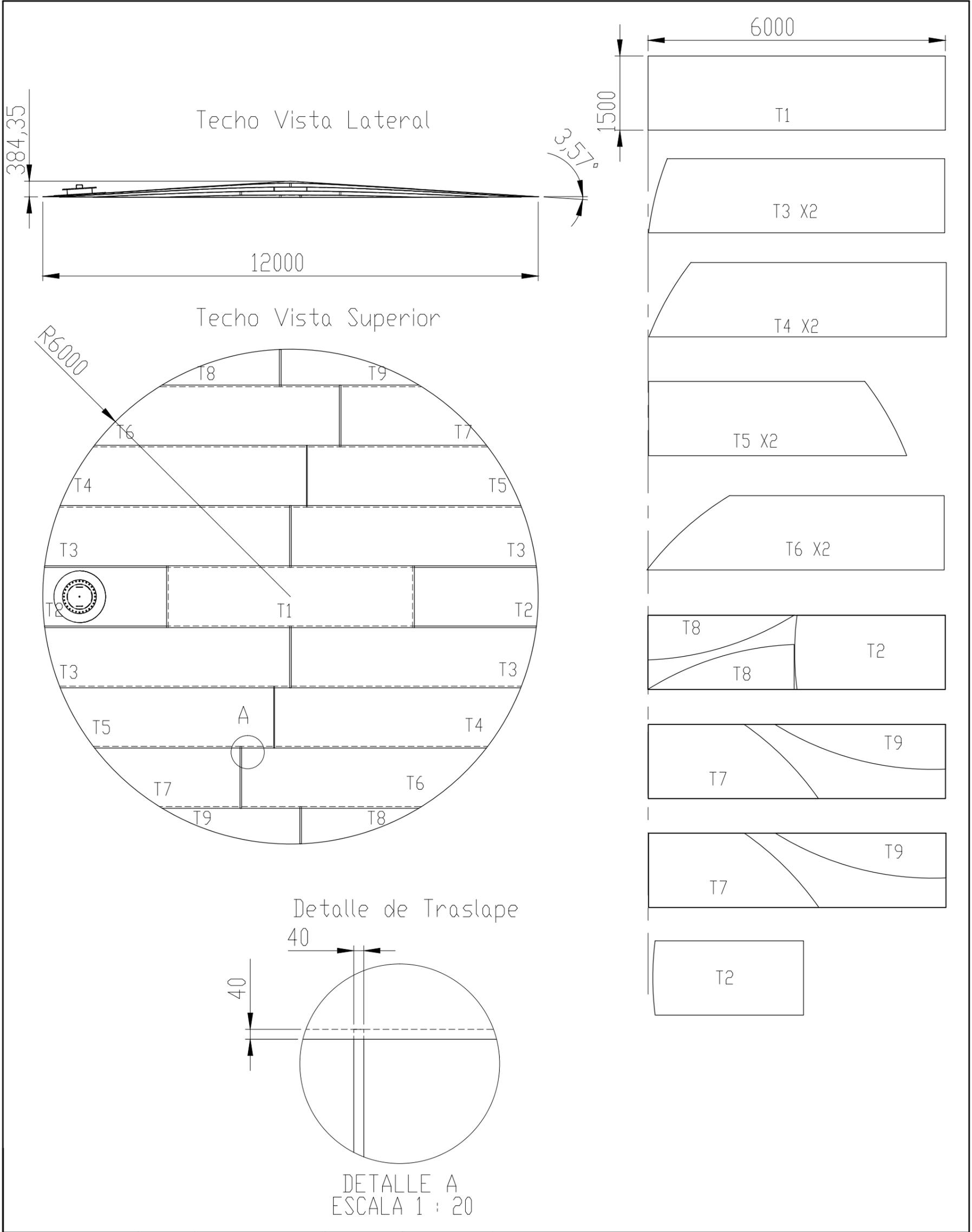
Plancha Conrolada 2



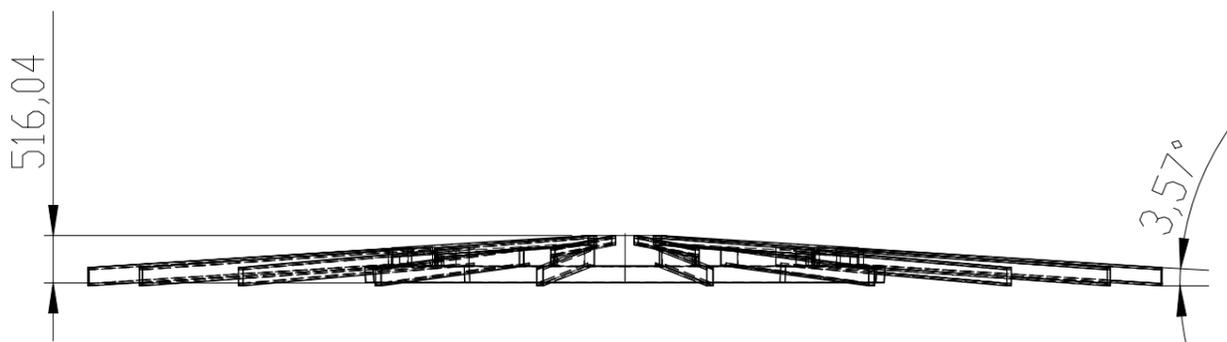
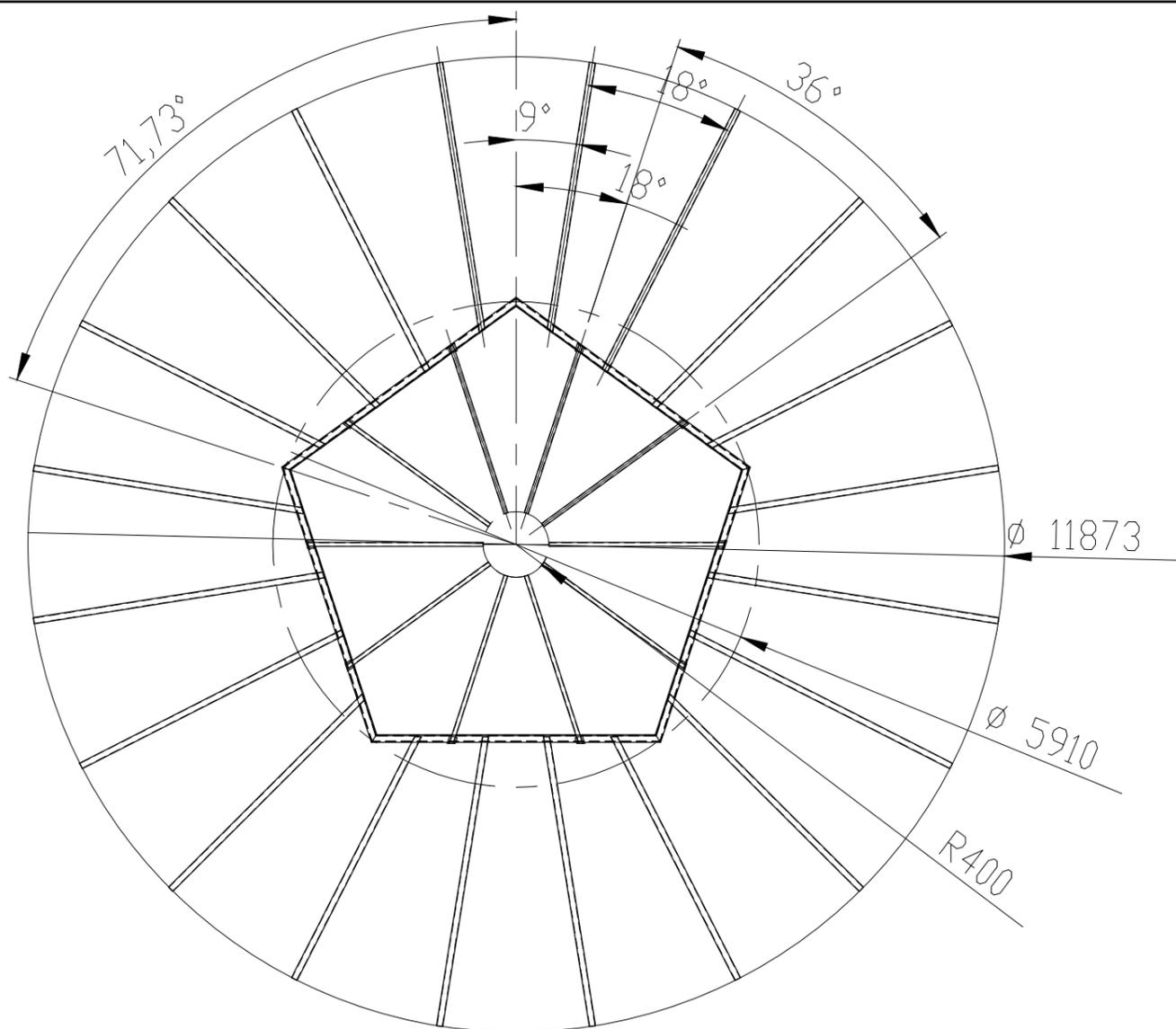
Distribución de Planchas Conroladas



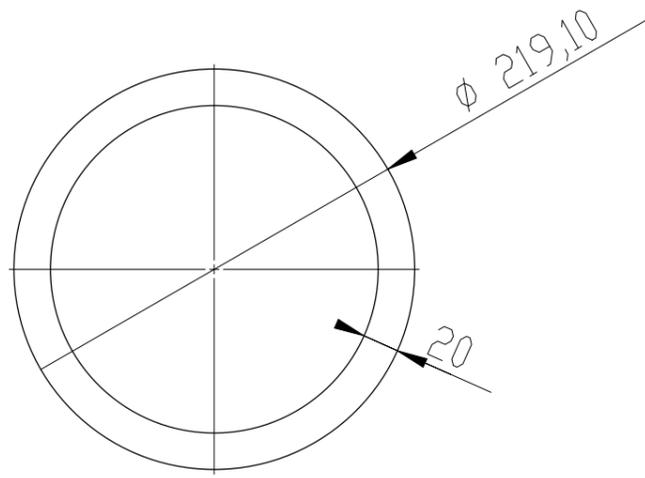
	NOMBRE	FECHA	FIRMA	TÍTULO: Tanque de Almacenamiento
	DIBUJÓ: M.CABRERA - L.SOLIS	24-MAR-2015		
	VERIFICÓ: ING. MANUEL HELGUERO	24-MAR-2015		
	APROB.			
ESPOL - FIMCP	MATERIAL:	ASTM A-36		N.º DE DIBUJO Manto del Tanque Distribución de Plancas Metalicas
				PLANO N.º: B1
		ESCALA: 1:500	NO CAMBIE LA ESCALA	HOJA 1 DE 1



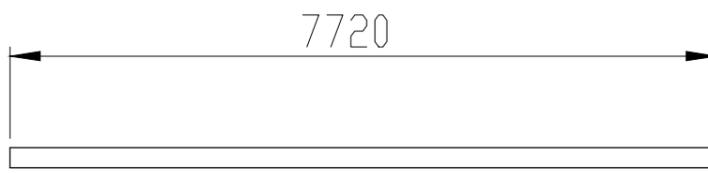
	NOMBRE	FECHA	FIRMA	TÍTULO: Tanque de Almacenamiento	
	DIBUJÓ: M.CABRERA - L.SOLIS	24-MAR-2015			
	VERIFICÓ: ING. MANUEL HELGUERO	24-MAR-2015			
APROB.					
ESPOL - FIMCP	MATERIAL:	ASTM A-36		N.º DE DIBUJO: Techo del Tanque	PLANO N.º: C1
				Distribución de Placas Metalicas	
		ESCALA: 1:500	NO CAMBIE LA ESCALA	HOJA 1 DE 1	



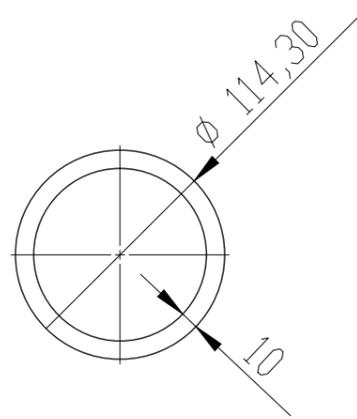
	NOMBRE	FECHA	FIRMA	TÍTULO: Tanque de Almacenamiento	
	DIBUJÓ: M.CABRERA - L.SOLIS	24-MAR-2015			
	VERIFICÓ: ING. MANUEL HELGUERO	24-MAR-2015			
APROB.					
ESPOL - FIMCP	MATERIAL:	ASTM A-36		N.º DE DIBUJO Cuerpo Estructural	PLANO N.º: C2
	ESCALA: 1:500		NO CAMBIE LA ESCALA	HOJA 1 DE 1	



Perfil Tubular
219,1x20
Escala 1:5



Cantidad para Ensamble: 1
Escala 1:100



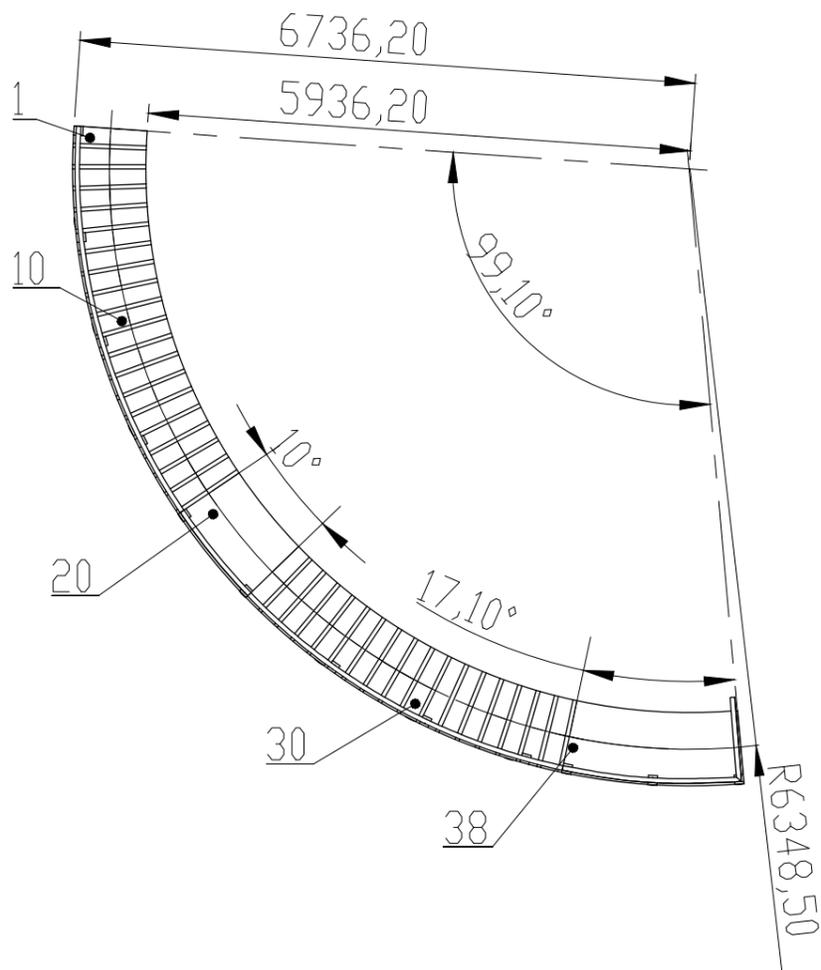
Perfil Tubular
114,3x10
Escala 1:5



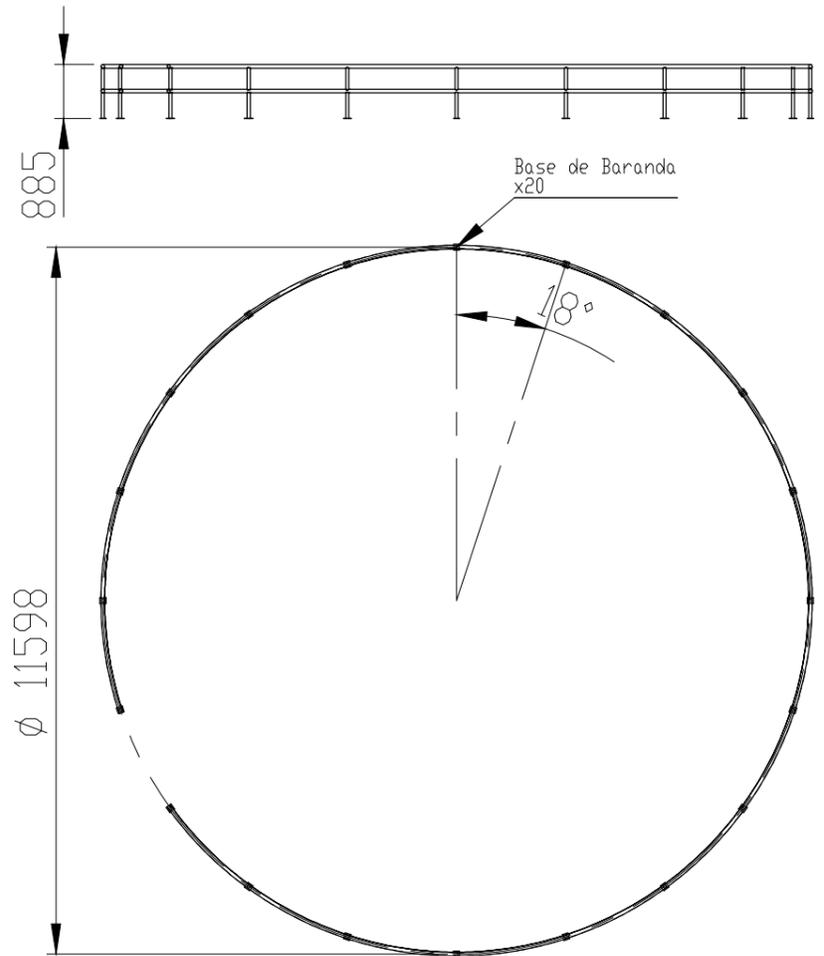
Cantidad para Ensamble: 5
Escala 1:100

	NOMBRE	FECHA	FIRMA	TÍTULO: Tanque de Almacenamiento			
	DIBUJÓ: M.CABRERA - L.SOLIS	24-MAR-2015					
	VERIFICÓ: ING. MANUEL HELGUERO	24-MAR-2015					
APROB.							
ESPOL - FIMCP	MATERIAL:	ASTM A-36		N.º DE DIBUJO	COLUMNAS	PLANO N.º:	C3
			ESCALA: 1:100	NO CAMBIE LA ESCALA	HOJA 1 DE 1		

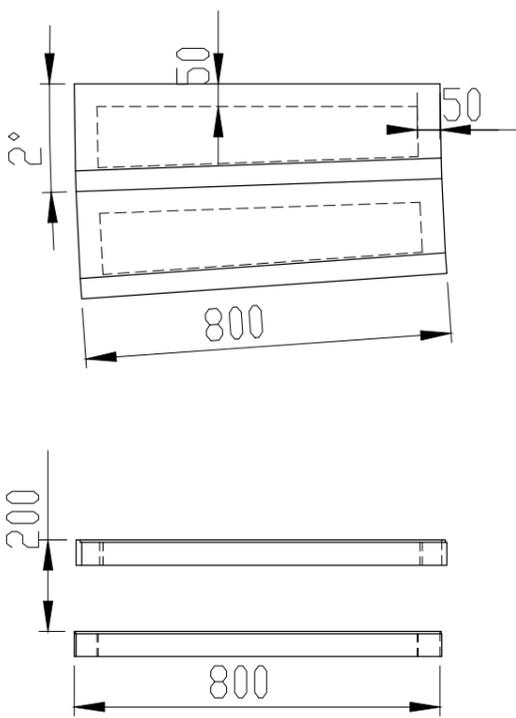
Escalera Externa



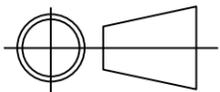
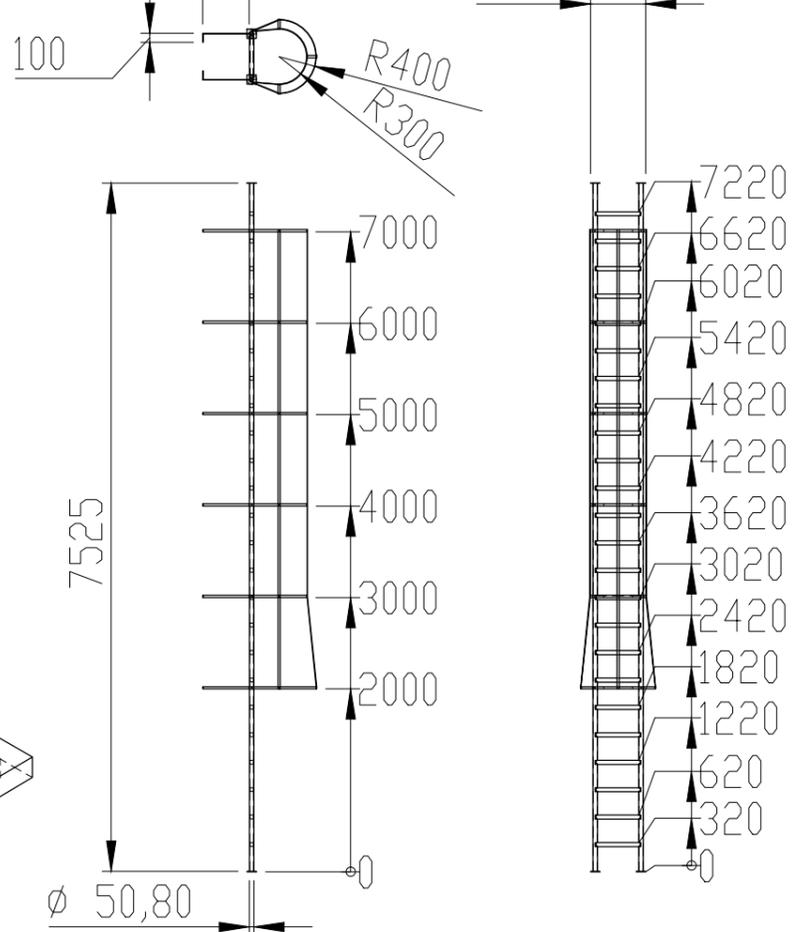
Baranda Perimetral



Detalle de Escalones



Escalera Interna



	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJÓ:	M.CABRERA - L.SOLIS	24-MAR-2015	
VERIFICÓ:	ING. MANUEL HELGUERO	24-MAR-2015	
APROB.			

TÍTULO:

Tanque de Almacenamiento

ESPOL - FIMCP

MATERIAL:

ASTM A-36

N.º DE DIBUJO

Barandas, Escaleras y Escalones

PLANO N.º:

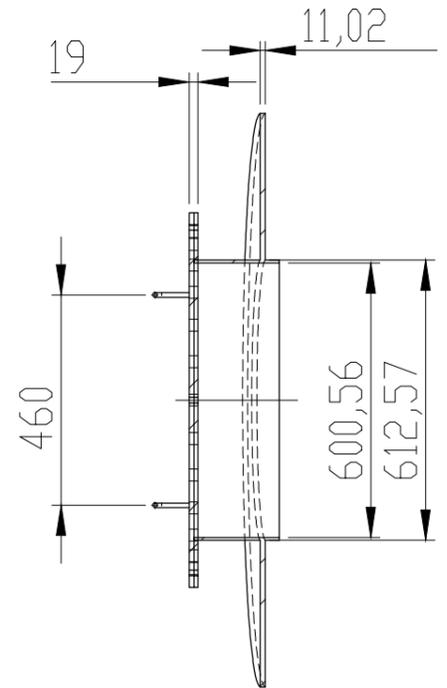
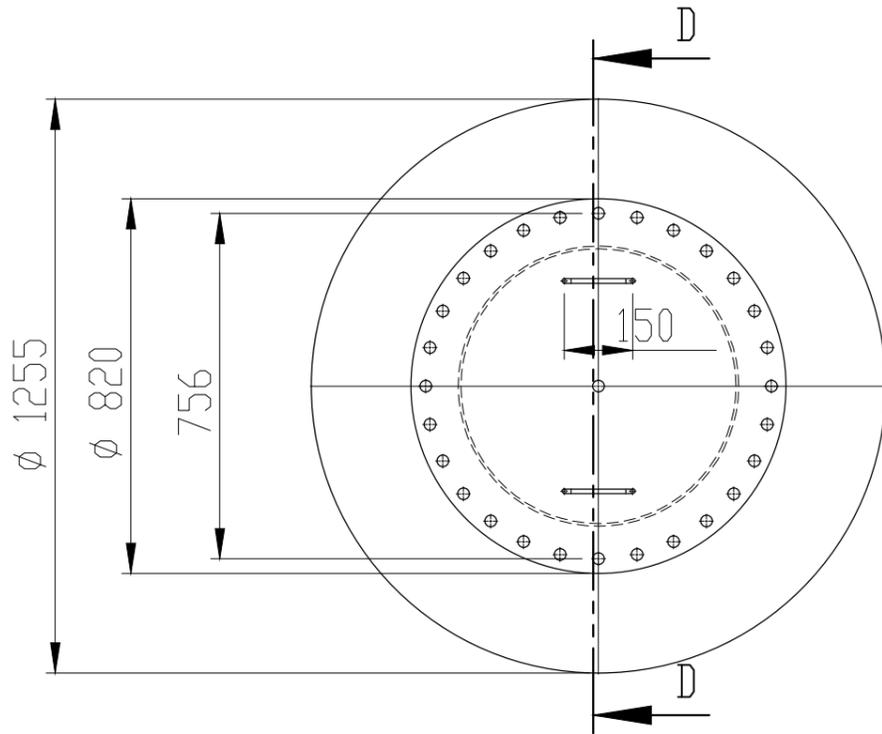
D1

ESCALA: 1:200

NO CAMBIE LA ESCALA

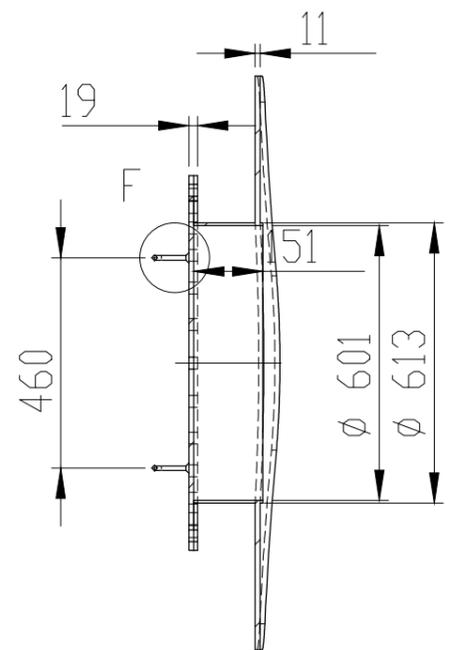
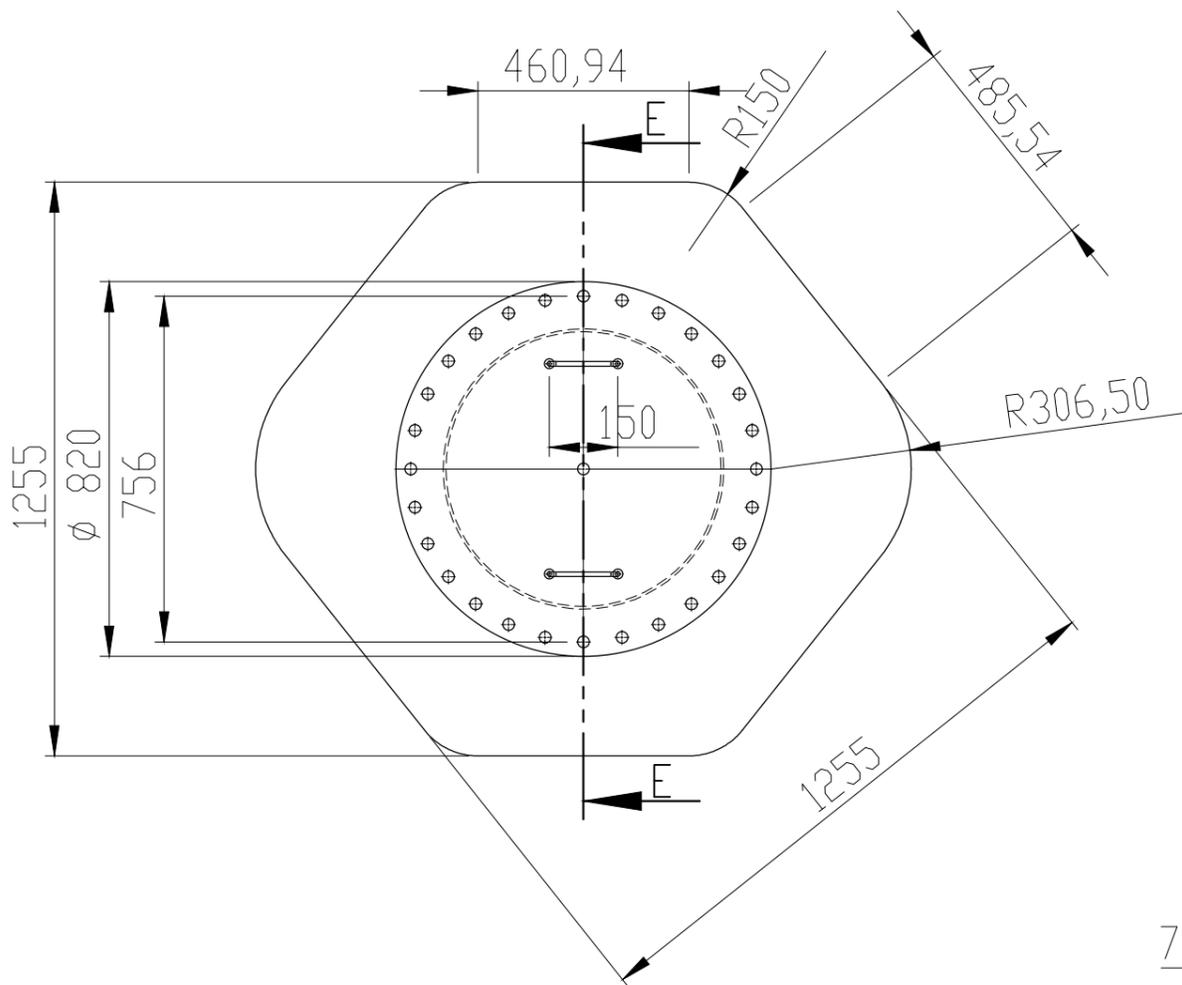
HOJA 1 DE 1

Manhole Superior

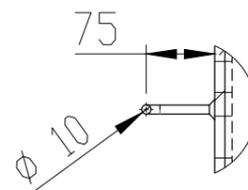


SECCIÓN D-D

Manhole Inferior

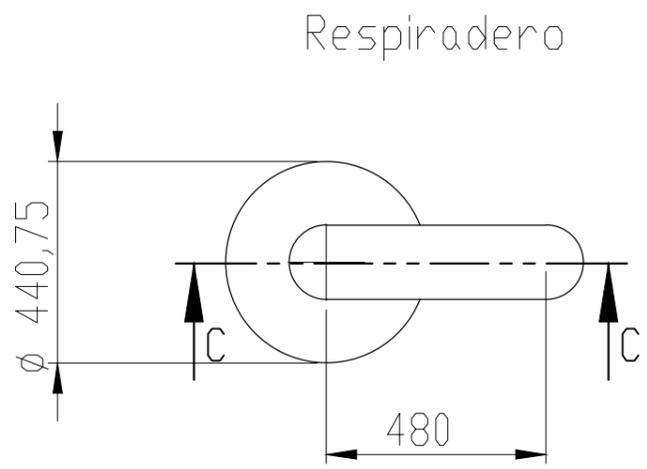
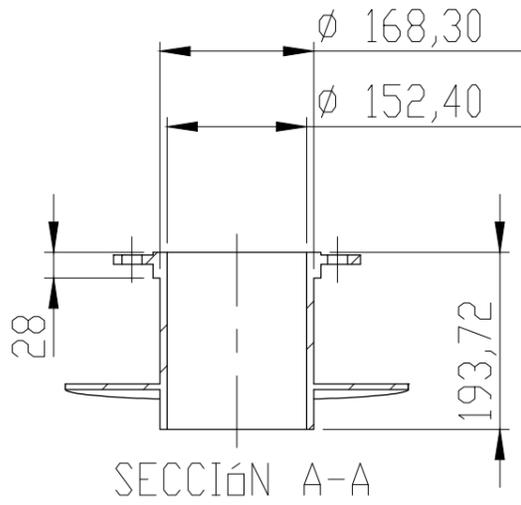
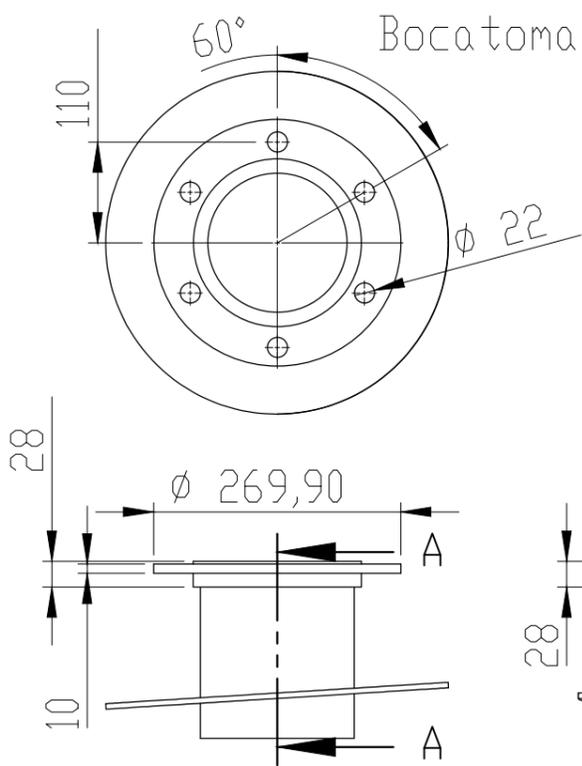


SECCIÓN E-E

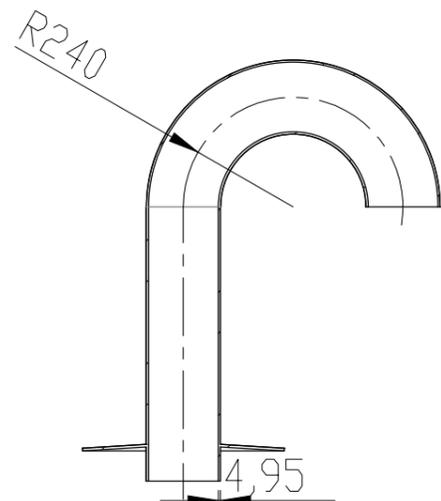
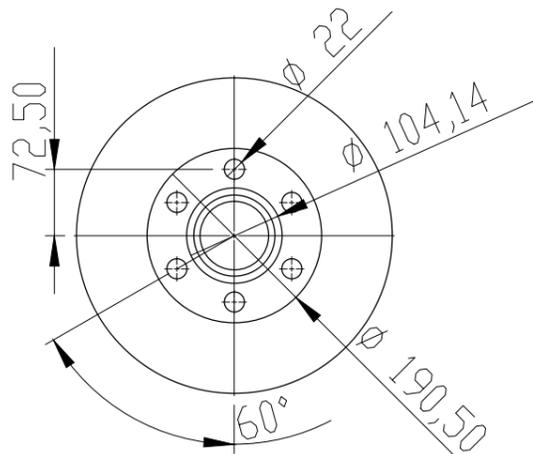
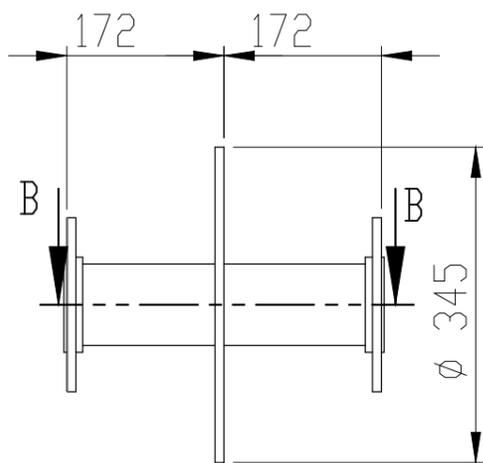


DETALLE F
ESCALA 1 : 10

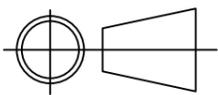
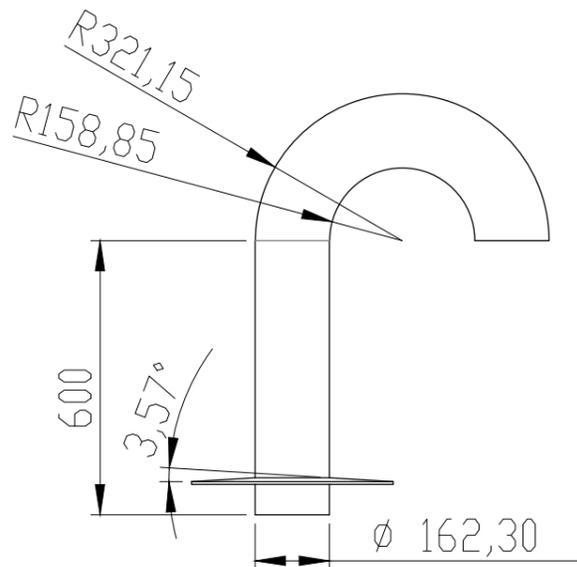
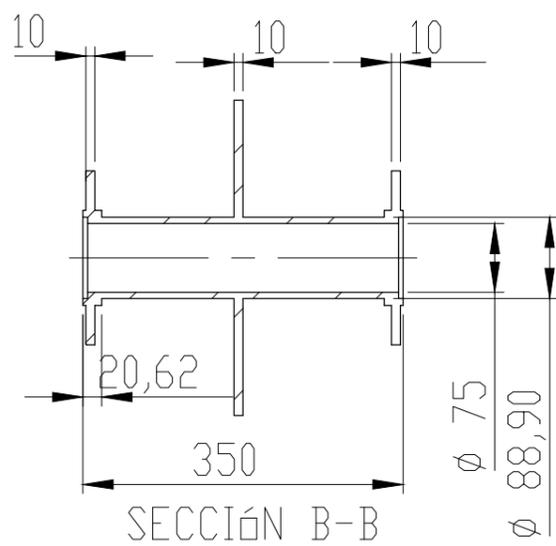
	NOMBRE	FECHA	FIRMA	TÍTULO: Tanque de Almacenamiento
	DIBUJÓ: M.CABRERA - L.SOLIS	24-MAR-2015		
	VERIFICÓ: ING. MANUEL HELGUERO	24-MAR-2015		
APROB.				
ESPOL - FIMCP	MATERIAL:	ASTM A-36		N.º DE DIBUJO Entradas Hombre Superior y Lateral
				PLANO N.º: D2
		ESCALA: 1:20	NO CAMBIE LA ESCALA	HOJA 1 DE 1



Bocatoma de Descarga



SECCIÓN C-C
ESCALA 1 : 20



	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJÓ:	M.CABRERA - L.SOLIS	24-MAR-2015	
VERIFICÓ:	ING. MANUEL HELGUERO	24-MAR-2015	
APROB.			

TÍTULO:

Tanque de Almacenamiento

ESPOL - FIMCP

MATERIAL:

ASTM A-36

N.º DE DIBUJO

Bocatomas y Respiraderos

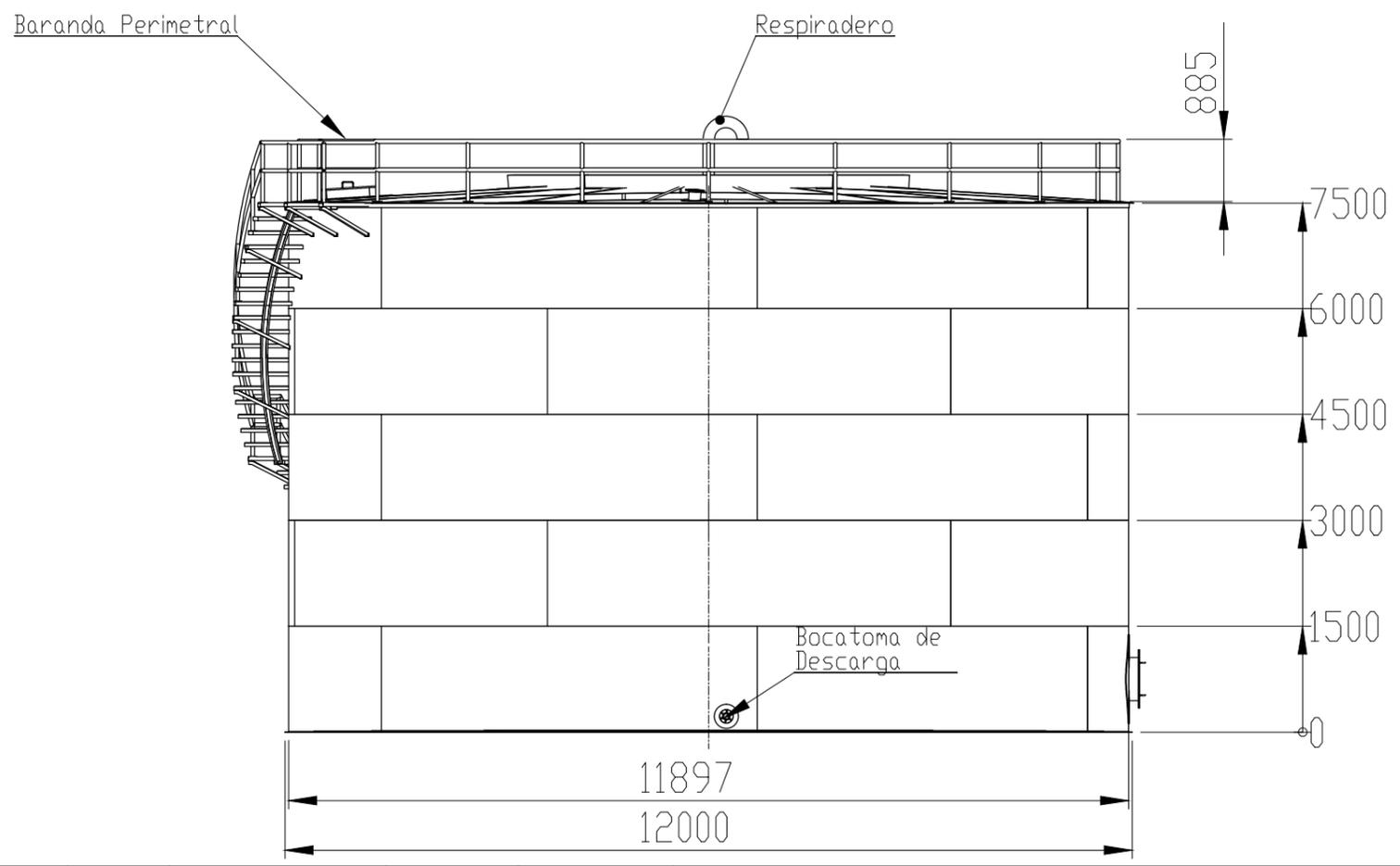
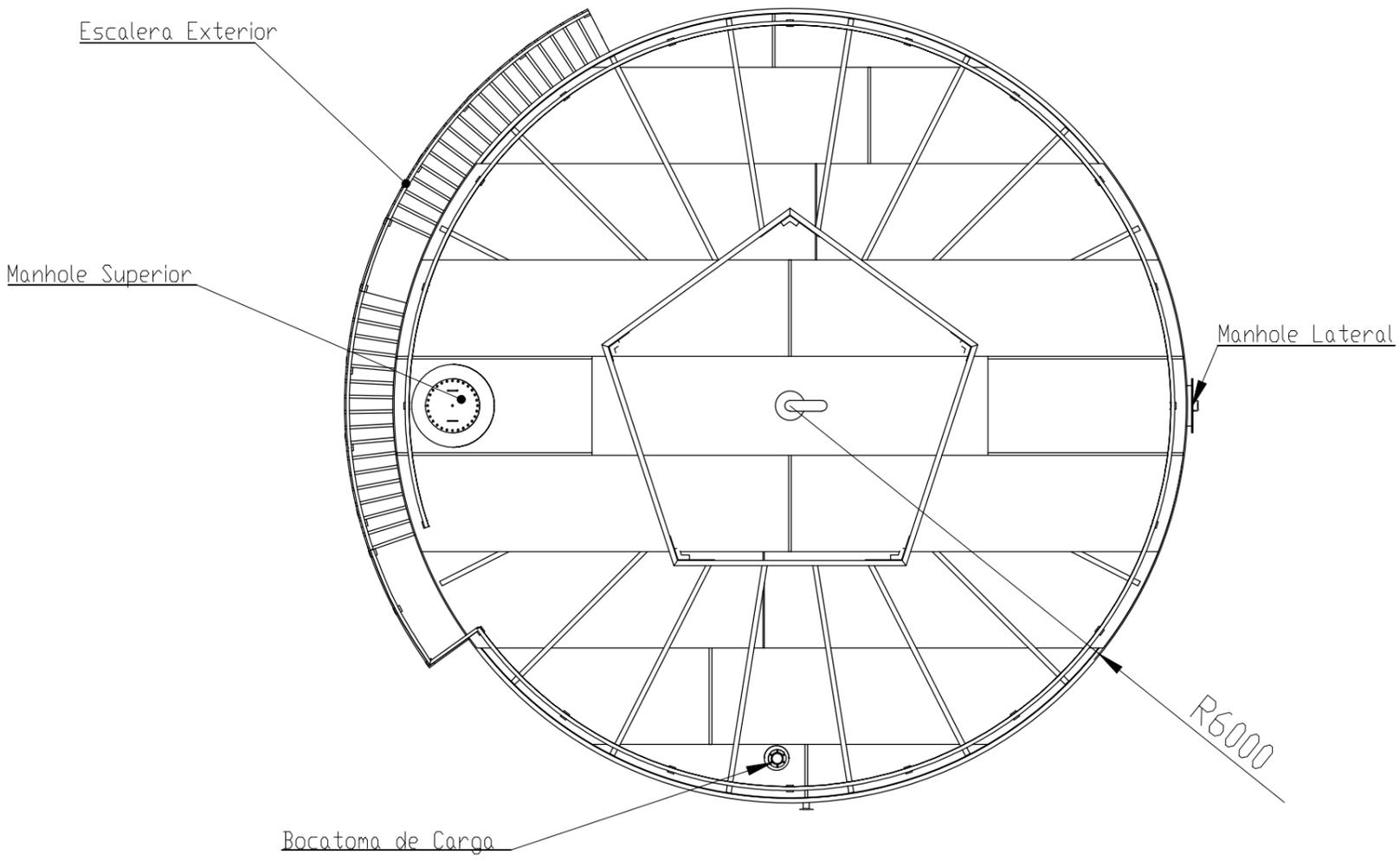
PLANO N.º:

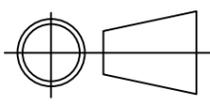
D3

ESCALA:1:10

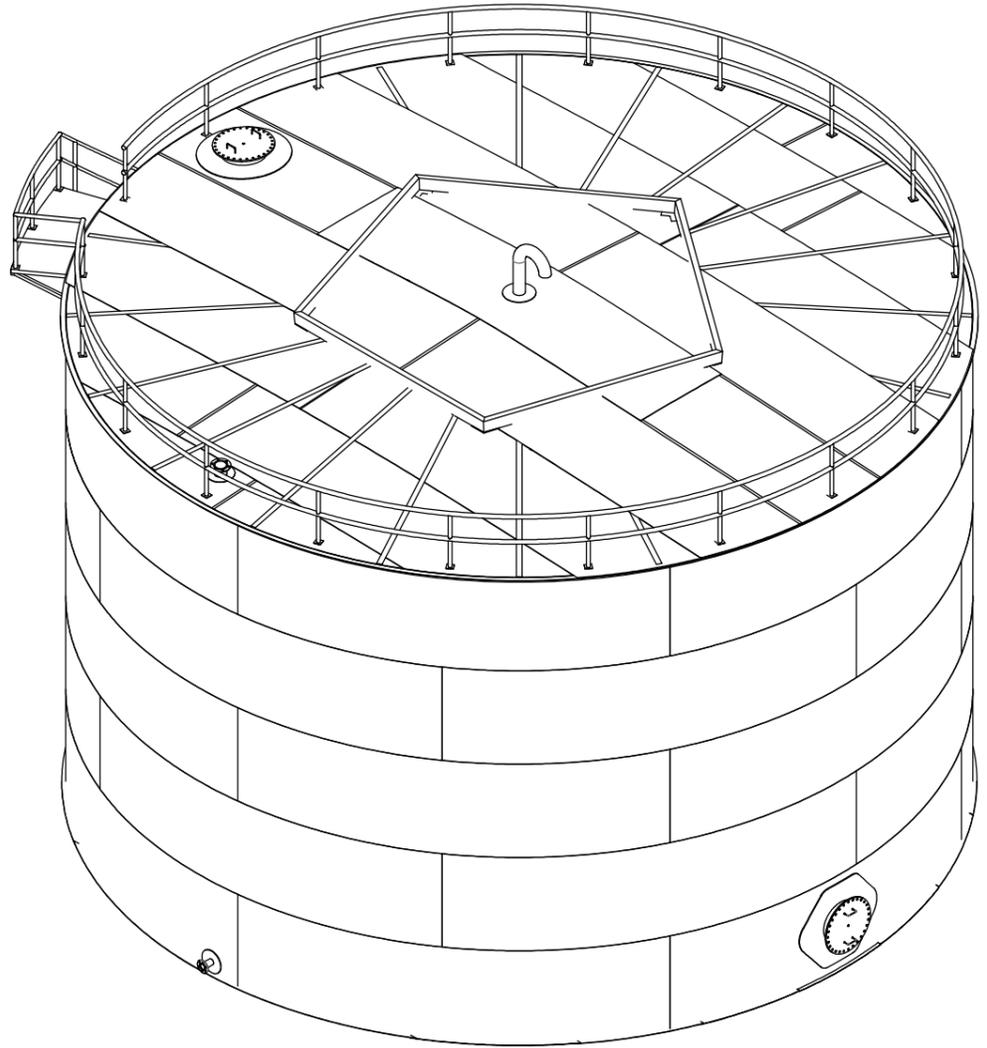
NO CAMBIE LA ESCALA

HOJA 1 DE 1

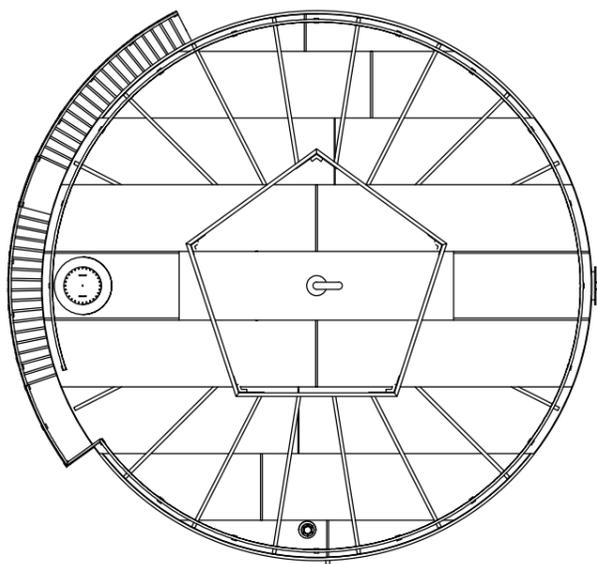


	NOMBRE	FECHA	FIRMA	TÍTULO: Tanque de Almacenamiento	
	DIBUJÓ: M.CABRERA - L.SOLIS	24-MAR-2015			
	VERIFICÓ: ING. MANUEL HELGUERO	24-MAR-2015			
APROB.					
ESPOL - FIMCP	MATERIAL:	ASTM A-36		N.º DE DIBUJO Tanque Medidas Generales	PLANO N.º: E1
			ESCALA: 1:10	NO CAMBIE LA ESCALA	HOJA 1 DE 1

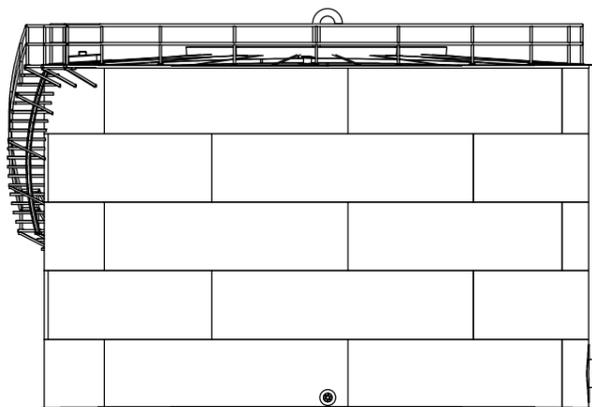
Vista Isometrica de Tanque de Almacenamiento+
Escala 1:120



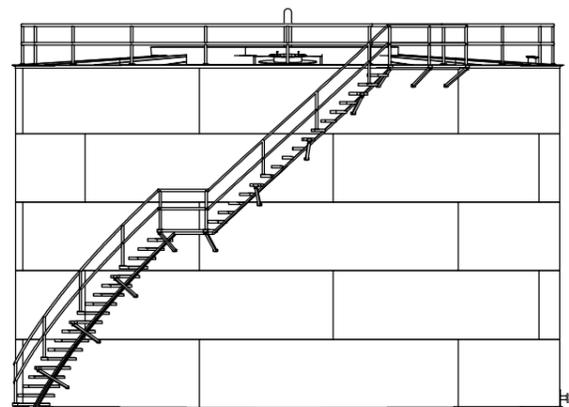
Vista Superior
Escala 1:200

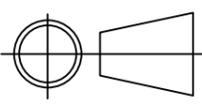


Vista Frontal
Escala 1:200



Vista Lateral Izquierda
Escala 1:200



	NOMBRE M.CABRERA - L.SOLIS	FECHA 24-MAR-2015	FIRMA	TÍTULO: Tanque de Almacenamiento
	DIBUJ. VERIF.	ING. MANUEL HELGUERO	24-MAR-2015	
	APROB.			
ESPOL - FIMCP	MATERIAL: ASTM A-36	N.º DE DIBUJO VISTAS	PLANO N.º: E2	
		ESCALA:1:10 NO CAMBIE LA ESCALA	HOJA 1 DE 1	