



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”**



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

II PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA

EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“DISEÑO, FABRICACION Y MONTAJE DE
TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE DIESEL DE
200, 000 GALONES DE CAPACIDAD, BASADO EN
LA NORMA API 650, PARA LA UNIDAD MINERA
TOQUEPALA, DEPARTAMENTO DE TACNA”**

Autor:

Br. CONCHA CAPUÑAY FREDDY ALDO

Asesor:

Ing. WILSON FRANKLIN VALENCIA CENTENO

LAMBAYEQUE – PERÚ

2018



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”**



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

II PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA

EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“DISEÑO, FABRICACION Y MONTAJE DE TANQUE
DE ALMACENAMIENTO DE DIESEL DE 200, 000
GALONES DE CAPACIDAD, BASADO EN LA
NORMA API 650, PARA LA UNIDAD MINERA
TOQUEPALA, DEPARTAMENTO DE TACNA”**

Presentado Por:

Br. Concha Capuñay Freddy Aldo

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE: DR. JORGE LUIS NOMBERRA TEMOCHE

SECRETARIO: DR. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO

MIEMBRO: ING. PERCY EDUAR NIÑO VASQUEZ

ASESOR: ING. WILSON FRANKLIN VALENCIA CENTENO

Lambayeque – Perú

2018



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA y ELÉCTRICA



II PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA

EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

TITULO

**“DISEÑO, FABRICACION Y MONTAJE DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO
DE DIESEL DE 200, 000 GALONES DE CAPACIDAD, BASADO EN LA NORMA
API 650, PARA LA UNIDAD MINERA TOQUEPALA, DEPARTAMENTO DE
TACNA”**

CONTENIDOS

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN.

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

AUTOR: Br. CONCHA CAPUÑAY FREDDY ALDO

PRESIDENTE

SECRETARIO

MIEMBRO

ASESOR

Lambayeque – Perú

2018

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación, está dedicado, primeramente, a dios, por guiarme, cuidarme y permitirme realizar este trabajo.

También se la dedico a mi familia, en especial a mis padres, que me brindaron su cariño, apoyo y confianza durante los años de mi proceso de formación profesional, a mis hermanos que me apoyaron en momentos difíciles, a mis sobrinos por las alegrías que me brindaron, a todos mis amigos y personas que contribuyeron con sus consejos.

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a dios por cuidarme diariamente, por darme la sabiduría de realizar este trabajo, por mantener a mi familia unida y permitirme terminar mis estudios con éxitos.

Doy gracias infinitas a mis padres (Santos y Oscar), que fue uno de mis motivos de seguir adelante, gracias por el amor y cariño que me demostraron, por el esfuerzo diario que realizaron para apoyarme económicamente en mis estudios, por cada palabra de aliento y los consejos, orgulloso de tenerlos como padres.

Gracias a cada uno de mis hermanos (Luis, Trini, Jesús, José, Omar, Renzo, Frank y Cesar), que siempre me apoyaron a superarme cada día a salir adelante, gracias a mi abuela, mis tíos por el apoyo brindado.

Agradezco a mi sobrino Jhoan, por las alegrías, a sus papas por el apoyo y brindarme su casa durante el proceso de formación, gracias a su tía por estar siempre a mi lado apoyándome.

Agradezco a mi asesor Ing. Msc. Wilson Valencia, por sus consejos, su apoyo y confianza depositada en el desarrollo de presente trabajo, también a los docentes de la FIME, por sus enseñanzas.

Al personal de la empresa J.R. VER S.A.C. Montaje y Construcciones Electromecánico, en especial a Gerente General Jaime Roberto Noriega, por su ayuda, consejo y sus enseñanzas.

Gracias a todos mis amigos y personas cercanas que contribuyeron a la realización de este trabajo.

RESUMEN

El presente trabajo está relacionado con el diseño, fabricación y montaje para tanques de almacenamiento de combustibles líquidos, en la unidad minera Toquepala, siguiendo las reglamentaciones del American Petroleum Institute contenidas en su norma API 650.

Se analizarán las consideraciones que se tomarán al momento de seleccionar el tamaño de un tanque y se ven algunos tipos principales de tanques que se diseñan y construyen, básicamente en lo referente a su techado ya que el cilindro es prácticamente igual y único para todos los tipos de tanques.

Asimismo, se refiere al desarrollo del diseño de un tanque, en donde se analiza cada detalle siguiendo las pautas paso a paso dadas por la norma API 650, cálculos de las cargas sísmicas, asimismo se hacen cálculos de la estructura de acero interna del tanque comparando los esfuerzos permisibles como el diseño por resistencia.

Palabras claves: Diseño, almacenamiento, montaje, tanque.

ABSTRACT

The present work is related to the design, manufacture and assembly for storage tanks of liquid fuels, in the Toquepala mining unit, following the regulations of the American Petroleum Institute contained in its API 650 standard.

The considerations that will be taken when selecting the size of a tank will be analyzed and some main types of tanks that are designed and built are seen, basically in relation to their roofing since the cylinder is practically the same and unique for all types of tanks.

It also refers to the development of the design of a tank, where every detail is analyzed following the step-by-step guidelines given by the API 650 standard, calculations of seismic loads, as well as calculations of the internal steel structure of the tank comparing the permissible efforts such as resistance design.

Keywords: Design, storage, assembly, tank.

INDICE

DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
RESUMEN.....	VI
INDICE.....	VII
INDICE DE TABLAS.....	XII
INDICE DE FIGURAS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XVI
 CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.6.1. Objetivo General.....	3
1.6.2. Objetivos Específicos.....	3
 CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	4
2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIOS.....	4
2.2. DESARROLLO DE LA TEMATICA CORRESPONDIENTE AL TEMA DESARROLLADO.....	5
2.2.1. CLASIFICACION GENERAL DE TANQUES Y RECIPIENTES A PRESION.....	6
2.2.1.1. Tanque de Almacenamiento Techo Fijo.....	6
2.2.1.2. Tanque de Almacenamiento Techo Flotante.....	7
2.2.1.3. Recipientes a Presión.....	10
2.2.1.4. Otros Tipos.....	11
2.2.2. PRODUCTO DIESEL B5.....	11
2.2.3. CODIGOS APLICABLES.....	12
2.2.3.1. Normas del Instituto Americano del Petróleo.....	13
2.2.3.2. Norma API 650.....	15
2.2.3.3. Otras Normas Aplicables.....	16
2.2.4. DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LA TERMINOLOGÍA EMPLEADA.....	18
 CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	19
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	19
3.2. HIPÓTESIS.....	19
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	20
3.3.1. LOCALIZACION DEL PROYECTO.....	20
3.3.2. CONDICIONES CLIMATICAS Y GEOGRAFICAS DEL SITIO.....	21
3.3.3. CONDICIONES AMBIENTALES.....	22
3.4. MÉTODOS Y TECNICAS DE INVESTIGACIÓN.....	23
3.5. DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS.....	24
3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.....	24

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN.....	25
4.1. PARAMETROS Y CONSIDERACIONES PARA DE DISEÑO.....	25
4.2. CONSIDERACIONES ESPECIALES DE DISEÑO.....	27
4.2.1 TOLERANCIAS POR CORROSIÓN.....	27
4.2.2 ESFUERZOS PERMISIBLES.....	28
4.2.3 GRAVEDAD ESPECIFICA DEL LÍQUIDO A ALMACENAR (G).....	28
4.2.4 MATERIALES.....	29
4.2.4.1 Planchas.....	29
4.2.4.2 Perfiles Estructurales.....	30
4.2.4.3 Tuberías.....	30
4.2.4.4 Bridas.....	31
4.2.4.5 Pernos.....	32
4.2.4.6 Válvulas.....	32
4.2.4.7 Electrodo para soldadura.....	34
4.2.5 DISEÑO DE UNIONES DE SOLDADURA.....	35
4.2.6 SOLDADURA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO.....	38
4.2.6.1 Juntas verticales del cuerpo.....	39
4.2.6.2 Juntas horizontales.....	40
4.2.6.3 Soldadura del fondo.....	40
4.2.6.4 Junta del cuerpo – fondo.....	41
4.2.6.5 Juntas del techo y perfil de coronamiento.....	41
4.3. ACCESORIOS DEL TANQUE.....	42
4.3.1 SELECCIÓN DE BOQUILLAS PARA ESPESORES DE MANHOLE Y BRIDAS.....	44
4.3.2 ESCALERAS Y BARANDAS DEL TANQUE.....	47
4.4 DISEÑO DE TANQUES DE TECHO FIJO.....	49
4.4.1 CAPACIDAD DEL TANQUE.....	49
4.4.2 DISEÑO DE ESPESORES DE CUERPO.....	50
4.4.3 MÉTODO DE CÁLCULO PARA CUERPO DE TANQUE.....	51
4.4.3.1 Diseño de espesores por el método de un pie.....	52
4.4.3.2 Diseño de espesores por el método del punto de diseño variable.....	53
4.4.3.3 Diseño de espesores por análisis elástico.....	54
4.4.4 ESPESORES PARA EL FONDO DEL TANQUE.....	54
4.4.5 DISEÑO DE TECHO CÓNICO SOPORTADO.....	54
4.4.5.1 Esfuerzos Permisibles.....	56
4.4.6 DISEÑO DE VIGAS Y COLUMNAS CON CARGAS UNIFORMEMENTE REPARTIDA.....	59
4.4.6.1. ESPACIO ENTRE VIGAS Y NÚMEROS DE VIGAS.....	60
4.4.6.2. SELECCIÓN DE VIGAS.....	61
4.4.6.3. DISEÑO DE COLUMNA CENTRAL CON CARGA AXIAL.....	62
4.4.6.4. SELECCIÓN DE LAS COLUMNA CENTRAL.....	64
4.4.7 DISEÑO DE RIGIDIZADOR SUPERIOR O PERFIL DE CORONAMIENTO.....	65
4.4.8 ESTABILIDAD AL VOLTEO POR CARGA DE VIENTO.....	66
4.4.9 DISEÑO POR CARGA DE SISMO.....	68
4.4.9.1 DATOS GEOMÉTRICOS DEL LUGAR PARA EL DISEÑO SÍSMICO.....	69
4.4.9.2 ESTABILIDAD AL VUELCO.....	70
4.4.9.3 DISEÑO DE ACELERACIONES ESPECTRALES.....	71

4.4.9.4 PARÁMETROS REQUERIDOS PARA EL DISEÑO SÍSMICO.....	72
4.4.9.5 PESO EFECTIVO DEL PRODUCTO.	76
4.4.9.6 CENTRO DE ACCIÓN PARA LAS FUERZAS LATERALES EFECTIVAS.....	77
4.4.9.7 FUERZA DE CORTE EN LA BASE.....	78
4.4.9.8 RESISTENCIA AL VOLTEO.....	79
4.4.10 DISEÑO DE ANCLAJE.....	81
4.4.11 SISTEMA DE VENTILACION.....	83
4.4.12 SISTEMA DE DRENAJE DEL TANQUE.....	87
4.4.13 SISTEMA CONTRA INCENDIOS Y CAMARA DE ESPUMA.....	88
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	89
5.1. CALCULOS DE DISEÑO.....	89
5.1.1 CALCULO DEL CUERPO DEL TANQUE.....	90
5.1.2 CALCULO DEL FONDO DEL TANQUE.....	94
5.1.3 CALCULO DE TECHO FIJO Y VIGAS.....	94
5.1.4 CALCULO DE COLUMNA CENTRAL.....	101
5.1.5 CALCULO VIGA DE RIGIDEZ O PERFIL DE CORONAMIENTO.....	104
5.1.6 ANALISIS DE PESO DEL TANQUE.....	106
5.1.7 CÁLCULO CARGAS DE VIENTO.....	107
5.1.8 CÁLCULO POR CARGA DE SISMO.....	111
5.1.9 CÁLCULO DE ANCLAJE DEL TANQUE.....	115
5.2. PROCEDIMIENTO DE FABRICACION Y MONTAJE DE TANQUE.....	121
5.2.1 MATERIALES PARA SOLDADURA.....	121
5.2.2 CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS Y HABILIDAD DEL SOLDADOR.....	124
5.2.2.1 Especificación de Procedimiento de Soldadura (WPS).....	125
5.2.2.2 Registro de Calificación de Procedimiento (PQR).....	126
5.2.2.3 Calificación de Habilidad del Soldador (WPQ).....	127
5.3 FABRICACION DE TANQUE EN TALLER.....	128
5.3.1 REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE RECURSOS.....	130
5.3.2 COMPRA DE MATERIALES Y CONSUMIBLES.....	131
5.3.3 RECEPCION DE MATERIAL EN TALLER.....	132
5.3.4 TRAZO, CORTE DE PLANCHAS Y PERFILES METALICOS.....	132
5.3.5 BISELADO DE PLANCHAS Y PERFILES.....	133
5.3.6 ROLADO Y EMPLANTILLAMIENTO DE PLANCHAS EN CUERPO DE TANQUE.....	134
5.3.7 PREPARACION SUPERFICIAL O ARENADO DE PLANCHAS.....	135
5.3.8 PINTURA BASE DE PLANCHAS (INTERIOR Y EXTERIOR).....	137
5.3.9 EMBAJALE, TRASLADO DE PLANCHAS, PERFILES, MATERIALES CONSUMIBLES A OBRA.....	139
5.4 MONTAJE DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO EN OBRA.....	140
5.4.1 REQUISITOS GENERALES DE SEGURIDAD PREVIO AL MONTAJE.....	140
5.4.2 REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE RECURSOS.....	141
5.4.3 IDENTIFICACION DE MATERIALES.....	143
5.4.4 PRELIMINARES PARA EL PROCESO DE MONTAJE EN CAMPO.....	143
5.4.4.1 Movilización de equipos, herramientas y personal a obra.....	146
5.4.4.2 Permisos de trabajo.....	146
5.4.4.3 Instalaciones de facilidades de obra.....	146
5.4.4.4 Recepción de materiales en obra.....	146

5.4.4.5 Verificación de la cimentación de la base del tanque.....	147
5.4.5 MONTAJE DE FONDO DEL TANQUE.....	148
5.4.5.1 Trazo y replanteo de planchas en el fondo.....	148
5.4.5.2 Montaje, distribución y apuntalamiento de planchas del fondo.....	149
5.4.5.3 Soldeo de planchas del fondo del tanque.....	152
5.4.6 MONTAJE DE CASCO O CUERPO DEL TANQUE.....	153
5.4.6.1 Método del Sistema de gateo para montaje del casco.....	153
5.4.6.2 Distribución, armado y apuntalamiento de las columnas de apoyo para el sistema de gateo.....	155
5.4.6.3 Montaje de primer anillo o anillo superior.....	157
5.4.6.4 Apuntalamiento de planchas en el primer anillo.....	159
5.4.6.5 Soldeo de junta vertical de planchas del primer anillo.....	161
5.4.6.6 Montaje y soldeo de Angulo de rigidez.....	163
5.4.6.7 Instalación de gatas hidráulicas e izaje del primer anillo.....	163
5.4.6.8 Distribución y montaje de planchas de segundo anillo.....	168
5.4.6.9 Soldeo de junta vertical de planchas del segundo anillo.....	170
5.4.6.10 Soldeo de junta horizontal entre planchas del primer y segundo anillo.....	171
5.4.6.11 Instalación de gatas e izaje de primer y segundo anillo.....	172
5.4.6.12 Montaje de tercer y cuarto anillo o anillo inferior.....	173
5.4.7 SOLDEO DE FONDO CON CASCO.....	177
5.4.8 MONTAJE DE LA COLUMNA CENTRAL Y LAS VIGAS DEL TECHO.....	178
5.4.9 MONTAJE DEL TECHO CONICO DEL TANQUE.....	183
5.4.10 MONTAJE Y SOLDEO DE ESCALERA, BARANDAS Y PLATAFORMAS.....	186
5.4.11 INSTALACION Y SOLDADURA DE BOQUILLAS Y ACCESORIOS.....	189
5.4.12 PINTADO INTERIOR Y EXTERIOR DE TANQUE (CAPA INTERMEDIA Y ACABADO).....	195
5.4.13 INSTALACIONES DE SISTEMA CONTRA INCENDIO.....	198
5.4.14 TOLERANCIAS DIMENSIONALES.....	199
5.4.15 INSPECCIONES DE CALIDAD O DOSSIER DE CALIDAD.....	200
5.5 PRUEBAS.....	201
5.5.1 PRUEBAS DE TINTES PENETRANTES.....	201
5.5.2 INSPECCION RADIOGRAFICA.....	203
5.5.3 REDONDEZ.....	204
5.5.4 VERTICALIDAD.....	204
5.5.5 INSPECCION VISUAL.....	205
5.5.6 PRUEBA DE DIESEL.....	205
5.5.7. PRUEBA DE VACIO.....	206
5.5.8 PRUEBA NEUMATICA EN PLANCHAS DE REFUERZO.....	207
5.5.9 PRUEBA HIDROSTATICA.....	209
5.6 METRADO, COSTOS Y PRESUPUESTO.....	211
5.6.1 Análisis de costo de Materiales Propio de Obra.....	212
5.6.2 Análisis de cantidad de Soldadura.....	213
5.6.3 Análisis de costo de consumibles.....	213
5.6.4 Análisis de costo de consumo de combustible de los equipos.....	214
5.6.5 Análisis de costo de personal.....	214
5.6.6 Análisis de costo de equipos y herramientas.....	215
5.6.7 RESUMEN DE COSTOS DEL PROYECTO.....	215

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	216
6.1 CONCLUSIONES.....	216
6.2 RECOMENDACIONES.....	217
 BIBLIOGRAFIA.....	 218

ANEXOS

ANEXO 1: ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA DEL
PROYECTO (WPS, PQR, WPQ)

ANEXO 2: HOJAS TECNICAS DE PINTURA

ANEXO 3: PROCEDIMIENTO DE FABRICACION EN TALLER Y MONTAJE DE TANQUE
EN CAMPO

PLANOS DEL PROYECTO

INDICE TABLAS

CAPITULO II

Tabla 2.1 Especificaciones Técnicas de Diesel.....	12
--	----

CAPITULO IV

Tabla 4.1 Valores mínimo de cordón.....	41
Tabla 4.2 Diámetros típicos de tanques.....	49
Tabla 4.3 Características Tanque.....	50
Tabla 4.4 Espesores mínimos para diámetros nominales de tanque.....	51
Tabla 4.5 Mapeado máximo considerado para aceleraciones sísmicas en periodos cortos.....	74
Tabla 4.6 Mapeado máximo considerado para aceleraciones sísmicas en periodos segundo.....	74
Tabla 4.7 Factores de modificación de respuesta R_w	75
Tabla 4.8 Resumen de parámetros.....	75
Tabla 4.9 Relación de anclaje.....	80

CAPITULO V

Tabla 5.1 Características acero ASTM A36.....	91
Tabla 5.2 Espesores resultantes para el cuerpo del tanque.....	93
Tabla 5.3 Resumen de valores de perfil para los largueros.....	100
Tabla 5.4 Peso total del tanque fabricado.....	106
Tabla 5.5 Datos carga de viento.....	107
Tabla 5.6 Cargas por fuerza del viento.....	107
Tabla 5.7 Datos carga de sismo.....	111
Tabla 5.8 Datos de diseño de tanque.....	119
Tabla 5.9 Tabla de diseño de boquillas.....	120
Tabla 5.10 Desviaciones locales.....	199
Tabla 5.11 Cuadro de costo de materiales.....	212
Tabla 5.12 Cuadro de cantidad de consumo de soldadura.....	213
Tabla 5.13 Cuadro de costos de consumibles.....	213
Tabla 5.14 Cuadro de costos de combustible de equipos.....	214
Tabla 5.15 Cuadro de costo de personal.....	214
Tabla 5.16 Cuadro de costo de equipos y herramientas.....	215
Tabla 5.17 Cuadro de costo total del proyecto.....	215

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO II

Figura 2.1 Ubicación general de proyecto.....	4
Figura 2.2 Tipos de tanques de almacenamiento.....	6
Figura 2.3 Tanque de almacenamiento tipo techo fijo.....	7
Figura 2.4 Tanque de almacenamiento de Techo Flotante Tipo Ponton.....	9
Figura 2.5 Tanque de almacenamiento Esférico.....	10
Figura 2.6 Tanque de almacenamiento cilíndrico horizontal.....	10

CAPITULO III

Figura 3.1 Ubicación del proyecto.....	20
---	----

CAPITULO IV

Figura 4.1 Cargas en el cuerpo del tanque.....	26
Figura 4.2 Deformación del fondo debido a vertical bending.....	27
Figura 4.3 Soldadura a tope doblemente soldada.....	35
Figura 4.4 Soldadura a tope simple con respaldo.....	35
Figura 4.5 Soldadura a traslapada doble soldada.....	36
Figura 4.6 Soldadura traslapada simple.....	36
Figura 4.7 Soldadura a tope.....	36
Figura 4.8 Soldadura de filete.....	37
Figura 4.9 Soldadura de filete completo.....	37
Figura 4.10 Soldadura provisional.....	38
Figura 4.11 Aberturas y separaciones necesarias entre aberturas de accesorios para tanques.....	43
Figura 4.12 Manhole de cuerpo.....	44
Figura 4.13 Brida tipo regular.....	46
Figura 4.14 Manhole de techo.....	46
Figura 4.15 Boquillas de techo.....	47
Figura 4.16 Carga axial en viga.....	59
Figura 4.17 Diagrama de cargas debido a la presión del viento sobre el tanque de techo fijo.....	67
Figura 4.18 Respuesta espectral para el diseño de tanques de almacenamiento apoyados en tierra.....	72
Figura 4.19 Coeficiente del periodo de chapoteo, K_s	73
Figura 4.20 Peso efectivo de la proporción del líquido.....	77
Figura 4.21 Centro de acción de fuerzas efectivas.....	78

CAPITULO V

Figura 5.1 Momento al volteo por carga de viento.....	108
Figura 5.2 Procedimiento de fabricación en taller.....	129
Figura 5.3 Trazo en taller para corte y cuadrado de planchas	132
Figura 5.4 Corte de planchas del tanque.....	133

Figura 5.5 Esquematización de una maquina roladora de 3 rodillos.....	134
Figura 5.6 Rolado de planchas del cilindro.....	135
Figura 5.7 Arenado de planchas.....	136
Figura 5.8 Pintado interior y exterior de planchas.....	138
Figura 5.9 Pintado base de planchas de fondo y techo.....	139
Figura 5.10 Proceso de transporte de planchas y estructuras a campo.....	139
Figura 5.11 Procedimiento de montaje en campo.....	144
Figura 5.12 Recepción de planchas en obra.....	147
Figura 5.13 Verificación de anillo de cimentación de concreto.....	148
Figura 5.14 Trazo, replanteo y ubicación de coordenadas.....	149
Figura 5.15 Distribución de las planchas de fondo.....	150
Figura 5.16 Traslape de 1 pulgadas o 25 mm.....	151
Figura 5.17 Apuntalamiento de planchas en el fondo del tanque.....	151
Figura 5.18 Soldeo de planchas en el fondo del tanque.....	153
Figura 5.19 Distribución de columnas de apoyo de sistema de gateo.....	155
Figura 5.20 Trazo y ubicación de soportes de columna para el sistema de gateo.....	155
Figura 5.21 Soportes metálicos para descanso temporal de planchas.....	156
Figura 5.22 Armado de columnas apoyo y cachacos de sistema de gateo.....	156
Figura 5.23 Distribución de las planchas del casco.....	157
Figura 5.24 Diagrama de detalle de colocación de plantilla de las planchas.....	157
Figura 5.25 Alineamiento o Plomada de planchas.....	158
Figura 5.26 Distribución y montaje de las planchas del primer anillo o anillo superior.....	159
Figura 5.27 Apuntalamiento con espaciadores al interior de primer anillo.....	160
Figura 5.28 Apuntalamiento con espaciadores al exterior de primer anillo.....	160
Figura 5.29 Soldadura de junta vertical al interno de primer anillo.....	162
Figura 5.30 Soldadura de junta vertical al exterior de primer anillo.....	162
Figura 5.31 Angulo de rigidez.....	163
Figura 5.32 Instalación de gatas de 10 toneladas.....	165
Figura 5.33 Izaje de primer anillo o anillo superior a 0.3 m de altura.....	166
Figura 5.34 Colocación de polines embonados debajo de las gatas hidráulicas.....	166
Figura 5.35 Cambio de posición de gatas hidráulicas.....	167
Figura 5.36 Izaje final de primer anillo o anillo superior a 3 m de altura.....	168
Figura 5.37 Distribución de planchas del segundo anillo.....	169
Figura 5.38 Apuntalamiento de intersecciones del primer y segundo anillo.....	169
Figura 5.39 Soldadura de junta vertical en el segundo anillo.....	170
Figura 5.40 Soldadura de junta horizontal entre primer y segundo anillo.....	171
Figura 5.41 Instalación de gatas hidráulicas en segundo anillo.....	172
Figura 5.42 Izaje por gateo del primer y segundo anillo en conjunto.....	173
Figura 5.43 Montaje de tercer anillo.....	174
Figura 5.44 Soldeo de tercer anillo.....	175
Figura 5.45 Izaje por sistema de gateo de tercer anillo.....	175
Figura 5.46 Montaje de cuarto anillo.....	176
Figura 5.47 Soldeo de junta horizontal entre tercer y cuarto anillo.....	176
Figura 5.48 Soldeo de fondo con casco.....	178
Figura 5.49 Montaje e instalación de base de la columna central.....	179
Figura 5.50 Colocación de la columna central.....	180
Figura 5.51 Instalación de cartelas.....	180
Figura 5.52 Instalación y conformación de las vigas del techo.....	181

Figura 5.53	Colocación de pernos entre vigas y cartelas.....	181
Figura 5.54	Conformado final de vigas.....	182
Figura 5.55	Ajuste o torqueo de pernos.....	182
Figura 5.56	Colocación de las planchas del techo.....	184
Figura 5.57	Colocación de planchas en interior del techo.....	184
Figura 5.58	Alineación y soldeo de planchas del techo.....	185
Figura 5.59	Acabado de montaje del techo.....	185
Figura 5.60	Colocación de barandas perimetral en el techo.....	187
Figura 5.61	Montaje de Accesorios en techo de tanque.....	188
Figura 5.62	Montaje de escalera helicoidal.....	188
Figura 5.63	Montaje de Accesorios en el cuerpo del tanque.....	189
Figura 5.64	Trazado de orientación y ubicación de boquillas.....	192
Figura 5.65	Instalación y verificación de elevación de boquillas.....	192
Figura 5.66	Colocación de topes para boquillas.....	193
Figura 5.67	Colocación de Manhole en el Techo.....	194
Figura 5.68	Colocación del Manhole en el Cuerpo.....	195
Figura 5.69	Pintado exterior del tanque.....	197
Figura 5.70	Kit de tintes penetrantes.....	202
Figura 5.71	Aplicación de tintes penetrantes en cordon de soldadura (raiz).....	203
Figura 5.72	Prueba de diesel.....	206
Figura 5.73	Prueba de campana de vacío.....	207
Figura 5.74	Prueba Neumática.....	208

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se realizará, en la unidad minera Toquepala, la cual tiene la necesidad de implementar un tanque de almacenamiento de diésel, debido a la ampliación de su planta concentradora y la adquisición de nuevos equipos, lo que genera un incremento de su flota de vehículos dentro de la mina, se diseñara un recipiente de almacenamiento, para cubrir esta necesidad de una mayor disponibilidad de Diésel y que le permita almacenar el producto como reserva.

Para la realización del diseño de un tanque de almacenamiento de 200, 000 galones de capacidad, se fundamenta en la aplicación de las normas API 650 y normas afines que nos permitan determinar los criterios y requerimientos para obtener un diseño de un tanque de almacenamiento con techo tipo fijo, asegurando la calidad y eficiencia del producto.

Para lograr el desarrollo de este proyecto es necesario realizarlo por etapas, cada una de ellas tiene la misma importancia y de igual forma influirán en el buen desempeño que realice el recipiente en condiciones de trabajo.

El diseño de recipiente, es la primera de las etapas, aquí debe incluirse la selección de materiales, el cálculo de los requerimientos técnicos del recipiente, planos del proyecto, y las normas aplicables para cada caso.

La fabricación donde el corte, armado, soldadura, inspección por ensayos no destructivos, limpieza abrasiva de la superficie metálica y pintura.

La inspección se realiza en todas las etapas de fabricación tomando como base los procedimientos y calidad.

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA

Debido al incremento de la flota de volquetes en la unidad minera de Toquepala, se genera la necesidad de una mayor disponibilidad de diésel B5, en la zona de descarga de pase T-1, la cual se proyectará almacenar mensualmente 1'133,500 galones, entre todas las unidades que se encuentran trabajando en el interior de la mina, con un consumo diario aproximado de 37,780 galones diario.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Existe desabastecimiento de combustible a las unidades móviles utilizadas en la mina, para efecto de resolver, se requiere construir un tanque de almacenamiento nuevo, que satisfaga las necesidades de la mina por un lapso de aproximadamente 10 años.

1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Se realizará un estudio de clasificación de tanques utilizados en la industria petrolera, definir los criterios de diseño que se aplicaran durante el cálculo de espesores de pared, dimensionamiento y especificaciones de diseño que se encuentran en las normas de API 650.

Se realizará el cálculo y diseño de un tanque de almacenamiento de diésel con techo tipo fijo que sirva para satisfacer las necesidades de almacenamiento de industria petrolera, se aplicarán las normas y estándares nacionales e internacionales en el diseño, fabricación y montaje de tanques de almacenamiento con techo tipo fijo.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

Garantizar el abastecimiento de combustible para los vehículos de la unidad minera, con un almacenamiento de producto de operación confiable, eficiente y segura, que pueda satisfacer las necesidades de almacenamiento a gran escala.

La construcción de este tanque de almacenamiento cilíndricos verticales de combustibles líquidos en la unidad minera será proyectado para una duración aproximadamente de 10 años de durabilidad, actualmente la unidad minera tiene un promedio de almacenamiento de combustible de 933,500 galones mensualmente con un consumo de 31,110 galones diarios, se proyecta a 5 años almacenar 1'033,500 galones mensualmente con un consumo de 34,450 galones diarios, mientras que a 10 años se proyecta almacenar 1'133,500 galones mensualmente, con un consumo de 37,780 galones diarios, siendo factible y viable la construcción del tanque de almacenamiento de 200,000 galones.

El correcto almacenamiento de los combustibles líquidos y sus derivados es muy importante, dada la gran dependencia que aún tiene nuestra sociedad moderna de los hidrocarburos como fuente de energía y al ser la sustitución de los mismos algo aun relativamente lejano. Las normas para el diseño, fabricación y montaje de estos tanques, como la norma API 650, tienen hoy en día una serie de pautas y consideraciones si son diseñados para una zona de alta sismicidad, como lo es la costa peruana y en general el Perú.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

El área de ubicación donde se desarrollara el proyecto será dentro de las instalaciones de la mina, ya que existe una zona de almacenamiento, donde se dispone un área libre para la implementación de este nuevo tanque de almacenamiento, además de zonas existente como son un sistema de recepción, almacenamiento y despacho, así como también los sistemas de alimentación y bombeo del producto.

Plan económico de la construcción será factible ya que existen, construcciones y sistemas existentes que se adecuaran a la implementación del nuevo tanque de almacenamiento, donde se generara menor costo de construcción del proyecto.

1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..

1.6.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un diseño, un procedimiento de fabricación y montaje de un tanque cilíndrico vertical para el almacenamiento de diésel, de 200,000 galones de capacidad, basado en la norma API 650, para así responder a la demanda y la necesidad de abastecimiento de combustible, en la unidad minera Toquepala, departamento de Tacna.

1.6.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Determinar la influencia de cada uno de los factores en el diseño de un tanque de almacenamiento de combustibles.
- ✓ Desarrollar de un procedimiento de fabricación y montaje en tanques verticales de almacenamiento de combustibles líquidos.
- ✓ Analizar las consideraciones que se toman al momento de elegir el tamaño de un tanque según sus dimensiones.
- ✓ Establecer los procedimientos de pruebas o ensayos no destructivos aplicados a tanques de almacenamiento según los requerimientos.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

La explotación de cobre en la unidad minera toquepala es llevada a cabo por Southern Peru Copper Corporation, junto con la mina de cuajone y la refinería de Ilo, la unidad minera de toquepala es uno de los tres enclaves de dicha empresa en el sur del Perú.

La producción minera es principalmente de cobre, también se producen cantidades en menor escala de molibdeno y otros minerales, la unidad mienra de toquepala busca ampliar su planta concentradora de cobre e incrementar su producción y su capacidad de procesamiento de 87 mil a 120 mil toneladas diaria, los cuales genera adquirir la compra de equipos mineros y un mayor consumo de combustible.

2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIOS

En la unidad minera de toquepala existe, un área de almacenamiento de combustibles, ubicada en la zona denominada T1, que cuenta con 5 tanques de almacenamiento de diesel , uno de 166,500 galones, uno de 167 000 galones y tres de 200,000 galones de capacidad, cada uno suministran combustible al grifo #1.

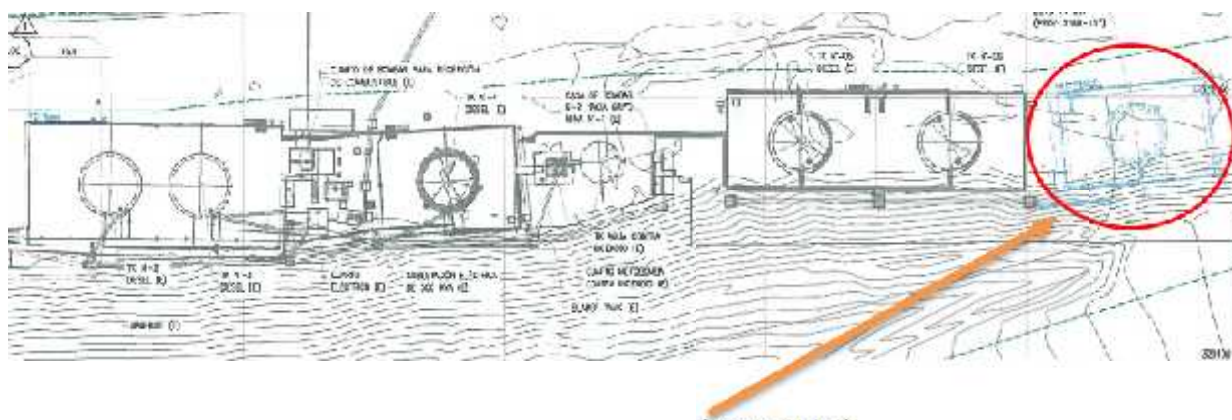


Figura 2.1 Ubicación general de proyecto ¹

¹ Elaboración Propia

Los dos primeros tanques 166,500 y 167,000 galones comparten un mismo cubeto de concreto, mientras que los tanques de 200,000 galones tienen un cubeto independiente.

El área de almacenamiento es abastecido desde la estación denominada total a una distancia de 4 km, mediante 2 bombas de 400 GPM, que bombean el diesel, hacia los tanques de almacenamiento.

El área de despacho del combustible se realizara mediante dos electrobombas rotativas de 125 hp con una capacidad de bombeo de 200 GPM hacia el tanque diario de 1,200 galones ubicado en el grifo #1.

El área cuenta con un sistema contra incendios comprendido de un tanque de 12,500 galones de capacidad para almacenamiento de agua y una motobomba contra incendio.

El sistema contra incendios, actual está comprendido de un sistema de tuberías y válvulas para el enfriamiento de la superficie exterior de los tanques y un sistema de tuberías para aplicación de espuma en los interiores de los tanques de almacenamiento en caso de incendios.

2.2. DESARROLLO DE LA TEMATICA CORRESPONDIENTE AL TEMA

DESARROLLADO.

Orientada al desarrollo de nuevas ideas de tanque de almacenamiento, como una alternativa viable para solucionar problemas diseño, basado en la norma API 650, se desarrolla la clasificación de tanques según sus factores que influyen de a su aplicación, rigiéndose a las normas correspondientes que contribuyen con el diseño.

2.2.1. CLASIFICACION GENERAL DE TANQUES Y RECIPIENTES A PRESION

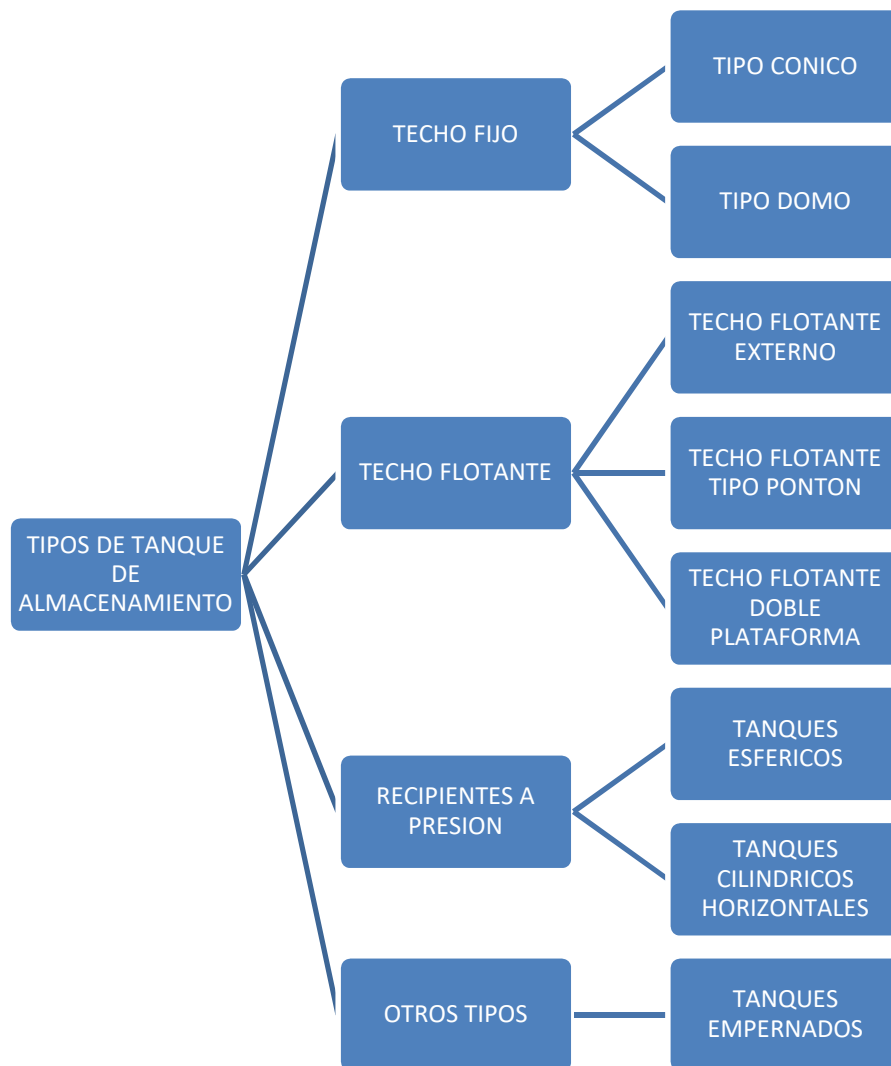


Figura 2.2. Tipos de tanques de almacenamiento. ²

2.2.1.1. TANQUE DE ALMACENAMIENTO TECHO FIJO

Estos se utilizan para el almacenamiento de petróleo y sus derivados que poseen un punto de inflamación alto y de considerable presión de vapor, es decir, aquellos hidrocarburos que no se evaporan fácilmente, evitando así acumulación de gases en el interior del tanque no exceda la atmosférica.

² Elaboración Propia

Están formados por un solo cuerpo, cuyo techo no tiene ninguna posibilidad de movimiento. Poseen varias válvulas de venteo, que permite la salida de los vapores que están formándose continuamente en su interior, porque los tanques de techo fijo no están preparados para resistir sobrepresiones.

Pueden tener techo auto soportado o soportado por columnas, la superficie del techo puede tener forma de domo o cono. El tanque opera con un espacio para los vapores, el cual cambia cuando varía el nivel del líquido. Las ventilaciones en el techo permiten la emisión de vapores para evitar sobre presiones en el tanque.



Figura 2.3. Tanque de almacenamiento tipo techo fijo³

2.2.1.2. TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE TECHO FLOTANTE

Techo Flotante Externo

Los tanques de techo flotante externo poseen un techo móvil que flota encima del producto almacenado. El techo flotante consiste de una cubierta, accesorios y un sistema de sello de aro en la periferia.

³<https://www.google.com.pe/tanques/de/almacenamiento>

Los techos de tanques flotantes permiten reducir en forma significativa las pérdidas de los líquidos volátiles que se almacenan. Con esto se logra reducir los costos de operación, contaminación ambiental y los riesgos de incendios.

El objetivo de estos tipos de techo, radica en la eliminación del espacio de vapor sobre el líquido que se presentan en los tanques de techo fijo y evitan la formación de mezclas explosivas.

Techo Flotante Tipo Ponton

Estos tanques tienen una serie de pontones anulares alrededor del borde y una plataforma de espesor simple en el centro. La superficie superior del pontón tiene inclinación hacia el centro, para facilitar el drenaje del agua de lluvia, mientras que la superficie inferior tiene un ascenso hacia el centro, para permitir la acumulación de vapores.

El tamaño del pontón, depende de las dimensiones del tanque y de los requerimientos de flotación.

Además de la flotabilidad, los pontones hacen un aislamiento que evita la acción directa de los rayos solares sobre la superficie del líquido en el espacio anular. La plataforma de espesor simple, deja un espacio libre con la superficie del líquido para acumular los vapores que se forman. Estos vapores forman un colchón aislante que se licúa cuando la temperatura decrece. Los vapores condensados entran a la fase líquida.

Los pontones están seccionados de tal modo que el techo no se hundiría si se produjera una rotura en la plataforma central o en otro de los pontones.

Estos techos permiten una excelente protección contra incendios, así como contra la corrosión.

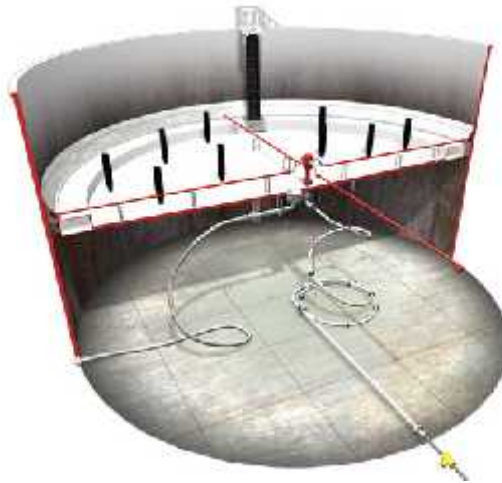


Figura 2.4. Tanque de almacenamiento de Techo Flotante Tipo Ponton⁴

Techo Flotante de Doble Plataforma

Estos tipos de tanques tienen dos plataformas completas que flotan sobre la superficie del líquido. Aunque estos diseños de tanques fueron los primeros en construirse, recién a mediados de 1940 se empezaron a construir los tanques de alta capacidad.

La plataforma superior presenta una inclinación hacia el centro del tanque con el fin de permitir el drenaje de las aguas de lluvias hacia el sistema primario de drenaje y al de emergencia que se dispone el tanque.

Este tipo de techo, fue utilizado en épocas pasadas, ya que se poseen dos laminas entre las cuales existe un espacio lleno de aire que se produce un aislamiento efectivo entre la superficie total del el líquido y el techo, lo que permite almacenar líquidos de alta volatilidad.

La plataforma superior, que obviamente se encuentra sobre la superficie del líquido, impide que el contenido del tanque llegue al techo del mismo bajo ninguna circunstancia.

⁴ <https://www.google.com.pe/tanques/de/almacenamiento>

2.2.1.3. RECIPIENTES A PRESION

Tanques de Almacenamiento Esféricos

Los tanques de almacenamiento esferas son principalmente usados para almacenamiento de productos ligeros como propano, butano, GLP, su forma facilita que soporten presiones sobre los 25 psi.



Figura 2.5. Tanque de almacenamiento Esférico⁵

Tanque de Almacenamiento Cilindricos Horizontales

Poseen un armazón cilíndrico con esferoides (casquetes), la presión de trabajo puede ser desde 15 psi a 1000 psi o mayor. Algunos de esos tanques tienen cabeza plana o hemisférica.



Figura 2.6. Tanque de almacenamiento cilíndrico horizontal⁶

⁵ <https://www.google.com.pe/tanques/de/almacenamiento>

⁶ <https://www.google.com.pe/tanques/de/almacenamiento>

2.2.1.4. OTROS TIPOS

Tanques de Almacenamiento Empernados

Son diseñados y acondicionados como elementos segmentos los cuales son montados en localidades para poder proporcionar un alineamiento vertical encima del terreno, cierre y apertura de la parte superior de los tanques. Los tanques empernados API, estandarizados están disponibles en capacidad nominal de 100 a 10000 barriles, diseñados a presión atmosférica. Estos tanques ofrecen la ventaja de ser fácilmente transportados en cualquier localidad y levantados manualmente. Son utilizados para almacenamiento de agua potable o agua contra incendios

2.2.2. PRODUCTO DIESEL B5

Combustible derivado de hidrocarburos, obtenido de procesos de refinación, diesel B5, es un combustible constituido por una mezcla de 5% en volumen de Biodiesel (B100), y el restante 95% de Diesel N°2 S-50, que presenta un contenido de azufre máximo de 50 partes por millón (ppm), con denominación comercial en nuestro caso de BIODIÉSEL B5 PETROPERÚ, cumple con las especificaciones técnicas de la norma técnica peruana vigente y guarda concordancia con los principales ensayos de los estándares internacionales ASTM, D975 y SAE J313, se caracteriza por:

- Su elevado índice de cetano, que asegura una excelente calidad de ignición, arranque rápido y menor ruido del motor.
- Menor contenido de azufre del mercado, asegurando una protección efectiva contra el desgaste.

- Excelente lubricidad y reducción de emisiones contaminantes (al incrementarse el porcentaje de biodiésel de 2 a 5 %).
- Elevado poder calorífico, que garantiza una eficiente combustión.

ESPECIFICACIONES TECNICAS	
CLASE DE PRODUCTO	COMBUSTIBLE
TIPO DE PRODUCTO	DESTILADO MEDIO + 5% BIODIESEL B100
NOMBRE DEL PRODUCTO	DIESEL B5
ENSAYOS	ESPECIFICACIONES
APARIENCIA	
Color ASTM	Clara y brillante
VOLATIDAD	
Densidad a 15 °C (g/cm ³)	0.84
Gravedad API a 60 F	Reportar
Destilación, °C (a 760 mmHg) 90% V. recuperado	282 – 360
Punto de inflamación, °C	52
FLUIDEZ	
Viscosidad cinemática a 40°C	1,7 - 4,1
Punto de escurrimiento, °C	4
COMBUSTION	
Numero de cetano	45
Índice de cetano	40
COMPOSICION	
Cenizas, % masa	0,01
Residuo carbón, 10% Ramsbottom	0,35
CORROSIVIDAD	
Corrosión lamina de cobre, 3h, 50 °C, N°	3
Azufre total, % masa	0,5
CONTAMINANTES	
Agua y sedimentos, %V	0,05
ESTABILIDAD A LA OXIDACION	
Estabilidad a la oxidación, mg/100mL	Reportar

Tabla 2.1 Especificaciones Técnicas de Diesel⁷

2.2.3. CÓDIGOS APLICABLES.

En los Estados Unidos de Norteamérica y en muchos otros países del mundo, incluyendo el nuestro, el diseño y cálculo de tanques de almacenamiento, se basa

⁷ Petro Perú 2014

en la publicación que realiza el "Instituto Americano del Petróleo", al que esta institución designa como "STANDAR A.P.I. 650", para tanques de almacenamiento a presión atmosférica y "STANDAR A.P.I. 620", para tanques de almacenamiento sometidos a presiones internas cercanas a 1 Kg /cm² (14 lb / pulg²).

Sin embargo, en nuestro país comúnmente estos tanques de almacenamiento se diseñan según normas API que hacen referencia a los materiales fijados por las normas ASTM (American Society for Testing Materials), se siguen las normas de seguridad dadas por NFPA (National Fire Protection Association), y también se toman en cuenta las reglamentaciones de la ASME (American Society of Mechanical Engineers).

Estos estándares cubren el diseño, fabricación, inspección, montaje, ensayos y mantenimiento de los mismos y fueron desarrollados para el almacenaje de productos de la industria petrolera y petroquímica, pero su aceptación ha sido aplicada al almacenaje de numerosos productos en otras industrias. Si bien estas normas cubren muchos aspectos, no todos están contemplados, razón por la que existen otras normas complementarias a las mismas.

2.2.3.1. Normas del Instituto Americano del Petroleo

Para el cálculo, diseño y construcción de tanque de almacenamiento de combustible existen varias Normas y Códigos que regulan y establecen los parámetros que se deben seguir para que dichos equipos cumplan con las especificaciones establecidas, pero las más difundidas y empleadas en las industrias de procesos son las del American Petroleum Institute (API).

API Standard 620: Es aplicable a grandes tanques horizontales o verticales soldados en el campo, aéreos que operan a presiones en el espacio vapor menores a 2.5 psi y a temperaturas no superiores a 93°C.

API Standard 650: Es aplicable a grandes tanques horizontales o verticales soldados en el campo, aéreos que operan a presiones en el espacio vapor menores a 1.5 psi y a temperaturas no superiores a 121°C.

API Specification 5L: Es aplicable para el uso adecuado de las tuberías de gas, agua y petróleo tanto en la industria del petróleo como en la de gas natural. Cubre especificaciones sobre tuberías de acero soldado y sin costura, incluyendo las de peso normal, regular y especial y las tuberías de línea roscadas extra resistentes y sin rosca, ha igual que las de línea de enchufe y esponja.

API Specification 12D: Es aplicable a tanques horizontales o verticales soldados en el campo para almacenaje de líquidos de producción y con capacidades estandarizadas entre 75 y 1500 m³.

API Specification 12F: Es aplicable a tanques horizontales o verticales soldados en taller para almacenaje de líquidos de producción y con capacidades estandarizadas entre 13.5 y 75 m³.

API Standard 653: Es aplicable a la inspección, reparación, alteración desmontaje y reconstrucción de tanques horizontales o verticales, basándose en las recomendaciones del STD API 650. Recomienda también la aplicación de las técnicas de ensayos no destructivos aplicables.

2.2.3.2. NORMA API 650

Norma de la American Petroleum Institute, que rige el diseño de tanques de almacenamiento contruidos con láminas de acero soldado de varios tamaños y capacidades, con presiones internas pequeñas (atmosférica o algo superior, pero que no excedan el peso de las planchas de techo).

Esta norma establece los requisitos mínimos de materiales, diseño, fabricación, montaje y pruebas para tanques cilíndricos verticales sobre el suelo, techo fijo y soldados de diversos tamaños y capacidades, con presiones internas que se aproximen la presión atmosférica (presiones internas que no exceda el peso de las placas de techo).

El objetivo y alcance de esta norma es proporcionar a la industria petrolera los parámetros básicos para el diseño y construcción de tanques de almacenamiento de petróleo y sus derivados, la seguridad adecuada y razonable economía. Esta norma no presenta o establece una serie fija de tamaños de tanques permitida, sino que está diseñada para permitir al comprador la selección de cualquier tamaño de tanque que pueda satisfacer sus necesidades. La norma tiene por objeto ayudar a los compradores y fabricantes en los pedidos, la fabricación y montaje de tanques.

El presente trabajo estará basado principalmente en el estándar A.P.I. 650, el cual, sólo cubre aquellos tanques en los cuales se almacenan fluidos líquidos y están contruidos de acero con el fondo uniformemente soportado por una cama de arena, grava, concreto, asfalto, etc, diseñados para soportar una presión de operación atmosférica o presiones internas que no excedan el peso del techo por unidad de área y una temperatura de operación no mayor de 93 °C (200 °F), y que no se usen para servicios de refrigeración.

Este estándar cubre el diseño y cálculo de los elementos constitutivos del tanque. En lista de los materiales de fabricación, se sugieren secuencias en la erección del tanque, recomendación de procedimientos de soldaduras, pruebas e inspecciones, así como lineamientos para su operación.

2.2.3.3. OTRAS NORMAS APLICABLES.

Además de las normas y códigos mencionados anteriormente existen algunas otras que las respaldan, complementan y ayudan cuando se requieren variaciones o cambios mínimos en las consideraciones de diseño. Estas normas son:

Código A.S.T.M.

La A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials) se encarga de desarrollar los estándares de las características y eficiencia de los materiales, productos, suministros de servicios y métodos de prueba en casi todas las industrias, con un casi monopolio en las industrias petrolera y petroquímica.

La norma A.P.I. 650 se basa en estos estándares para especificar todo lo relacionado con los materiales que se deben utilizar como son; tipo de material, espesores mínimos, condiciones de rolado, temperaturas de trabajo, esfuerzos permisibles, etc.

Código A.S.M.E.

El standard A.P.I. 650 se auxilia del Código A.S.M.E. (American Society of Mechanical Engineers) sección IX para dar los alineamientos que han de seguirse en la unión y/o soldado de materiales.

El Código A.S.M.E. sección IX, establece que toda junta soldada deberá realizarse mediante un procedimiento de soldadura de acuerdo a la clasificación de la junta y que, además, el operador deberá contar con un certificado que lo acredite como soldador calificado, el cual le permite realizar cierto tipo de soldaduras de acuerdo con la clasificación de ésta. Una vez realizada la soldadura o soldaduras, éstas se someterán a pruebas y ensayos como: ultrasonido, radiografiado, líquidos penetrantes, dureza, etc., donde la calidad de la soldadura es responsabilidad del fabricante.

Los procedimientos de soldadura a emplear deberán seguir los lineamientos de las planillas WPS o WPQ del Código ASME Sección IX, al igual que los soldadores deberán estar calificados para los procedimientos de soldadura que se emplearán.

Reglamentación N.F.P.A.

Debido a la naturaleza de los líquidos que se pueden almacenar en los tanques, es necesario contar con procesos y sistemas de seguridad para evitar posibles incendios o explosiones, dichos procesos y sistemas de seguridad están dados por la N.F.P.A. (National Fire Protection Association) la cual es la fuente principal mundial para el desarrollo y diseminación de conocimiento sobre seguridad contra incendios y de vida.

El sistema de desarrollo de los códigos y normas de la NFPA es un proceso abierto basado en el consenso que ha producido algunos de los más referenciados materiales en la industria de la protección contra incendios, el Código de Prevención de Fuego, y el Código Nacional de Alarmas de Incendios. La N.F.P.A. desarrolla, publica y difunde más de 300 códigos y normas consensuadas con la intención de minimizar la posibilidad y consecuencias de

incendios y otros tipos de riesgos. Prácticamente cada edificio, proceso, servicio, diseño e instalación en la sociedad de hoy día, se ve afectado por los documentos de la N.F.P.A.

2.2.4. DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LA TERMINOLOGÍA EMPLEADA

- **Tanque.-** Depósito diseñado para almacenar o procesar fluidos, generalmente a presión atmosférica o presión internas relativas bajas.
- **Norma API 650.-** Norma de la American Petroleum Institute, que rige el diseño de tanques de almacenamiento contruidos con láminas de acero soldado de varios tamaños y capacidades, con presiones internas pequeñas (atmosférica o algo superior, pero que no excedan el peso de las planchas de techo).
- **Diseño.-** De juntas soldadas, consideraciones de diseño y especiales, de placas de fondo, casco, vigas de techo, carga de sismo y viento.
- **Carga Muerta.-** La fuerza debida al peso propio de los elementos a considerar.
- **Carga Viva.-** La fuerza ejercida por cuerpos externos, tales como: nieve, lluvia, viento, personas u otros.
- **Corrosión.-** Desgaste no deseado, originado por reacción química entre el fluido contenido y el material de construcción en contacto.
- **Materiales.-** Opciones de materiales para: láminas, placas, piezas de forja, tubería, perfiles estructurales, bridas, pernos, juntas, electrodos.
- **Boquilla.-** Orificio precticado en un tanque para la entrada o salida de un fluido o la instalación de un instrumento de medición, generalmente son bridadas o roscadas.
- **Fabricación.-** Habilidad, corte, arenado y pintado, de planchas y estructuras.
- **Montaje.-** Detalles de instalación de planchas y estructuras, detalles de soldaduras, inspección, comprobación.

CAPITULO III: MARCO METEDOLÓGICO

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La base tomada para la realización del siguiente trabajo fue la información recopilada acerca de la aplicación y diseño de un tanque de almacenamiento de combustible líquido, por lo que el tipo de investigación fue:

Aplicativo: Porque utilizamos la aplicación de conocimientos en la práctica que se ha desarrollado a lo largo del tiempo para el diseño de tanque de almacenamiento.

De Campo: Porque es una investigación aplicada para comprender y resolver una necesidad o situación o problema, en este caso carencia de desabastecimiento de combustible.

Proyectivo: Porque se establecerá una propuesta para el diseño, fabricación y montaje de tanque de almacenamiento de diésel en busca de encontrar una solución a los problemas de abastecimiento de combustible para flota de vehículos de la unidad minera Toquepala.

3.2. HIPÓTESIS

Se realizara el diseño e instalación de un tanque de almacenamiento vertical de diésel, para satisfacer la demanda de consumo de combustible de la flota de vehículos que circularan dentro de la unidad minera Toquepala.

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

3.3.1. LOCALIZACION DEL PROYECTO

La mina toquepala es un yacimiento minero que se encuentra ubicado en el extremo Sur del Perú, en el departamento de Tacna, Provincia de Jorge Basadre, Distrito de Ilabaya, en la Unidad Operativa Minera de Toquepala en la zona de descarga Pase T1, la cual es propiedad de Southern Peru Cooper Corporation. Se encuentra a una elevación entre 3,100 a 3,600 m.s.n.m. La zona es montañosa y desértica.

La concentradora de Toquepala se ubica al noroeste de la ciudad de Tacna a una distancia en línea recta de 91.25 km y se ubica al noreste de la ciudad de Ilo, a una distancia en línea recta de 87.10 km. Los accesos de las ciudades indicadas son vías con pavimento asfáltico.



Figura 3.1 Ubicación del proyecto.⁸

⁸ <https://www.google.com.pe/maps/search/mina+toquepala>

3.3.2. CONDICIONES CLIMATICAS Y GEOGRAFICAS DEL SITIO

Ubicación Geográfica

Las coordenadas geográficas del sitio del proyecto son:

- ✓ Latitud: S 17° 15''
- ✓ Longitud: W 70° 35''

Elevaciones Aproximadas:

Elevación, sobre el nivel del mar: 3,100 – 3,600 msnm (3,500 para diseño)

- ✓ Presión Barométrica: 0,69 bar

Temperatura del Aire:

- ✓ Temperatura máxima en verano: 24 °C
- ✓ Temperatura media: 12 °C
- ✓ Temperatura mínima en invierno: -4 °C

Humedad Relativa:

- ✓ Máxima: 100 %
- ✓ Promedio: 40 %
- ✓ Mínima: 14 %

Precipitaciones:

El clima de toquepala es considerado desértico, a lo largo del año las lluvias son escasas, con apenas 53mm. No se ha registrado nieve, ni granizo por lo tanto no se debe considerarse las cargas de nieve en el diseño.

- ✓ Promedio Anual, Diciembre a Marzo 2017: 71.5 mm
- ✓ Promedio Anual, Abril a Noviembre 2016: 9.2 mm

- ✓ Máximo en 24 horas: 60 mm
- ✓ Máximo mensual (1985 – 2009): 143 mm

No se reporta caída de nieve.

Nivel de Irradiación Solar (fuente SENAMHI / DGER – MIMEN)

Energía solar incidente diaria

- ✓ Promedio anual: 0.65 – 7 KWh/m²
- ✓ Desviación estándar: 1 – 1.1 KWh/m²

3.3.3. CONDICIONES AMBIENTALES

Emisiones a la Atmosfera

Se detallan a continuación los criterios recomendados para emisiones a la atmosfera. Estos valores deben ser usados en equipos para el control de emisiones de aire. El objetivo principal es cumplir con los requerimientos de la Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Energía y Minas del Perú.

Los criterios recomendados, para emisiones atmosféricas según decreto Supremo Nacional: 074 2001 PCM, el límite máximo permisible es 150 µg/m³.

Velocidad y Dirección del Viento

El diseño debe considerar el código ASCE-7, teniendo en cuenta los siguientes valores:

- ✓ Exposición ASCE: D
- ✓ Velocidad promedio: 17 mph
- ✓ Velocidad máxima para diseño: 70 mph (112.65 km/h)
- ✓ Dirección prevalente: Sur – Oeste

Información Sísmica

El Perú está ubicado en una de las áreas sísmicas más activas del mundo, próximo a límites de placas tectónicas muy activas, principalmente la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana.

Importantes fallas continentales se han formado como efecto secundario de la colisión de placas, lo que ha generado plegamientos y fracturas o fallas de la corteza terrestre. En tal sentido, se estima que la mayor demanda sísmica podría ser originada por ser un desplazamiento repentino de la falla Toquepala.

El lugar es considerado sísmico según Zona 4 de la norma E030, “Diseño Sismo Resistente”, del Reglamento Nacional de Edificaciones, actualizado por DS N° 003-2016-Vivienda.

De acuerdo a los resultados del “Estudio de Peligro Sísmico”, se recomienda para la zona del proyecto valores de aceleración máxima (PGA) como sigue:

ASCE 7-05 – SENAMHI

✓ IBC (Internacional Building Code) – 2006: Zona 4

Aceleración Horizontal Maxima:

✓ Roca Tipo B: 0.39

✓ Suelo Firme Tipo D: 0.47

3.4. MÉTODOS Y TECNICAS DE INVESTIGACIÓN

El método desarrollado en el presente trabajo, es de forma ordenada, proyectiva y descriptiva, con el fin de contribuir con la sociedad moderna de los hidrocarburos, se realizó un análisis relativo en diseño, construcción y la gran

durabilidad que tienen si se fabrican y montan de acuerdo a las normas, los cálculos de las planchas del cuerpo, se realizaron de acuerdo al método de un pie, las estructuras se analizaron de acuerdo a la cargas y esfuerzos que soportaran, el montaje se realizara de acuerdo a un procedimiento de trabajos o actividades que son necesarios para la construcción y ejecución del proyecto.

3.5. DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS

- ✓ **Equipos e Instrumentos:** Sony VAIO con conexión a Internet, Cámara Digital Sony DSC-W80
- ✓ **Material:** Material bibliográfico (Libros, tesis, especificaciones técnicas, páginas web, etc.), CD, memoria USB, lapiceros, libretas de apuntes.
- ✓ **Infraestructura:** Sala de Estudios, Biblioteca FIME.

3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

- ✓ Orientación al diseñador, proporcionando herramientas útiles tanto para el diseño mecánico, métodos de fabricación, calificación y procedimiento de soldadura, de manera práctica y sencilla.
- ✓ Establecer los parámetros y variables apropiadas, necesarias para el diseño, montaje y pruebas de tanque almacenamiento, obteniendo óptimos resultados y así lograr una correcta operación de los mismos.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

En el presente capitulo se presenta de una forma sistemática los parámetros básicos para el diseño de un tanque de almacenamiento.

El diseño no es un análisis exacto, se basa en una serie de iteraciones, suposiciones y consideraciones que deben ser comprobadas en la posterioridad.

Las suposiciones y consideraciones que se tomaran en cuenta se basan en parámetros aproximados resultantes de consultas bibliográficas y experiencias que permitan aproximar dichas consideraciones a valores lo más reales posibles.

En el presente capitulo se identificarán todos los factores que inciden en el diseño de un tanque de almacenamiento.

4.1. PARAMETROS Y CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO

Los principales factores en determinar el espesor del cuerpo son las cargas aplicadas.

Las cargas principales para determinar el espesor del cuerpo son:

La carga interna debido a la presión del líquido.

La presión en el espacio de vapor.

Las cargas externas a tenerse en cuenta son:

- La presión externa – condición de vacío.
- Carga de viento
- Cargas sísmicas
- Cargas localizadas como resultado de las boquillas, accesorios, escaleras y/o plataforma.

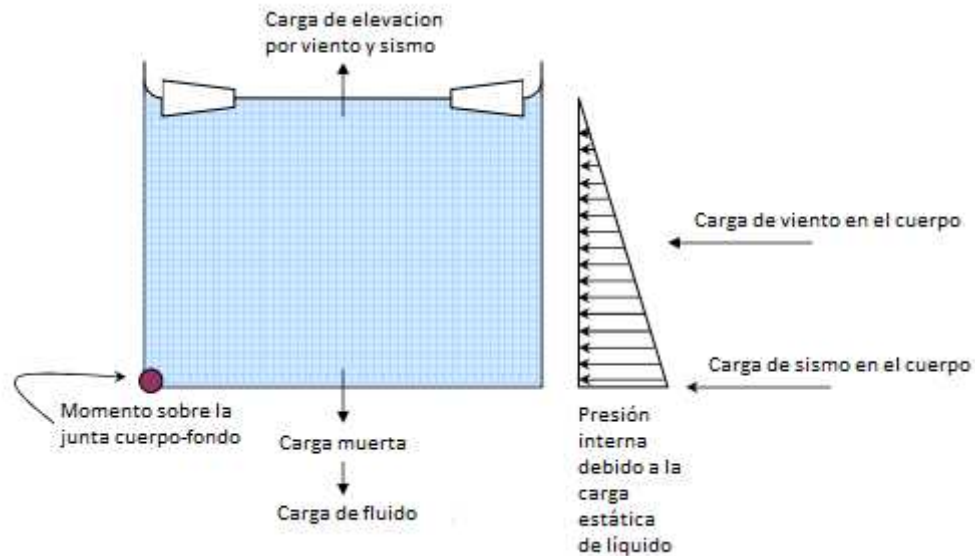


Figura 4.1. Cargas en el cuerpo del tanque ⁹

La presión interna ejercida sobre la pared del tanque es producto de la altura del líquido almacenado, el mayor valor de presión se ubica en la parte inferior tanque y disminuye de forma proporcional a lo largo de su altura.

La carga externa de viento y carga de sismo actúan en el cuerpo del tanque creando un momento de giro sobre el cuerpo y el fondo del tanque, esto se traduce en la relación de elevación del techo, afectando la estabilidad.

Las distintas tensiones a que está sometido el tanque son:

Hoop Tensión: Es causada por la altura del producto almacenado en el tanque, junto con cualquier sobrepresión en el espacio vacío de un tanque de techo fijo.

Axial Compresión: Viene dada por el peso propio del tanque, por vacío interno, carga de viento y sísmicas que actúan sobre la capa que provoca un efecto de vuelco.

⁹ Diseño de tanque de almacenamiento, 2012.

Vertical Bending: Debido a la expansión del cuerpo bajo la carga de servicio normal, esto sucede cuando el tanque se encuentra lleno, el cuerpo empieza a expandirse radialmente debido a la elasticidad del material, esta expansión natural del cuerpo es restringida debido a la soldadura del fondo con el cuerpo provocando una deformación en el fondo.

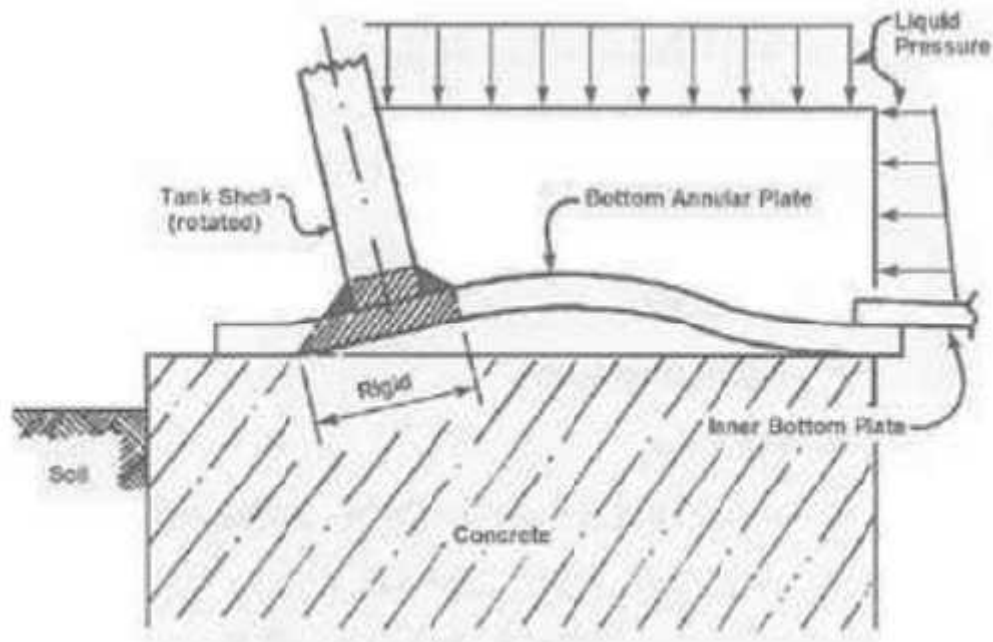


Figura 4.2. Deformación del fondo debido a vertical bending.¹⁰

4.2. CONSIDERACIONES ESPECIALES DE DISEÑO

4.2.1.- TOLERANCIAS POR CORROSION

Se debe establecer los diferentes parámetros a tomar en cuenta en el diseño como: efecto de los líquidos almacenados, presión de vapor, temperatura de almacenamiento, etc.

¹⁰ Diseño de tanque de almacenamiento, 2012

Por estos parámetros es necesario establecer una tolerancia por corrosión a ser proporcionada a cada nivel del cuerpo, para el fondo, para el techo, para las boquillas y pozos de acceso y para miembros estructurales.

Para el presente diseño se tomará 1/16 pulg. Por corrosión este valor se toma debido a las condiciones ambientales y la experiencia vista en otros tanques, un valor mayor por corrosión resultaría un sobredimensionamiento exagerado y por ende un gasto innecesario de dinero.

4.2.2.- ESFUERZOS PERMISIBLES

El esfuerzo máximo permisible de diseño del producto (S_d), el espesor neto de la plancha (el espesor real menos cualquier tolerancia de corrosión) deberá ser usado en el cálculo. El esfuerzo de diseño base, S_d , deberá ser, dos o tres veces la resistencia de punto de fluencia, o de dos a cinco veces la resistencia a tensión, cualquiera que sea menor.

Las planchas del cuerpo tendrán un ancho nominal mínimo de 2400 mm. (96 pulg. o 8 pies). Las planchas que serán soldadas a tope serán propiamente escuadradas, la longitud de las planchas puede variar conforme el mercado nacional, para el presente caso se utilizarán planchas de 6 metros de largo (20 pies) de largo debido a que es la apropiada para el transporte.

4.2.3.- GRAVEDAD ESPECIFICA DEL LIQUIDO A ALMACENAR (G)

El presente diseño se toma en cuenta la condición más crítica que se da en la prueba hidrostática en la cual se almacenara agua por lo que se tomara el valor $G=1$.

4.2.4.- MATERIALES

Para la utilización de los diferentes materiales en las distintas partes del tanque se debe cumplir con los requerimientos de la norma API 650.

A continuación, se puede elegir los materiales que se mencionan sujetos a las modificaciones y limitaciones indicadas por la normativa API 650. En el caso que se desee o disponga escoger otro tipo de materiales que no se mencione en esta sección se lo puede hacer, siempre y cuando se cumpla con los requerimientos.

Obtener la aprobación de la empresa contratante y asegurarse que todo diseño, fabricación, montaje e inspección requeridos para el material a sustituirse, se encuentren dentro de las especificaciones de los materiales:

- Propiedades de los materiales y los métodos de proceso de producción.
- Niveles de esfuerzos admisibles.
- Dureza de la muestra.
- Tenacidad.
- Procesos de soldadura y sus consumibles.
- Alivio de esfuerzos térmicos.
- Detalle y fabricación de unión temporal y permanente.
- Ensayos no destructivos.

4.2.4.1. Planchas

Los materiales para la selección de las placas se los escoge de acuerdo a los requerimientos ASTM AB6, Grado B.

- ✓ El espesor de las placas del cuerpo que se utilicen, no deberá ser menor que el espesor de diseño calculado o mínimo espesor permisible.

- ✓ Es aceptable un peso de las planchas del cuerpo lo suficientemente adecuados para que proporcione un espesor que no sea menor al espesor de diseño o espesor permisible.
- ✓ Deberá también tomarse en cuenta un espesor extra en el cual se considere el desgaste que no sea mayor a 0.1 pulgadas (0.3 mm)
- ✓ Todas las planchas que deben ser fabricadas por procesos de horno eléctrico Siemens Martin o de oxígeno básico.
- ✓ Los procesos de control térmico de los materiales pueden ser siempre que la composición química sea la misma y además debe ser aceptadas por el comprador y fabricante; lo importante es que se cumpla con las propiedades mecánicas requeridas para que puedan ser usadas en cuerpo del tanque.

4.2.4.2. Perfiles Estructurales

Los perfiles estructurales deberán ajustarse a los siguientes materiales:

- ASTM A36, grado B.

Todos los aceros estructurales deberían ser hechos por procesos en horno de arco eléctrico u oxígeno básico.

Espesores 20mm.

Máximo contenido de magnesio de 1.5%.

Espesores máximos de 20mm, cuando el acero es rolado controlado es usado en vez del acero normalizado.

4.2.4.3. Tuberías

A menos que una norma diga lo contrario, las tuberías de acople y piezas forjadas, deberán adecuarse a los materiales o normas nacionales equivalentes.

Las especificaciones siguientes son aceptables para tubería y acoplamiento de tuberías, serán ASTM A53/ API 5L, Grado B.

4.2.4.4. Bridas

Las es un elemento que une dos componentes de un sistema de tuberías, permitiendo ser desmontados sin operaciones destructivas, las bridas de cuello soldado, cubos, conexiones soldadas serán adecuadas a los requisitos de materiales de ASTM A 325, para bridas de acero al carbón forjado.

El material de las planchas usadas para las bridas de boquilla tendrá mejores propiedades físicas o iguales que las requeridas por ASME B 16.5.

Las bridas pueden ser de tipo SLIP ON, WELDING NECK, BLIND, en este caso se utilizaran bridas SLIP ON.

Bridas Slip On: Son bridas deslizables, de soportar bajas presiones, de fácil instalación, ocupan un mínimo espacio longitudinal y son de bajo costo, son de doble cara soldado de tipo filete tanto interior y exterior de las caras, pudiendo ser de cara plana (FF) o cara con resalto (RF).

Bridas Welding Neck: Son bridas con cuello para soldar, poseen un cuello largo con el mismo diámetro de la tubería, se une mediante una soldadura a tope, son capaces de soportar altas temperaturas, altas presiones, con 1/3 de soporte de presiones más que las bridas slip on, requieren de mayor espacio y mayor cantidad de hora hombre para su instalación, son de tipo cara plana (FF).

Bridas Blind: Son bridas ciegas, utilizadas para cerrar extremos de un sistema de tuberías, sometidos a varias presiones de trabajo, se instalan mediante un soldeo a filete, son de tipo cara plana (FF).

4.2.4.5. Pernos

Los pernos se adecuan para ASTM A307 o ASTM 193M / A 193, A325 M / A 325, solo pueden usarse para propósitos estructurales. El comprador debe especificar en la orden que forma de cabeza de perno y tuerca deseada, dimensiones pesadas o regulares son adecuadas.

4.2.4.6. Válvulas

Son dispositivo mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos.

Tipos de válvulas:

Válvula de Bola: Son válvulas con cuerpo de cavidad esférica que alberga un obturador en forma de esfera o de bola (de ahí su nombre). La bola tiene un corte adecuado (usualmente en V) que fija la curva característica de la válvula, y gira transversalmente accionada por un servomotor exterior. El cierre estanco se logra con un aro de teflón incorporado al cuerpo contra el cual asienta la bola cuando la válvula está cerrada. En posición de apertura total, la válvula equivale aproximadamente en tamaño a 75% del tamaño de la tubería. La válvula de bola se emplea principalmente en el control de caudal de fluidos, con gran porcentaje de sólidos en suspensión.

Válvula de Globo: Son válvulas de asiento, ya sea de simple o doble, se precisan de un actuador de mayor tamaño para que el obturador cierre en contra de la presión diferencial del proceso. Se emplean cuando la presión del fluido es baja y se precisa por las fugas en posición de cierre sean mínimas.

Válvula Compuerta: Las válvulas de compuerta están diseñada para servicios donde se requiere bloqueo.

Presentan la ventaja que se fabrican en todos los tamaños, clases y materiales requeridos. Efectúa su cierre con un disco vertical plano, o de forma especial, y que se mueve verticalmente al flujo del fluido.

Válvula Mariposa: El cuerpo está formado por un anillo cilíndrico dentro del cual gira transversalmente un disco circular, la válvula puede cerrar herméticamente mediante un anillo de goma encastrado en el cuerpo.

Un servomotor exterior acciona el eje de giro del disco y ejerce su par máximo cuando la válvula ésta totalmente abierta, en control todo -nada se considera 90° y en control continuo 60°, a partir de la posición de cierre ya que la última parte del giro es bastante inestable.

Válvula de Retención: Estas válvulas conocidas como (check), están diseñadas para prevenir la inversión del flujo, en una válvula de retención, el elemento de cierre es activado por su propio peso o por el cambio de dirección de flujo. Este elemento de cierre puede ser una bola, un disco o un pistón, Los tipos más comunes son: de giro, de disco inclinado, de plato simple, de plato doble y de levantamiento.

La selección de un tipo particular depende esencialmente de los requerimientos de servicio y disponibilidad.

4.2.4.7. Electrodo Para Soldadura

Para la soldadura de materiales con esfuerzo mínimo a la tracción de 550 MPa (80 kpsi), los electrodos de soldadura por arco manual serán de acuerdo a las clasificaciones de las series E60XX y E7XX en AWS A 5.1 y según API 650 7.2.1.10 (2007 Addendum 2009).

Para la soldadura de materiales con un mínimo esfuerzo a la tracción de 550 MPa a 585 MPa (80 a 85 kpsi), electrodos de soldadura por arco manual deberán adecuarse para la clasificación de series E8XXCX en AWS A 5.5.

Según la AWS la nomenclatura es:

E – UXYZ

Donde:

E: Es la letra estándar y fija que denomina a los electrodos.

U: Primer dígito de la resistencia a la tensión en Kpsi.

X: Segundo dígito de la resistencia a la tensión en Kpsi.

Y: Posición de soldadura.

Z: Tipo de revestimiento y corriente a usar en el electrodo.

4.2.5. DISEÑO DE UNIONES DE SOLDADURA

Las siguientes uniones definiciones aplican diseños de unión de tanques para almacenamiento de crudo o sus derivados.

a. Uniones a Tope Soldadas:

Una unión entre dos partes terminales que se encuentran en el mismo plano y son soldadas por ambos lados.

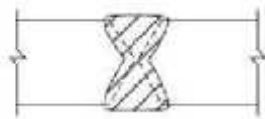


Figura 4.3 Soldadura a tope doblemente soldada¹¹

b. Uniones a tope de soldadura simple y respaldo:

Una unión entre dos partes terminales que se encuentran aproximadamente en el mismo plano, soldados por un lado solamente con el respaldo de una platina, barra u otro material adecuado de respaldo.

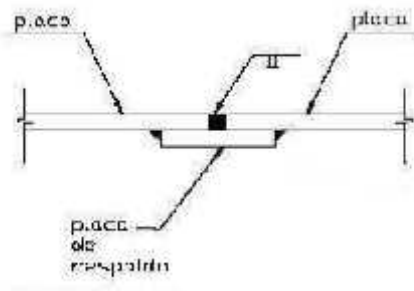


Figura 4.4 Soldadura a tope simple con respaldo ¹²

¹¹ API 650, Edición 2012

¹² API 650, Edición 2012

c. Uniones traslapadas doblemente soldadas:

Una unión de dos piezas superpuestas en los bordes superpuestos de ambos miembros son soldadas con soldadura de filete.



Figura 4.5 Soldadura a traslapada doble soldada¹³

d. Unión traslapada de soldadura simple:

Una unión entre dos elementos superpuestos en la cual el borde superpuesto de uno de los elementos es soldado con una soldadura de filete.



Figura 4.6 Soldadura traslapada simple¹⁴

e. Unión a tope:

Una soldadura localizada en una ranura entre los extremos de dos elementos, donde la junta puede ser cuadrada, en bisel, en V (simple o doble), de simple o doble bisel.

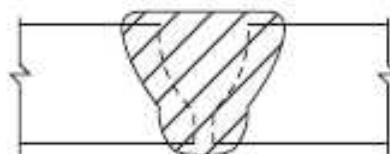


Figura 4.7 Soldadura a tope¹⁵

¹³ API 650, Edición 2012

¹⁴ API 650, Edición 2012

¹⁵ API 650, Edición 2012

f. Soldadura de filete:

Soldadura de una sección aproximadamente recta triangular, uniendo dos superficies que se encuentran en casi en unión con un ángulo recto, como en una unión de traslape, unión T o junta de esquina.

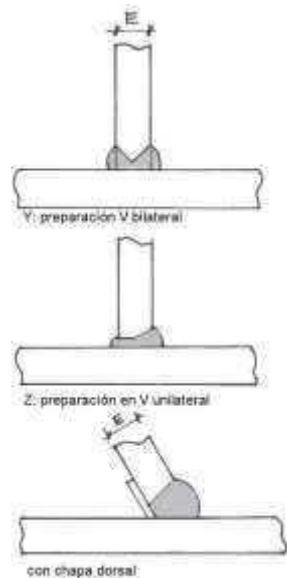


Figura 4.8 Soldadura de filete ¹⁶

g. Soldadura de filete completo:

Una soldadura de filete cuyo tamaño es igual al espesor de la plancha más delgada que se está uniendo.

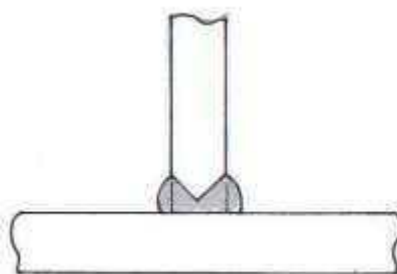


Figura 4.9 Soldadura de filete completo¹⁷

¹⁶ API 650, Edición 2012

¹⁷ API 650, Edición 2012

h. Soldadura por puntos o provisional:

Una soldadura efectuada para sujetar las partes de un elemento soldado hasta que se realice la soldadura final.



Figura 4.10 Soldadura provisional ¹⁸

El mínimo tamaño de la soldadura de filete deberá ser para planchas de 3/16 pulg de espesor, soldadura de filete completa para planchas mayores que 3/16 pulg, de espesor, no menores de 2/3 del espesor de la plancha más delgada que interviene en la soldadura, con un mínimo de 3/16 pulg, uniones de soldadura simple son permitidas en las planchas del fondo y techo.

En uniones de soldadura a traslape, como soldaduras de costura, o traslapadas, deberán tener un traslape no menor a 5 veces el espesor nominal de la plancha más delgada; sin embargo, las soldaduras de doble traslape no deberán exceder las 2 pulg (50mm) de traslape y en simple traslape son debe exceder 1 pulg (25mm).

4.2.6. SOLDADURAS EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Al efectuar el diseño se deberán preparar procedimientos específicos de soldadura para cada caso.

¹⁸API 650, Edición 2012

Los procedimientos de soldadura serán presentados para su aprobación y estudio antes de aplicar cualquier cordón de soldadura para cada caso en particular. Este procedimiento debe indicar la preparación de los elementos a soldar, así como la temperatura a la que se deberá precalentar tanto el material de aporte (electrodo, si lo hubiera), como los materiales a unir.

Todas las soldaduras serán aplicadas mediante el proceso de arco eléctrico B sumergido, arco con gas inerte o electrodos recubiertos. Estos procesos pueden ser manuales o automáticos. En cualquiera de los dos casos, deberán tener penetración completa, eliminando la escoria dejada al aplicar un cordón de soldadura antes de aplicar sobre éste el siguiente cordón.

Las soldaduras típicas entre elementos, la cara ancha de las juntas en “V” y en “U” podrán estar en el exterior o en el interior del cuerpo del tanque dependiendo de la facilidad que se tenga para realizar el soldado de la misma. El tanque deberá ser diseñado de tal forma que todos los cordones de soldadura sean verticales, horizontales y paralelos, para el cuerpo y fondo, en el caso del techo, podrán ser radiales y/o circunferenciales.

4.2.6.1 JUNTAS VERTICALES DEL CUERPO.

Las juntas verticales deberán ser de penetración y fusión completa, lo cual se podrá lograr con soldadura doble, de tal forma que se obtenga la misma calidad del metal depositado en el interior y el exterior de las partes soldadas para cumplir con los requerimientos del procedimiento de soldaduras.

Las juntas verticales no deberán ser colineales, pero deben ser paralelas entre sí en una distancia mínima de 5 veces el espesor de la placa (5t).

4.2.6.2 JUNTAS HORIZONTALES.

Las juntas horizontales, deberán ser de penetración y fusión completa, excepto la que se realiza entre el ángulo de coronamiento y el cuerpo, la cual puede ser unida por doble soldadura a traslape, cumplimiento con el procedimiento de soldadura.

A menos que otra cosa sea especificada, la junta a tope con o sin bisel entre las placas del cuerpo, deberán tener una línea de centros o fibra media común.

4.2.6.3 SOLDADURA DEL FONDO.

Las placas del fondo deberán ser rectangulares y estar escuadradas. El traslape tendrá un ancho de, por lo menos, 32mm. (1-1/4 pulg.). Para todas las juntas las uniones de dos o tres placas, como máximo que estén soldadas, guardarán una distancia mínima de 305mm. (1 pie) con respecto a cualquier otra junta y/o a la pared del tanque. Cuando se use placa anular, la distancia mínima a cualquier cordón de soldadura del interior del tanque o del fondo, será de 610mm. (2 pie).

Las placas del fondo serán soldadas con un filete continuo a lo largo de toda la unión. A menos que se use un anillo anular, las placas del fondo llevarán bayonetas para un mejor asiente de la placa del cuerpo que son apoyadas sobre el fondo.

Las placas del fondo deberán tener sus cantos preparados para recibir el cordón de soldadura, ya sea escuadrando éstas o con biseles en "V". Si se utilizan biseles en "V", la raíz de la abertura no deberá ser mayor a 6.3 mm. (1/4 pulg). Las placas del fondo deberán tener punteada una placa de respaldo de 3.2 mm. (1/8 pulg) de espesor o mayor que la abertura entre placas, pudiéndose usar un separador para conservar el espacio entre las placas.

Cuando se realicen juntas entre tres placas en el fondo del tanque, éstas deberán conservar una distancia mínima de 305 mm. (1 pie) entre sí y/o con respecto a la pared del tanque.

4.2.6.4. JUNTA DEL CUERPO - FONDO.

Para espesores de placa del fondo o de placas anulares que sean de 12.7mm. (1/2 pulg.) o menores son incluir corrosión, la unión entre el fondo y el canto de las placas del cuerpo tendrá que ser hecha con un filete continuo de soldadura que descansa de ambos lados de la placa del cuerpo.

El tamaño de cada cordón, sin tomar en cuenta la corrosión permisible, no será mayor que 12.7mm. (1/2") y no menor que el espesor nominal de la más delgada de las placas a unir, o menor que los valores de la tabla siguiente.

MAXIMO ESPESOR DEL TANQUE (mm).	DIMENSION MINIMA DEL FILETE (mm).
D = 4.76	4.76
4.76 > D < 19.05	6.35
19.05 > D < 31.75	7.93
31.75 > D < 44.45	9.52

Tabla 4.1. Valores minino de cordón¹⁹

4.2.6.5. JUNTAS DEL TECHO Y PERFIL DE CORONAMIENTO.

Las placas del techo deberán soldarse a traslape por el lado superior con un filete continuo igual al espesor de las mismas.

Las placas del techo serán soldadas al perfil de coronamiento del tanque con un filete continuo por el lado superior únicamente y el tamaño del filete será igual al espesor más delgado.

¹⁹ Asme Sección IX

Las secciones que conformen el perfil de coronamiento para techos autosoportados estarán unidas por cordones de soldadura que tengan penetración y fusión completa.

Como una opción del fabricante para techos autosoportados, del tipo domo y sombrilla, las placas perimetrales del techo podrán tener un doblez horizontal, a fin de que descansen las placas en el perfil de coronamiento.

4.3. ACCESORIOS DEL TANQUE

Un tanque requiere varios tipos de accesorios que específicamente ayuden al funcionamiento adecuado y a su respectivo mantenimiento, estos accesorios como podemos mencionar algunos de ellos como boquillas de entrada y salida del combustible, así como también boquillas para el drenaje del agua que se deposita en el techo por la lluvia, y otra boquilla para el drenaje en la parte inferior del tanque. Para la limpieza y mantenimiento y se necesita una puerta de limpieza a nivel como lo nombra la norma; además para la entrada del personal los llamados Manhole, y la escalera con su pasamanos que nos ayuden a llegar a la parte superior del tanque.

Al colocar estos accesorios implica hacer perforaciones, soldaduras en el cuerpo del tanque, por lo cual se coloca planchas de refuerzo que cumplen con la norma API 650. El espesor mínimo de las planchas de refuerzo será la misma que el espesor del cuerpo del tanque.

Los principales accesorios del tanque utilizados los mencionaremos a continuación:

Manhole del Cuerpo. - Ayuda en el mantenimiento interior del tanque para que el personal encargado pueda ingresar al mismo.

Boquillas de entrada. - Accesorio necesario que ayuda a la entrada del producto de almacenamiento.

Boquillas de salida. - Accesorio necesario que ayuda a la salida del líquido almacenado.

Escalera, pasamanos. - Es el accesorio necesario que nos ayuda a subir al techo del tanque.

Estos accesorios van unidos al casco del tanque y se acoplan con tuberías, válvulas o simplemente van tapados con una puerta por medio de pernos, que son destapados el momento del mantenimiento.

Para los diferentes tipos de aberturas, en el cuerpo tenemos que tomar en cuenta la separación que deben tener estas aberturas entre si y también con respecto de los cordones de soldadura de las planchas del cuerpo.

En la siguiente gráfica acompañada con la que se toma en cuenta las distancias que deben tener entre aberturas del casco y los cordones de soldadura, y a la altura que estos donde se pueden ubicar.

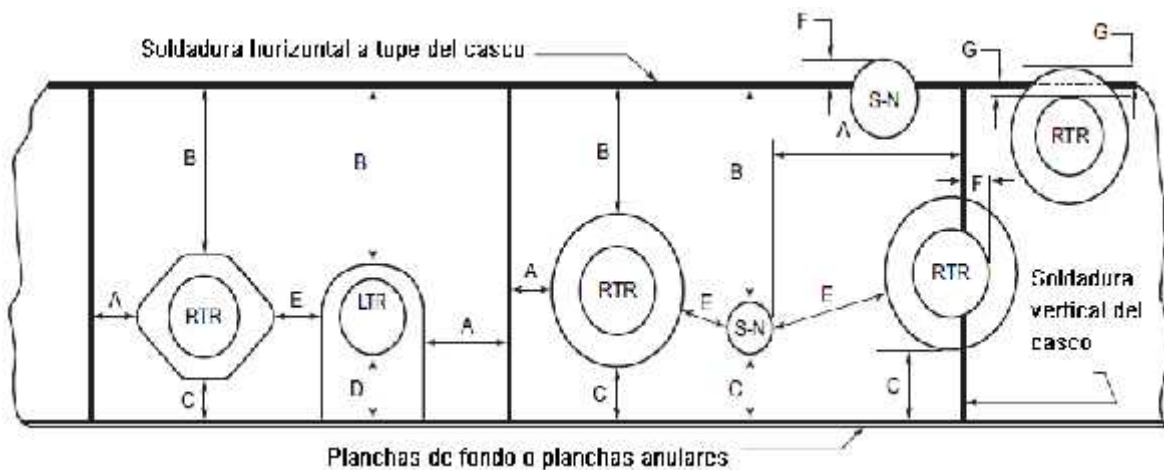


Figura 4.11 Aberturas y separaciones necesarias entre aberturas de accesorios para tanques²⁰

²⁰ API 650, Edición 2012

4.3.1 SELECCIÓN DE BOQUILLAS PARA ESPESORES DE MANHOLE Y BRIDAS.

El manhole más usado para tanques de almacenamiento de combustible es el manhole con placa de refuerzo ya sea esta de tipo diamante o circular, el cual lo detallaremos en la siguiente gráfica.

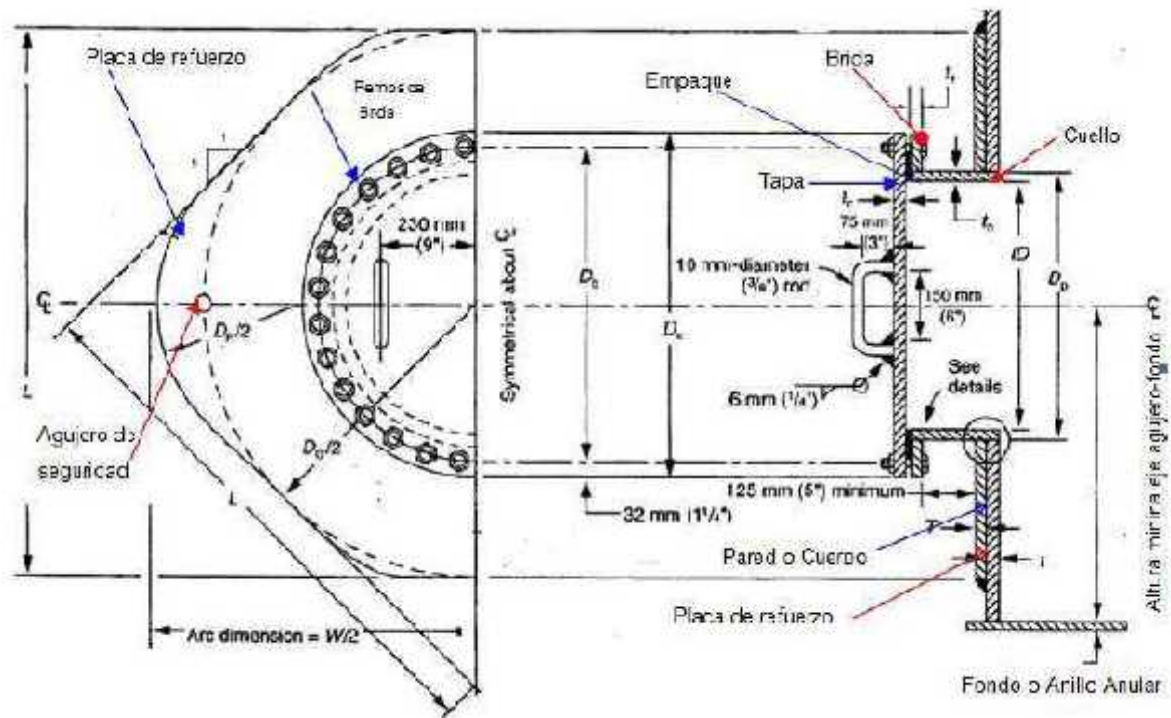


Figura 4.12. Manhole de cuerpo.²¹

Donde:

D_p = Diámetro exterior de la boquilla o del cuello.

ID = Diámetro del manhole.

D_c = Diámetro de la tapa del manhole.

D_b = Diámetro entre pernos de la tapa.

D_o = Diámetro exterior de la placa de refuerzo.

D_R = Diámetro interior de la placa de refuerzo.

²¹ API 650, Edición 2012

t_f = Espesor de la brida

t_c = Espesor de la tapa del manhole.

t_n = Espesor del cuello del manhole (neck).

T = Espesor de la placa de refuerzo

t = Espesor de la plancha del casco.

W = ancho de la placa de refuerzo.

Para la selección de los espesores a utilizar en la tapa del manhole y el espesor de la brida empernada. Se empleará la Bidas:

De la Bidas se obtiene los siguientes:

Diámetro del Manhole ID = 30 pulg.

La tapa y el cuerpo del manhole van ensambladas con pernos, para ello se debe escoger los diámetros de los pernos y los diámetros de los agujeros que se hará en las placas. Estas medidas serán tomadas de los electrodos para soldadura, donde necesitamos nuestro diámetro del manhole para poder escoger el diámetro de los pernos y orificios.

Boquilla, bidas en el casco.

Este tipo de accesorios son usados para unir al tanque con tubería que ayude al ingreso de líquido almacenado, y salida del mismo como también la evacuación de residuos o agua en diferentes partes del tanque.

Se clasifican en 3 tipos, como son: Tipo regular, tipo baja, tipo empernada.

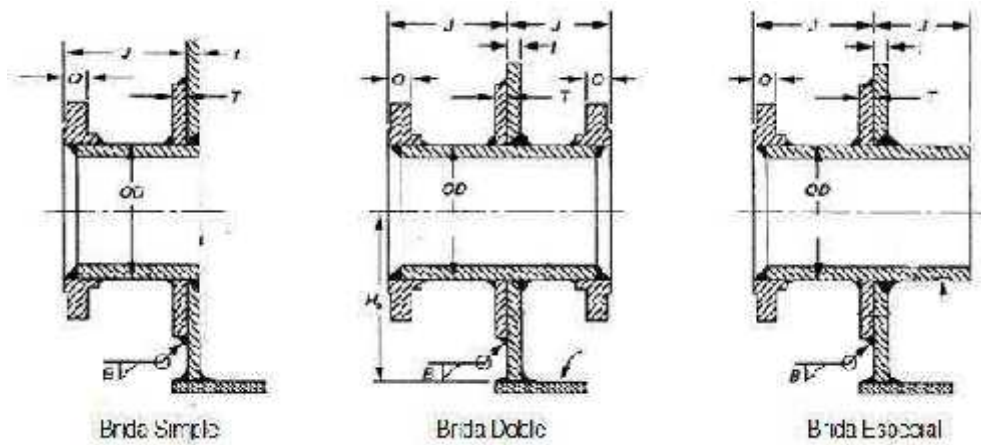


Figura 4.13 Brida tipo regular ²²

Manhole del techo.

El manhole de techo es un accesorio en los tanques de almacenamiento los cuales permite un acceso de inspección.

Los manhole del techo deberán ser conformados de acuerdo a los efectos de las cargas aplicadas al manhole del techo y soportados por la estructura deberán ser considerados. La estructura del techo y placas alrededor del manhole deberán ser reforzadas si es necesario.

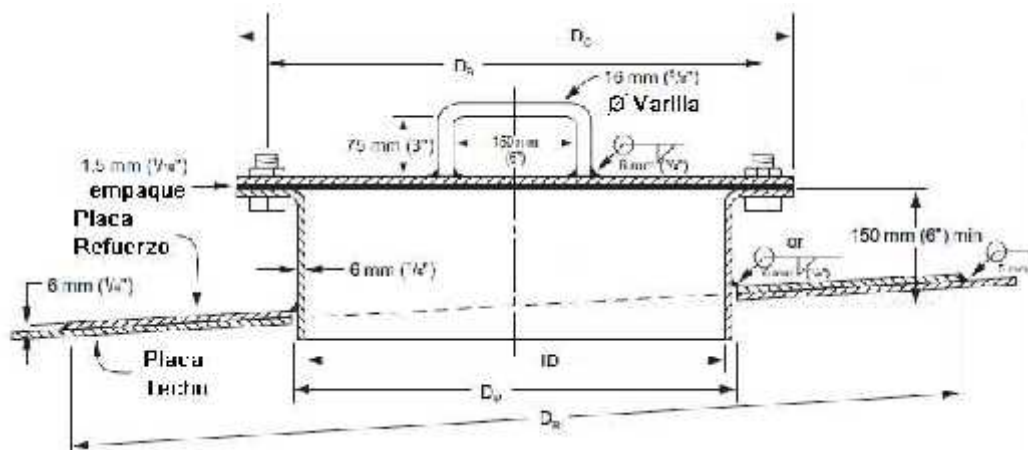


Figura 4.14. Manhole de techo ²³

²² API 650, Edición 2012

²³ API 650, Edición 2012

Selección de boquillas y bridas del techo.

Boquillas bridadas en el techo deberán ser conformadas según las bridas y soldaduras del cuello de la boquilla deberán cumplir con los requerimientos de ASME B16.5 clase 150.

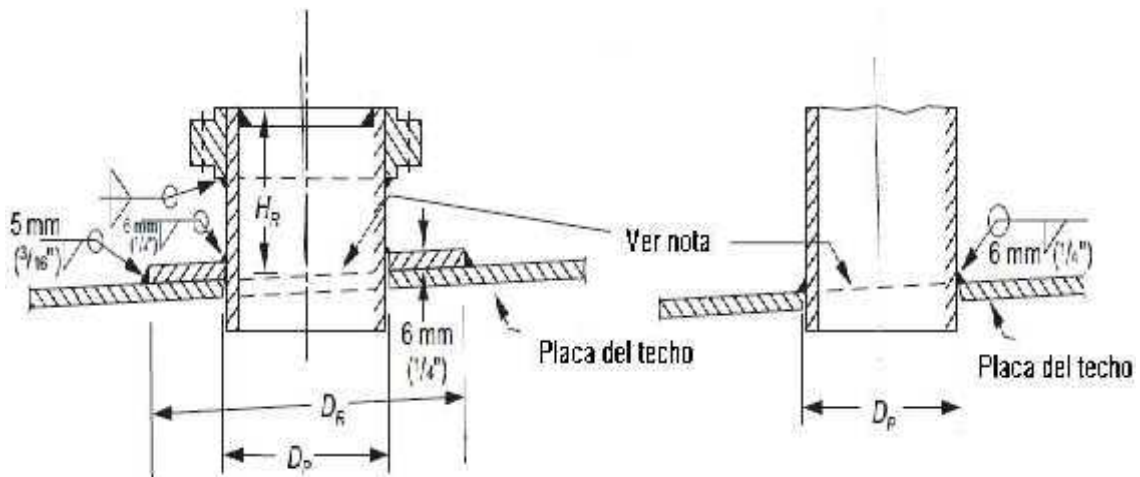


Figura 4.15. Boquillas de techo ²⁴

Se tiene que las dimensiones para las boquillas del techo son las siguientes:

- Tamaño de la boquilla: NPS 4 (4 pulg.).
- Diámetro exterior cuello: 114.3 mm
- Diámetro de agujero en el techo (D_p): 120mm
- Mínima altura de la boquilla (H_r): 150mm
- Diámetro exterior de la placa de refuerzo (D_r): 275mm

4.3.2. ESCALERAS Y BARANDAS DEL TANQUE

Las escaleras, plataformas y barandales tienen la finalidad de situar al personal que así lo requiera en una zona del tanque que necesite de constante mantenimiento o supervisión, generalmente sobre el techo donde se localizan

²⁴ API 650, Edición 2012

diversas boquillas y la entrada hombre, además de brindar protección y seguridad al personal.

REQUERIMIENTOS PARA ESCALERAS. (ESPECIFICADO POR A.P.I. 650).

1. Todas las partes de la escalera serán metálicas.
2. El ancho mínimo de las escaleras será de 610mm. (24 pulg.).
3. El ángulo máximo entre las escaleras y una línea horizontal será de 50°.
4. El ancho mínimo de los peldaños será de 203mm. (8 pulg.). La elevación será uniforme a todo lo largo de la escalera.
5. Los peldaños deberán estar hechos de rejilla o material antiderrapante.
6. La superior de la reja deberá estar unida al pasamano de la plataforma sin margen y la altura medida verticalmente desde el nivel del peldaño hasta el borde del mismo de 762 a 864 mm. (30 pulg. a 34 pulg.).
7. La distancia máxima entre los postes de la rejilla medidos a lo largo de la elevación de 2,438mm. (96 pulg.).
8. La estructura completa será capaz de soportar una carga viva concentrada de 453 kg. (1,000 lb), y la estructura de los pasamanos deberá ser capaz de soportar una carga de 90Kg. (200 lb), aplicada en cualquier dirección y punto del barandal.
9. Los pasamanos deberán estar colocados en ambos lados de las escaleras rectas; éstos serán colocados también en ambos lados de las escaleras circulares cuando el claro entre cuerpo-tanque y los largueros de la escalera excedan 203mm. (8 pulg.).
10. Las escaleras circunferenciales estarán completamente soportadas en el cuerpo del tanque y los finales de los largueros apoyados en el piso.

4.4 DISEÑO DE TANQUES DE TECHO FIJO.

4.4.1 CAPACIDAD DEL TANQUE

El diseño preliminar para el tanque de techo fijo provee la utilización de un tanque de 200.000 galones de capacidad operativa.

La capacidad nominal se considerará un 10 % a 15 %, más de la capacidad operativa, esto servirá para poder determinar el diámetro y la altura correspondiente.

Capacidad operativa: 200.000 galones 4,762 barriles

El diseño del tanque será con un 15% más de la capacidad operativa.

Capacidad diseño: 230.155 galones 5,480 barriles

# de anillos	1	2	3	4	5	6	7	8
Diámetro del Tanque (pies)	Capacidad por pie de altura (barriles)	Altura del tanque (pies)/numero total de anillos en el cuerpo del tanque.						
		16	24	32	40	48	56	64
10	14	225	335	450	-----	-----	-----	-----
15	31.5	505	755	1010	1260	-----	-----	-----
20	56	900	1340	1700	2240	2690	-----	-----
25	87.4	1400	2100	2800	3500	4200	4900	5600
30	126	2020	3020	4030	5040	6040	7050	8060
35	171	2740	4110	5480	6850	8230	9600	10960
40	224	3580	5370	7160	8950	10740	12530	14320
45	283	4530	6800	9060	11330	13600	15860	18130
50	350	5600	8390	11190	13990	16790	19580	22380
60	504	8060	12090	16120	20140	24170	28200	32230
70	685	10960	16450	21930	27420	32900	38380	43870
80	895	14320	21490	28490	35810	42970	50130	57300
90	1133	18130	27190	36260	45320	54390	63450	72520
100	1399	22380	33570	44760	55950	67140	78340	89530
120	2014	-----	48340	64460	80580	96690	112800	128900
140	2742	-----	65800	87740	109700	131600	153500	175500
160	3581	-----	-----	114600	143200	171900	200500	229200
180	4532	-----	-----	145000	181300	217500	253500	238100
200	5595	-----	-----	179100	223800	268600	274200	D= 163
220	6770	-----	-----	216700	270800	322300	D=187	

Tabla 4.2 Diámetros típicos de tanques ²⁵

Con este valor se determina en el eje de las coordenadas la altura del tanque y el número de anillos estandarizados a utilizar.

²⁵ Diseño de tanque de almacenamiento, 2012

En el eje de las abscisas se determina el diámetro del tanque a utilizar más la capacidad por pie de altura que posee el tanque.

Para el diseño del tanque se tomarán láminas de 8 pies (2.4 m) de ancho por 20 pies (6 m) de largo, esta medida se considera debido a los requerimientos del cliente y también debido a factores de transportación.

RESUMEN CARACTERISTICAS TANQUE	
Diámetro:	35 pies
Altura:	32 pies
Numero de anillos:	4
Capacidad de Diseño:	5,480 barriles

Tabla 4.3 Características Tanque ²⁶

4.4.2. DISEÑO DE ESPESORES DEL CUERPO

El cuerpo o envoltente del tanque se forma con la unión de anillos hasta lograr la altura requerida. Estos anillos se construyen, soldando láminas roladas formando el perímetro del tanque. Es por esto, que el cuerpo es el componente más grande y crítico de los tanques, representando aproximadamente el 70% de la construcción, por este motivo el cálculo de los espesores se debe hacer de la manera más minuciosa para obtener los espesores óptimos que permitan tener un tanque seguro y de costos razonables.

Para el cálculo de espesores se basa en la norma API 650 en la cual detallan los espesores típicos para tanques de almacenamiento en función de su diámetro.

Los esfuerzos máximos permisibles para diseño y prueba hidrostática (S_d) y (S_t) respectivamente, utilizados para los cálculos de espesores, se encuentran

²⁶ Elaboración Propia

tabulados en la Norma API 650. Así como también la mínima resistencia a la fluencia y a la tracción (S_y) y (S_{tr}) respectivamente.

El espesor de la pared por condición de diseño, se calcula con base al nivel del líquido, tomando la densidad relativa del fluido establecido por el usuario.

El espesor por condiciones de prueba hidrostática se obtiene considerando el mismo nivel de diseño, pero ahora utilizando la densidad relativa del agua

Cuando sea posible, el tanque podrá ser llenado con agua para la prueba hidrostática, pero si esto no es posible y el cálculo del espesor por condiciones de prueba hidrostática es mayor que el calculado por condiciones de diseño, deberá usarse el obtenido por condiciones de prueba hidrostática.

En base a la norma API 650 se escogerán los valores correspondientes al diámetro del tanque, pero para el cálculo correspondiente se utilizarán los 2 diferentes métodos que la norma API 650 acepta.

4.4.3. MÉTODO DE CÁLCULO PARA CUERPO DE TANQUE

Para determinar el espesor adecuado para el cuerpo del tanque se toma un espesor mayor al de diseño, incluyendo cualquiera que sea la tolerancia de corrosión.

Los espesores seleccionados no deberán ser menores a los valores siguientes:

Diámetro nominal del tanque		Espesor nominal de la plancha	
(m)	(pies)	(mm)	(pulgadas)
<15	< 50	5	3/16
15 a <36	50 a <120	6	1/4
36 a 60	120 a 200	8	5/16
>60	>200	10	3/8

Tabla 4.4 Espesores mínimos para diámetros nominales de tanque.²⁷

²⁷ API 650, Edición 2012

4.4.3.1. Diseño de espesores por el método de un pie.

Este método de cálculo no es aplicable para los tanques mayores a 60m (200 pies) de diámetro.

Los espesores mínimos requeridos de las planchas del cuerpo serán mayores que los valores calculados por las siguientes fórmulas.

Espesor de diseño del cuerpo:

$$t_d = \frac{4.9 * D * (H - 0.3) * G}{S_d} + C \quad (E . 4.1)$$

Espesor del cuerpo de prueba hidrostática:

$$t_t = \frac{4.9 * D * (H - 0.3)}{S_t} \quad (E . 4.2)$$

Donde:

t_d = Espesor de diseño del cuerpo, en mm.

t_t = Espesor del cuerpo de prueba hidrostática, en mm.

D = Diámetro nominal del tanque, en m.

G = Gravedad específica de diseño del líquido a almacenar.

H = Nivel de diseño del líquido, en m.

CA = Tolerancia de corrosión en mm.

S_d = Esfuerzo admisible para la condición de diseño, en MPa.

S_t = Esfuerzo admisible para las condiciones de prueba hidrostática, en MPa.

Para el presente diseño se toma el método de un pie para realizar los cálculos ya que el diámetro especificado para el tanque no es mayor a 60 metros, lo cual la norma API 650 nos permite realizar los cálculos de espesores con el presente método.

4.4.3.2. Diseño de espesores por el método del punto de diseño variable.

Este método normalmente se establece una reducción en el espesor del cuerpo, y el peso total del material, pero lo más importante es su potencial para permitir la construcción de tanques de gran diámetro dentro del límite máximo espesor de la lámina.

Este método sólo puede utilizarse cuando el método de 1 pie no se especifica y cuando se cumpla lo siguiente:

Para el método del punto variable se utiliza las ecuaciones del método de un pie, notados de la siguiente manera:

$$t_p = t_d \quad (E . 4.3)$$

$$t_p = t_t \quad (E . 4.4)$$

Igual que el método de un pie se toma el espesor mayor, y posteriormente se verifica si es posible efectuar el cálculo de espesores mediante el método del punto variable mediante la siguiente relación.

$$\frac{L}{H} \leq \frac{1000}{6} \quad (E . 4.5)$$

Donde:

$$L = (500 * D * t)^{0.5}, \text{ (mm)}$$

$$H = \text{Altura del tanque, (mm)}$$

$$D = \text{Diámetro del tanque, (m).}$$

$$t = \text{Espesor del tanque calculado mediante el método de un pie, (mm).}$$

Relación que traducen en los esfuerzos calculados a tensiones circunferenciales reales, API 650.

4.4.3.3. Diseño de espesores por análisis elástico

Para tanques donde la relación L/H es mayor que 2, la selección de los espesores del cuerpo se basará sobre un análisis elástico que muestre los cálculos de esfuerzos del cuerpo circunferencial por debajo de los límites dados. Las condiciones de limitación para el análisis asumirán un momento totalmente plástico causado por la resistencia (punto de fluencia) de la plancha bajo el cuerpo y el crecimiento radial nulo.

4.4.4 ESPESORES PARA EL FONDO DEL TANQUE

Las planchas del fondo deberán tener como mínimo un espesor nominal de 6 mm. (1/4 pulg.), de espesor, a [70 Kpa.(10.2 psi)], fuera del espesor por corrosión. Todas las planchas rectangulares deberán tener de preferencia un ancho mínimo de 1800 mm (72 pulg.)

Las planchas de fondo deberán ser ordenadas de un tamaño suficiente de modo que cuando sean traslapadas como mínimo 25 mm. (1 pulg.) de ancho deberá proyectarse más allá del borde exterior de la soldadura de fijación del fondo a la plancha del cuerpo.

Para el diseño del fondo del tanque se tomará un sobre espesor por corrosión de 1/8" debido a que en el fondo existen mayores depósitos de impurezas por lo que la corrosión es mayor.

Por lo tanto:

$$e_f = \frac{1''}{4} + \frac{1''}{8} + \frac{3''}{8} \quad (E . 4.6)$$

4.4.5. DISEÑO DE TECHO CÓNICO SOPORTADO

Los techos cónicos soportados se usan generalmente para tanques de gran

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

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. La soldadura del techo, con el perfil de coronamiento, se efectuará mediante un filete continuo de 4.76mm. (3/16 pulg.) o menor si la especifica el usuario.

La pendiente del techo deberá ser de 6.35 en 304.8mm. (1/4 en 12 pulg.) o mayor si lo especifica el usuario, pero lo recomendable es una pendiente de 19 en 305mm. (3/4 en 12 pulg.) ó menor si la especifica el usuario.

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, trabes 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. Cuando se usa tubería de acero, debe proveerse ésta de drenes y venteos; la base de la misma será provista de topes soldados al fondo para prevenir desplazamientos laterales.

Las uniones de la estructura deben estar debidamente ensambladas mediante tornillos, remaches o soldadura, para evitar que las uniones puedan tener movimientos no deseados.

4.4.5.1. Esfuerzos Permisibles

Todas las partes de la estructura serán dimensionadas con base a los cálculos hechos de acuerdo a la suma de los esfuerzos estáticos máximos, los cuales no deberán exceder los límites especificados:

Esfuerzo Máximo de Tensión.

a) Para placas roladas en su sección neta, $1,406 \text{ Kg/cm}^2$ ($20,000 \text{ lb/pulg}^2$).

b) Para soldadura con penetración completa en áreas de placa delgada,

$$1266 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (18000 lb/plg}^2\text{)}.$$

Esfuerzo Máximo de Compresión.

a) Para acero rolado, donde se previene la flexión lateral $1,406 \text{ Kg/cm}^2$ ($20,000 \text{ lb/pulg}^2$).

b) Para soldadura con penetración completa en áreas de placa delgada $1,406 \text{ Kg/cm}^2$ ($20,000 \text{ lb/pulg}^2$).

c) Para columnas en su área de sección transversal, cuando $L/r < 120$ (según AISC).

$$C_m = \left(1 - \frac{(L/r)^2}{2C_c^2}\right) \left(\frac{C_d}{C}\right) \quad (\text{Ec. 4.7})$$

Cuando $2C_c \leq L/r < 200$

$$C_m = \frac{5.15 E}{(L/r)^2} \quad (\text{Ec. 4.8})$$

C_m = Compresión máxima permisible (Kg/cm^2)

C_d = Esfuerzo de cedencia (Kg/cm^2)

C_c = Relación de esbeltez limite = $\sqrt[4]{19,739E / C_d}$

E = Módulo de sección (Kg/cm^2)

L = Longitud sin apoyo de la columna (cm)

= Menor radio de giro de la columna mínimo (cm)

CS = Coeficiente de seguridad

$$\frac{F}{A} + \frac{F L/r}{2C_c^2} - \frac{1(L/r)^2}{8C_c^2} = \text{entre 1.67 y 1.92} \quad (\text{Ec. 4.9})$$

Para miembros principales de compresión L/r , no deberá exceder 180, y para otros miembros secundarios L/r no debe exceder 200.

Esfuerzo Máximo Producido por Flexión

a) Para tensión y compresión en las fibras externas de placas roladas y miembros estructurales con eje de simetría en el plano de cargas, donde la longitud lateral no soportada de la viga compuesta de compresión no es mayor de 13 veces el ancho, la viga compuesta de compresión no debe exceder de 17 en su relación ancho-espesor, y la relación de alma altura-espesor no debe exceder de 70, y no sobrepasar un esfuerzo de 1,547 Kg / cm² (22,000 lb / pulg²).

b) Para tensión y compresión en fibras extremas de miembros asimétricos, donde el miembro es soportado lateralmente en intervalos no mayores de 13 veces el ancho de la viga compuesta de compresión, no deberá exceder un esfuerzo de 1,406 Kg / cm² (20,000 lb / pulg²).

c) Para tensión en fibras extremas de otros miembros rolados, miembros estructurales y trabes, no excederán de un esfuerzo de 1,406 Kg / cm² (20,000 lb / pulg²).

d) Para compresión en fibras extremas de otros miembros rolados, trabes o miembros estructurales que tienen un eje de simetría en el plano de cargas, el

mayor valor calculado del esfuerzo que no ha de ser excedido será como sigue en Kg / cm².

$$1406 - 0.04 (l/r)^2 \quad (\text{Ec. 4.10})$$

$$\frac{843700}{(l/r)/A_f} < 1406 \quad (\text{Ec. 4.11})$$

DONDE:

l = Longitud sin apoyo de la viga compuesta de compresión (cm.).

r = Radio de giro de la sección respecto al eje en el plano de carga (cm.).

d = Peralte de la sección (cm.).

A_f = Área transversal de la viga compuesta (cm.²).

Esfuerzo Máximo de Corte

- a) Para soldaduras de filetes, tapones, ranuras, penetración parcial, el esfuerzo permitido en el área de la garganta será como máximo de 956 Kg/cm² (13,600 lb/pulg²).
- b) En el área del espesor de alma de vigas y trabes donde el peralte del alma de la viga no sea mayor de 60 veces el espesor de esta o cuando el alma es adecuadamente reforzada, el esfuerzo no debe exceder de 914 Kg/cm² (13,000 lb/pulg²).
- c) En el área del espesor de las almas de vigas y trabes que no estén reforzadas o que el peralte del alma de la viga es más de 60 veces al espesor de esta, el mayor promedio de corte permitido (V/A) será calculado como sigue:

$$V/A = \frac{1370}{1 + [h^2/(506t^2)]} \quad (\text{Ec. 4.12})$$

DONDE:

V = corte total (Kg.).

A = Área del alma (cm.).

h = Distancia o claro entre almas de vigas (cm.).

t = Espesor del alma (cm.).

4.4.6. DISEÑO DE VIGAS CON CARGAS UNIFORMEMENTE REPARTIDA

Una viga continua con carga uniforme tiene varios, se considera una sección de viga continua con igual espaciamiento (1), un momento M_0 existe sobre los soportes.

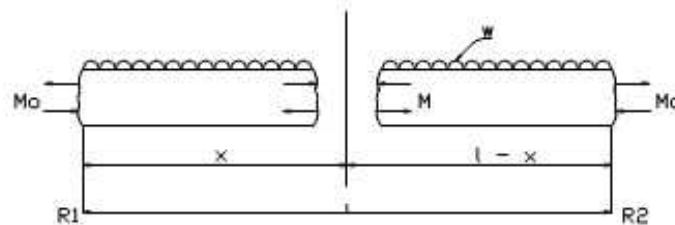


Figura 4.16 Carga axial en viga ²⁸

Tomando la suma de momentos a la distancia "x", desde el apoyo R1 obtenemos:

$$M = M_0 + R_1 x - w \left(\frac{x^2}{2} \right) \quad (E .4.13)$$

Pero,

$$R_1 = w \left(\frac{x}{2} \right) \quad (E .4.14)$$

Para una viga con extremos empotrados y

$$E \left(\frac{d^2 y}{dx^2} \right) = M \quad (E .4.15)$$

Sustituyendo M y R_1 encontramos:

$$M = E \frac{d^2 y}{dx^2} = M_0 + w \frac{x^2}{2} - w \frac{x^3}{6} \quad (E .4.16)$$

²⁸ API 650, Edición 2012

Integrando obtenemos,

$$E \left(\frac{d}{dx} \right) = M_0 x + \frac{w x^2}{4} - w x^3/6 + c_1 \quad (E .4.17)$$

Momento máximo con carga uniforme y extremos fijos.

$$M_0 = -\frac{wl^2}{12} \quad (E .4.18)$$

Momento máximo en el centro de claro donde $X = l/2$

$$M^{l/2} = \frac{wl^2}{24} \quad (E .4.19)$$

Flexión máxima en $x = l/2$

$$y = -\frac{wl^4}{384 E} \quad (E .4.20)$$

4.4.6.1. ESPACIO ENTRE VIGAS Y NÚMEROS DE VIGAS

Considere una franja circunferencial de 1 cm. en la periferia del techo, descartando el soporte que ofrece el cuerpo. Esta franja es considerada como sección plana continua uniformemente cargada. El momento de flexión es igual $wl^2/12$ y ocurre sobre los soportes de los largueros.

Pero API establece que el espacio máximo entre vigas será de 2 pies (1,915 mm. ó 75.39 pulg), en el perímetro exterior del tanque, y en anillos interiores una separación máxima de 5.5 pies (1,676 mm. ó 66 pulg.).

El número mínimo de vigas usados entre la pared del tanque y la columna central, está basado en el perímetro del círculo donde está circunscrito el triángulo exterior o del cuerpo, y el número mínimo de vigas estará determinado por la siguiente ecuación, donde el número real de vigas debe ser un múltiplo del número de lados del triángulo para mantener un arreglo simétrico:

$$n = \frac{N \left(\frac{360}{2N} \right)}{1} \quad (E .4.21)$$

DONDE:

n = Número de vigas.

l = Espacio máximo entre vigas (cm).

N = Número de lados del triángulo.

D = Diámetro nominal del tanque en (cm).

4.4.6.2. SELECCIÓN DE VIGAS

Las vigas están diseñados con cargas uniformemente repartidas y extremos libres. Cada viga se considera que soporta las placas del techo más la carga viva; dichas cargas se extienden a ambos lados del larguero respecto a la línea de centro del mismo, por lo que se considera que cada viga soportará un área tributaria igual a la longitud del larguero por el promedio de la separación entre dos vigas consecutivos. Sabiendo que el momento flexionante máximo en una viga con carga uniformemente repartida ocurre en el centro de ésta y, como consecuencia de esto, el esfuerzo máximo que se produce es directamente proporcional al cuadrado de la longitud de la viga, se debe evitar el uso de vigas muy pesadas limitando su longitud de 6,096 a 7,315 mm. (20 a 24 pies).

Una vez determinada la carga que absorberán los diferentes vigas, así como sus longitudes, se calculará el momento máximo, para que con este valor se proceda a determinar el módulo de sección óptimo para posteriormente recalcular, pero ahora considerando el peso propio del viga, haciendo esto repetidamente hasta lograr el equilibrio y poder determinar el módulo de sección a emplear.

Siempre de deberá calcular la viga más crítica (generalmente el exterior), para que

todos las vigas, ya sean exteriores y/o interiores, tengan el mismo peralte.

Para recipientes de gran diámetro, el claro de la viga es reducido soportadas en sus extremos por columnas, formando triángulos regulares.

4.4.6.3. DISEÑO DE COLUMNA CENTRAL CON CARGA AXIAL

Los miembros estructurales bajo compresión axial tienden al pandeo, causado por una fuerza axial (p), en la longitud de la columna (l), el momento de flexión M , igual a P por brazo de palanca (y), induce un esfuerzo de flexión igual a Mc/l , al cual se le suma el esfuerzo de compresión, P/a .

$$f = \frac{M}{l} + \frac{P}{a} = \frac{P}{l} + \frac{P}{a} \quad (E . 4.22)$$

Por definición:

$$I = ar^2 \quad ; \text{ Donde, } r = \text{radio de giro}$$

$$f = \frac{P}{a} \left(l + \frac{y}{r^2} \right) \quad (E . 4.23)$$

La columna puede ser comparada con una viga simplemente apoyada con carga uniformemente, o sea que:

$$f = \frac{M}{l} ; M = \frac{wl^2}{8} , y = \frac{5wl^4}{384E} \quad (E . 4.24)$$

Que pueden usarse para resolver el producto (yc).

$$y = \frac{5wl^4}{384E} \left(\frac{8l}{wl^2} \right) = \frac{5l^2 f}{48E} = C l^2 \quad (E . 4.25)$$

DONDE: C = constante

$$y = C_2 l^2$$

Entonces:

$$\frac{P}{a} = f \left(I + C_2 \left(\frac{l^2}{r^2} \right) \right) \quad (E .4.26)$$

Donde C_2 depende del material, la carga y el método de soporte. No se conoce ningún método para calcular teóricamente la constante C_2 y esta se determina por experimentación.

El investigador Gordon Rankine encontró por experimentación que C_2 puede ser de 1/18,000 para columnas circulares y 1/36,000 para columnas cuadradas. Para valores de l/r entre 60 y 200, por lo que se recomienda el uso de la siguiente fórmula para columnas de acero.

$$\frac{P}{a} = 1,265 / (I + (18,000r^2)) \quad (E .4.27)$$

Para columnas que tienen valores de l/r entre 0 y 60, no se utiliza esta ecuación, pero se especifica un valor máximo del esfuerzo de compresión igual a 1,055 kg / cm^2 .

Para valores de l/r mayores de 200 se usa la fórmula:

$$\frac{P}{a} = \frac{1,406}{I + \left(\frac{l^2}{2,000b^2} \right)} \quad (E .4.28)$$

La constante C_2 , es especificada por el American Institute Of Steel Construction.

DONDE:

l = Longitud no soportada (cm.).

b = Ancho de la sección de compresión.

Esta fórmula está limitada por las condiciones en las cuales $l > 15 b$.

Pero $l < 40 b$.

El valor de 1,406 Kg / cm^2 , especificado en el numerador de la ecuación anterior es permitido porque el esfuerzo de flexión máximo existe sólo en las fibras

exteriores combinado con el esfuerzo de compresión.

4.4.6.4. SELECCIÓN DE LA COLUMNA CENTRAL

Teniendo el número de columnas y la carga axial que soportará cada columna, que es la suma de las reacciones que generan las trabes o largueros que estarán apoyados sobre la columna.

Sabiendo que la relación de esbeltez para una columna larga aceptada por API (miembro principal sometido a compresión) es de 180, y conociendo la longitud de la columna podremos obtener el radio de giro que cumpla con esta relación.

$$r = \frac{l}{180} \quad (E .4.29)$$

Se busca un perfil que cumpla con el radio de giro mayor tanto en x – x como en y – y, y se obtiene el área de la sección transversal. Posteriormente se calcula el esfuerzo de compresión permisible para la columna de Rankine.

$$f = \frac{1265}{1 + \frac{l^2}{18000r^2}} \quad (E .4.30)$$

Teniendo el esfuerzo de compresión permisible y sabiendo que el esfuerzo actuante es P/a , igualamos las ecuaciones obteniendo el área de la sección transversal la cual tendrá que ser menor o igual a la de los perfiles combinados que se seleccionará con anterioridad. Si esto no se cumple, se tendrá que seleccionar otro perfil que tenga por, lo menos, el área transversal requerida y recalcular la columna con esta nueva relación de esbeltez, hasta que el área de la columna satisfaga la igualdad, cuidando que la relación de esbeltez sea menor de 40 y mayor de 180.

Una vez definida la sección transversal de la columna que cumpla con lo anterior,

se calcula el esfuerzo de compresión máximo permisible (C_{ma}), el cual tendrá que ser mayor o igual que el calculado por el procedimiento anterior. Si esto no es logrado, se tomará este esfuerzo máximo de compresión y se igualará a P/a .

Despejando obtendremos el área de la sección transversal, empezando de nuevo la rutina hasta que esto se haya cumplido.

4.4.7. DISEÑO DE RIGIDIZADOR SUPERIOR O PERFIL DE CORONAMIENTO

Este elemento de los tanques es de suma importancia porque, además de soportar el peso del techo, rigidiza al cuerpo evitando una posible deformación u ovalamiento en la parte superior del cuerpo, además de lograr un sello entre el cuerpo y el techo.

La viga de rigidez ubicada en el anillo superior debe ser proporcionada en un tanque de techo abierto para mantener la redondez cuando el tanque está sometido a carga de viento.

La viga de rigidez se encuentra localizada en la parte superior del cuerpo del tanque y en el lado exterior de la pared del tanque.

Si el anillo rigidizador está localizado a más de 0.6m (2 pies) por debajo del borde superior del cuerpo, el tanque será proporcionado con un ángulo rolado superior de 64 x 64 x 4,8 mm ($2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times 3/16$ pulg), para cuerpos de 5 mm ($3/16$ pulg) de espesor en el último anillo.

Con ángulos de 76 x 76 x 6,4 mm ($3 \times 3 \times 1/4$ pulg) Para cuerpos con espesores mayores a 5 mm ($3/16$ pulg), o para otros miembros de módulo de sección equivalentes.

La viga de viento superior está diseñada según la ecuación para los módulos de la sección mínima requerida.

$$Z = \frac{D^2 * H_1}{17} \left(\frac{V}{190} \right)^2 \quad (E .4.31)$$

Donde:

Z= Módulo de sección mínima requerida, cm³

D= Diámetro nominal tanque, m

H₁= Altura total del tanque, m.

V= Velocidad de diseño (con una ráfaga de 3 seg.)

4.4.8. ESTABILIDAD AL VOLTEO POR CARGA DE VIENTO.

El análisis de estabilidad por carga de viento tiene por objetivo determinar si el tanque deberá ser anclado mecánicamente, en función de la presión que el viento que se ejerce sobre el cuerpo del tanque.

La presión del viento utilizados en el análisis, será de 0,86 Kpa $(V/190)^2$, (18 lbf/ft²)(V/120)² en vertical de las áreas proyectadas sobre las superficies cilíndricas, y 1,44 Kpa $(V/190)^2$, (30 lbf/ft²) (V/120)², levantamiento en horizontal de áreas proyectadas cónicas.

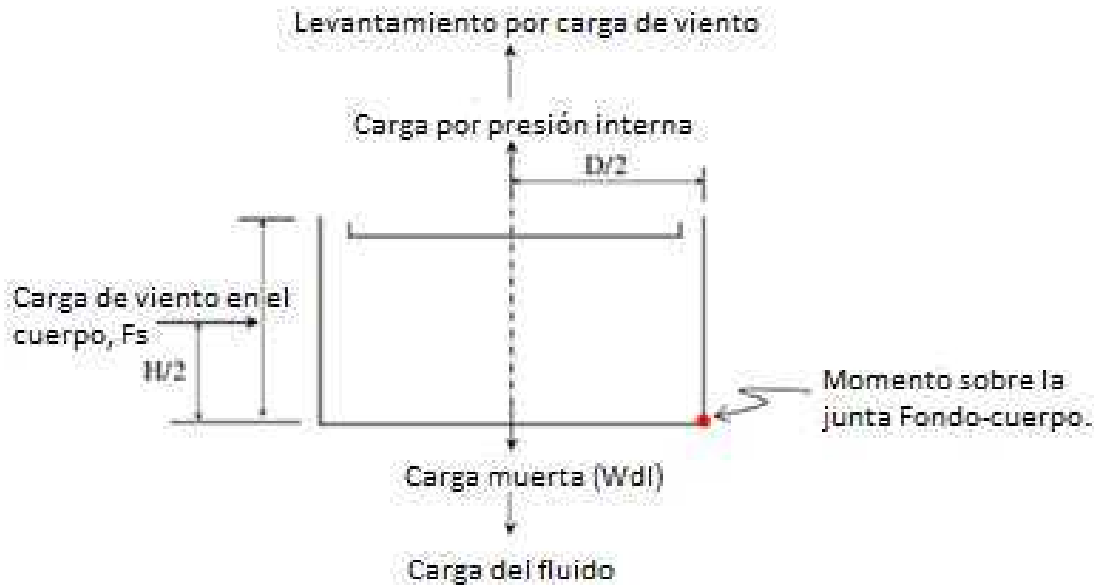


Figura 4.17 Diagrama de cargas debido a la presión del viento sobre el tanque de techo fijo.²⁹

La carga del viento (F_s) en el tanque se calcula multiplicando la presión del viento del área proyectada en el cuerpo.

Tanques sin anclaje, deberá cumplir los siguientes requisitos:

$$0.6 * M_w + M_p < \frac{M_D}{1.5} \quad (E .4.32)$$

$$M_w + 0.4 * M_p < \frac{M_D + M_F}{2} \quad (E .4.33)$$

Donde:

M_p = Momento sobre la junta fondo – cuerpo por presión interna. Y puede ser calculada por:

$$M_p = \left(\frac{1}{4} \pi * D^2 * P_i \right) * \frac{1}{2} D \quad (E .4.34)$$

M_w = Momento de vuelco sobre la junta fondo – cuerpo desde la horizontal más la

²⁹ API 650, Edición 2012

presión de la carga de viento, y es igual a:

$$F_T * L_T + F_S * L_S \quad (E .4.35)$$

Siendo:

F_T = Carga de viento sobre el techo.

F_S = Carga de viento sobre el cuerpo.

L_T = Altura desde el fondo hasta el techo.

L_S = Altura desde el fondo hasta el centro del cuerpo.

M_D = Momento sobre la junta fondo cuerpo por peso del cuerpo y techo, y se calcula:

$$M_D = 0.5 * d * W_D \quad (E .4.36)$$

M_F = Momento sobre la junta fondo-cuerpo debido al peso del líquido almacenado, es igual a:

$$M_F = \left(\frac{w * \pi * D}{1000} \right) * \frac{D}{2} \quad (E .4.37)$$

El peso del líquido (w), es el peso correspondiente a la cantidad de líquido en un anillo con gravedad específica 0.895, y una altura correspondiente a la mitad del líquido de diseño H .

w , debe ser menor que:

$$0.9 * H * D \quad \text{ó} \quad 59 * t_D * \sqrt{F_D * H} \quad (E .4.38)$$

F_D = Es el mínimo esfuerzo de fluencia para el fondo del cuerpo.

t_D = Espesor de las planchas del fondo del tanque.

4.4.9. DISEÑO POR CARGA DE SISMO.

El diseño sísmico de tanque de almacenamiento se lo realiza conforme al APENDICE “E” de la API 650.

El cual indica tres análisis principales:

Comprobar la estabilidad al vuelco.- Se calculará el momento de vuelco y se verificarán los pernos de anclaje según los requerimientos. El número, el tamaño de los pernos de anclaje y su resistencia se determinarán en función del momento de vuelco.

Esfuerzo máximo cortante en la base.

Altura libre requerida por oleaje.- Es esencial para los tanques de techo flotante poseer una altura libre suficiente para asegurar el sellado del techo y que permanezca dentro del cuerpo del tanque.

El componente impulsivo es la parte del líquido almacenado el cual se encuentra en la parte baja del tanque la cual se mueve como si fuera un sólido, Esta parte experimenta una misma aceleración y desplazamiento en el tanque.

El componente convectivo es la parte del líquido que se encuentra en la parte superior del tanque, la cual es libre para formar olas o un chapoteo. Este componente posee una frecuencia natural mucho más grande que el componente impulsivo.

El tanque se considera como que fuera rígido, aunque no es exactamente así. Esta consideración es para tanques atmosféricos y proporciona respuestas con suficiente exactitud. Pero solo para el cuerpo del tanque.

El diseño sísmico es aplicado solamente al cuerpo del tanque.

4.4.9.1 DATOS GEOMÉTRICOS DEL LUGAR PARA EL DISEÑO SÍSMICO.

Los datos geométricos de diseño de sitios para el diseño sísmico a ser utilizado en el análisis son los siguientes:

- Aceleración sísmica pico en la tierra. $S_p = 0,47 \text{ g}$
- Factor de importancia, $I = 1,50$.

- Site class. C
- Grupo Sísmico. IV.

La normativa API 650 no establece una región para PERU por lo que se debe tomar una sustitución para poder continuar con los cálculos.

- El 5% del parámetro de amortiguamiento de aceleración espectral de respuesta para un periodo de 0.2 seg.

$$S_5 = 2.5 S_p \quad (E .4.39)$$

- El 5% del parámetro de amortiguamiento de aceleración espectral de respuesta para un periodo de 1.0 seg.

$$S_1 = 1.25 S_p \quad (E .4.40)$$

4.4.9.2. ESTABILIDAD AL VUELCO.

Para tanques apoyados en un anillo de concreto, la ecuación que rige el momento en el anillo es:

$$M_r = \sqrt{[A_i(W_i * X_i + W_s * X_s + W_r * X_r)]^2 + [A_c(W_c * X_c)]^2} \quad (E .4.41)$$

Donde:

A_i = Coeficiente de aceleración de espectro para respuesta impulsiva, %g.

A_c = Coeficiente de aceleración de espectro para respuesta convectiva, %g.

W_i = Impulso efectivo por peso del líquido, N.

W_s = Peso total del tanque y sus accesorios, N.

W_r = Peso total del techo y sus accesorios más un 10% de carga por nieve, N.

W_c = Peso del líquido por efecto de convección (chapoteo), N.

X_i = Altura desde el fondo del tanque, al centro de acción de la fuerza sísmica lateral relacionada con la fuerza impulsiva de líquido para el momento del anillo la pared, m.

X_s = Altura desde el fondo hasta el centro de gravedad del tanque, m. X_r = Altura desde el fondo hasta el centro de gravedad del techo, m.

X_c = Altura desde el fondo del tanque al centro de acción de la fuerza lateral sísmica relacionada con la fuerza del líquido por convección.

La estabilidad al vuelco es importante para el diseño mecánico de tanques para determinar los requisitos de anclaje, como el número y tamaño de los pernos de anclaje para el tanque de almacenamiento.

Con este análisis se podrá identificar los factores que pueden afectar a una posible falla por sismo en el tanque además el análisis sísmico es una herramienta importante para el diseño de cualquier estructura metálica.

También es importante para el ingeniero civil los datos del diseño para facilitar la construcción de la base donde se apoya el tanque.

4.4.9.3. DISEÑO DE ACELERACIONES ESPECTRALES.

Los parámetros de aceleraciones espectrales están dados por las siguientes formulas:

- Aceleración espectral impulsiva, A_i

$$A_i = 2.5 * Q * F_a * S_u * \frac{1}{R_w} \quad (E . 4.42)$$

Pero

$$A_i \geq 0.007$$

Solo para sitios sísmicos clases E y F:

$$A_i = 0.5 * S_1 \left(\frac{I}{R_w} \right) = 0.875 * S_p * \frac{I}{R_w} \quad (E . 4.43)$$

Aceleración espectral conectiva, A_c

Para $T_c \leq T_L$,

$$A_c = K S_{D1} * \left(\frac{1}{T_c} \right) \left(\frac{I}{R_w} \right) = 2.5 * K * Q * F_a * S_0 * \left(\frac{T_s}{T_c} \right) \left(\frac{I}{R_w} \right) \quad (E .4.44)$$

Para $T_c > T_L$

$$A_c = K S_{D1} * \left(\frac{1}{T_c^2} \right) \left(\frac{I}{R_w} \right) = 2.5 * K * Q * F_a * S_0 * \left(\frac{T_s * T_L}{T_c^2} \right) \left(\frac{I}{R_w} \right) \quad (E .4.45)$$

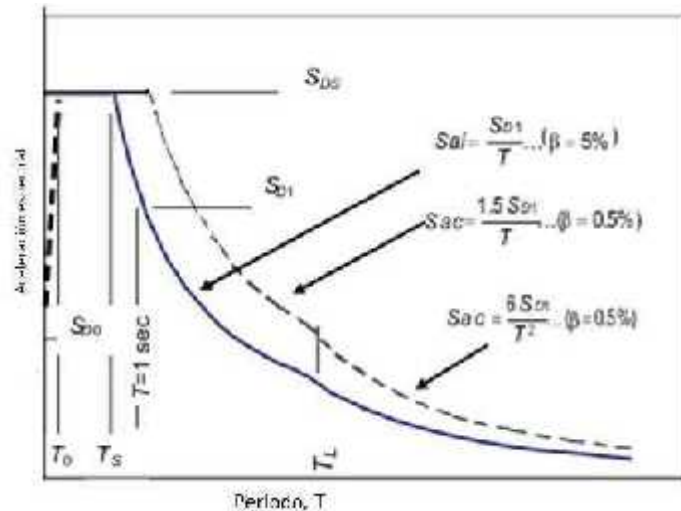


Figura 4.18 Respuesta espectral para el diseño de tanques de almacenamiento apoyados en tierra.³⁰

4.4.9.4 PARÁMETROS REQUERIDOS PARA EL DISEÑO SÍSMICO.

Periodo Convectivo (chapoteo), T_c .

Los movimientos sísmicos que se puedan generar, excitan al líquido contenido en el tanque de almacenamiento provocando un chapoteo (efecto de olas en el interior del tanque).

Por este motivo se requiere de una distancia mínima entre el techo y la parte superior del tanque para impedir que las ondas generadas por el chapoteo del líquido impacten con el cuerpo del tanque.

Muchos de los tanques no poseen un suficiente espacio libre por lo que las ondas

³⁰ API 650, Edición 2012

puede generar esfuerzos no previstos entre el techo y el cuerpo del tanque por lo que se tomara en cuenta las siguientes formulas:

$$T_c = 1.8K_S * \sqrt{D} \quad (E .4.46)$$

Donde:

K_S = Coeficiente del periodo del chapoteo y viene definido por:

$$K_S = \frac{0.578}{\sqrt{t_i} \cdot h \left(\frac{3.68 * H}{D} \right)} \quad (E .4.47)$$

O también puede ser calculado por el siguiente gráfico:

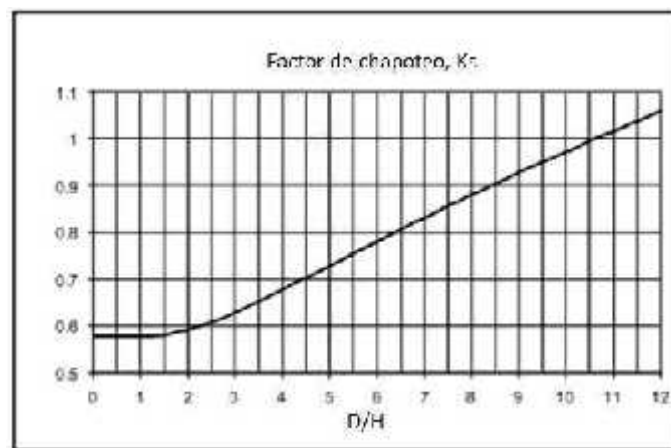


Figura 4.19 Coeficiente del periodo de chapoteo, K_S ³¹

Periodo de Transición de Dependencias Regionales Para un Periodo más Largo de Movimiento de Tierras. T_L

En la normativa API 650 detalla que para regiones fuera de USA, T_L se tomara como 4 segundos.

Factor de escala Q.

Se tomará como factor $Q = 1$ debido a que la región es fuera de USA.

Coeficiente de aceleración de sitio base (periodo de 0.2 seg.) F_a .

El coeficiente de aceleración de sitio base con un periodo de 0.2 seg, F_a es

³¹ API 650, Edición 2012

determinado rápidamente por la siguiente tabla.

	Mapeado Máximo Considerado aceleraciones sísmicas de respuesta espectral en tiempos cortos o periodos cortos, F_a				
Clase de sitio	$S_s = 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s = 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1	1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	A	A	A	A	A
a.- Se requiere un análisis geotécnico y un análisis dinámico.					

Tabla 4.5 Mapeado máximo considerado para aceleraciones sísmicas en periodos cortos.³²

Para el presente cálculo se tomará como clase de sitio C y un $S_p = 0.47$

Si el:

$$S_s = 2.5 S_p \quad (E .4.48)$$

$$S_s = 0.575 \quad (E .4.49)$$

Para encontrar el valor de F_a debe interpolar entre $S_s = 0.50$ y $S_s = 0.75$. De lo que se obtiene: **$F_a = 1.17$** .

Coeficiente de velocidad en sitio base (periodo 1.0 Seg.) F_v .

El coeficiente de velocidad en sitio, F_v , es determinado directamente por la tabla siguiente.

	Mapeado Máximo Considerado aceleraciones sísmicas de respuesta espectral en periodos de 1 seg. F_v				
clase de sitio	$S_1 = 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 = 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	A	A	A	A	A
a.- Se requiere un análisis geotécnico y un análisis dinámico.					

Tabla 4.6 Mapeado máximo considerado para aceleraciones sísmicas en periodos de 1 segundo.³³

³² API 650, Edición 2012

³³ API 650, Edición 2012

Para el presente cálculo se tomó como clase de sitio C y un $S_p = 0.47$

Si el:

$$S_1 = 2.5S_p \quad (E .4.50)$$

$$S_1 = 0.2875 \quad (E .4.51)$$

Fa debe ser interpolado entre los valores correspondientes a $S_1 = 0.2$ y $S_1 = 0.3$,

De lo que se obtiene:

$$F_v = 1.5125 \quad (E .4.52)$$

Factores de respuesta de modificación de los métodos ASD, R_w .

El factor de modificación de respuesta en tanques de almacenamiento será diseñado y detallado según estas disposiciones podrá ser inferior o igual.

Sistema de anclaje	Rwi (Impulsivo)	Rwc (Convectivo)
Auto anclaje	3.5	2
Anclaje mecánico	4	2

Tabla 4.7 Factores de modificación de respuesta R_w ³⁴

El tanque se diseña para ser anclado mecánicamente, Por lo tanto, los factores de modificación de respuesta para:

$$R_{wi}=4 \text{ y } R_{wc} = 2.$$

Los parámetros de diseño calculados son resumidos en la siguiente tabla.

Parámetros	Impulsivo	Convectivo
Q	1	1
Fa	1.17	1.17
Fv	1.525	1.525
I	1.25	1.25
Rw	4	2
Tc	6.33	6.33
TL	4	4
Sp	0.47	0.47
So	0.47	0.47
SDs	0.673	0.673
K	1.5	1.5

Tabla 4.8 Resumen de parámetros.³⁵

³⁴ API 650, Edición 2012

³⁵ API 650, Edición 2012

Con los datos obtenidos se procede a calcular la aceleración espectral impulsiva, A_i , y la aceleración espectral convectiva, A_c . Basado en las siguientes ecuaciones.

De lo que se obtiene:

- **Aceleración espectral impulsiva, A_i**

$$A_i = 2.5 * Q * F_u * S_D * \left(\frac{I}{R_w} \right) \quad (E .4.53)$$

- **Aceleración espectral convectiva, A_c**

Para $T_c > T_L$,

$$A_c = K S_{D1} * \left(\frac{1}{T_c^2} \right) \left(\frac{I}{R_w} \right) = 2.5 * K * Q * F_u * S_D * \left(\frac{T_s * T_L}{T_c^2} \right) \left(\frac{I}{R_w} \right) \quad (E .4.54)$$

4.4.9.5. PESO EFECTIVO DEL PRODUCTO.

Los pesos efectivos W_i y W_c , deben ser determinados multiplicando el peso del producto total, W_p por las relaciones siguientes:

Si $\frac{D}{H} \geq 1.333$, el peso efectivo impulsivo, W_i

$$W_i = \frac{t_1 \cdot h \left(0.866 * \frac{D}{H} \right)}{0.866 * \frac{D}{H}} * W_p \quad (E .4.55)$$

Si $\frac{D}{H} < 1.333$, el peso efectivo impulsivo, W_i

$$W_i = \left[1 - 0.218 * \frac{D}{H} \right] * W_p \quad (E .4.56)$$

El peso efectivo convectivo es:

$$W_c = 0.23 * \frac{D}{H} * t_1 \cdot h \left(\frac{3.67 * H}{D} \right) * W_p \quad (E .4.57)$$

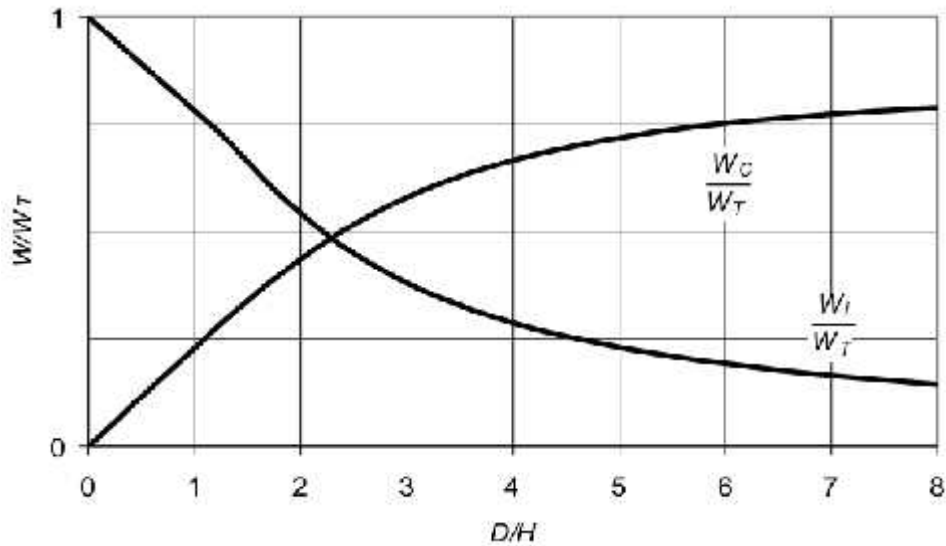


Figura 4.20 Peso efectivo de la proporción del líquido.³⁶

4.4.9.6. CENTRO DE ACCIÓN PARA LAS FUERZAS LATERALES EFECTIVAS.

El momento en la base del tanque sobre el centro de la acción de las fuerzas laterales del líquido es definido por el momento de giro en el tanque.

El centro de acción de las fuerzas impulsivas laterales del cuerpo, el techo y accesorios del tanque se suponen que actúan a través del centro de gravedad del de todo el conjunto.

La altura desde el fondo del tanque al centro de acción de las fuerzas laterales por carga sísmica aplicadas sobre los pesos efectivos impulsivos y convectivos (W_I, W_C).

Las distancias X_I, X_C , correspondientes a los pesos efectivos se determinarán multiplicando la máxima altura de diseño del líquido (máxima altura a la que puede llegar el líquido, H), por la relación $\frac{X_I}{H}$ y $\frac{X_C}{H}$ respectivamente.

Estas distancias de determinan según las ecuaciones siguientes:

³⁶ API 650, Edición 2012

) Para fuerzas impulsivas.

Para $\frac{D}{H} \geq 1.333$

$$X_t = 0.375 * H \quad (E .4.58)$$

Para $\frac{D}{H} < 1.333$

$$X_t = \left(0.5 - 0.094 * \frac{D}{H} \right) * H \quad (E .4.59)$$

) Para fuerzas conectivas.

$$X_t = \left[1 - \frac{c_1 h \left(\frac{3.67 * H}{D} \right) - 1}{\frac{3.67 * H}{D} * s_1 h \left(\frac{3.67 * H}{D} \right)} \right] * H \quad (E .4.60)$$

Las relaciones antes mencionadas también pueden ser ilustradas gráficamente.

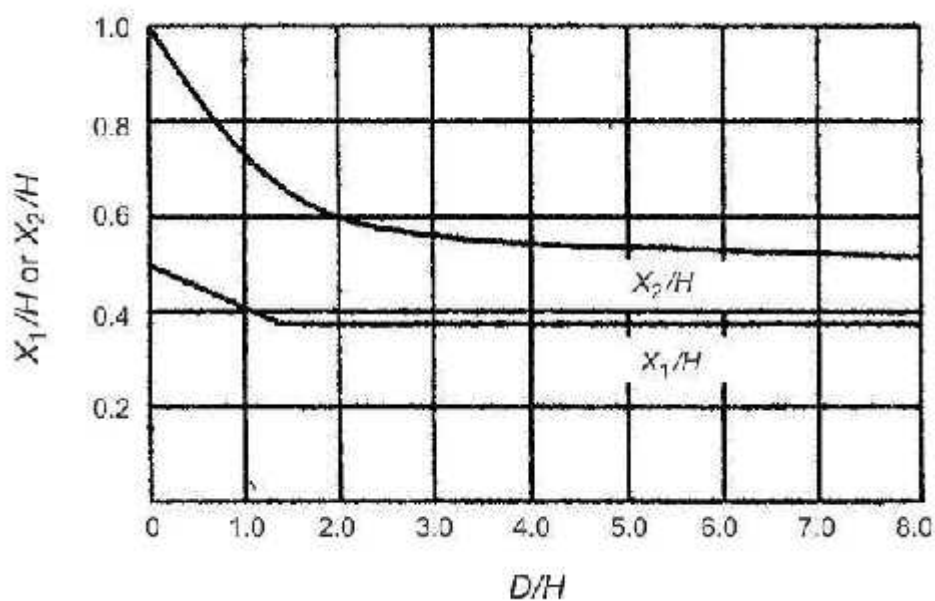


Figura 4.21 Centro de acción de fuerzas efectivas³⁷

4.4.9.7. FUERZA DE CORTE EN LA BASE.

La fuerza de corte en la base viene definida por:

³⁷ API 650, Edición 2012

$$V = \sqrt{V_i^2 + V_c^2} \quad (E .4.61)$$

Donde:

V_i = Fuerza impulsiva y es definida por:

$$V_i = A_i * (W_s + W_r + W_f + W_l) \quad (E .4.62)$$

W_i = Impulso efectivo por peso del líquido, N.

W_s = Peso total del tanque y sus accesorios, N.

W_r = Peso total del techo y sus accesorios más un 10% de carga por nieve, N.

W_l = Peso del líquido por efecto de convección (chapoteo), N.

W_f = Peso total del fondo del tanque, N.

V_c = Fuerza convectiva y es definida por:

$$V_c = A_c * W_l \quad (E .4.63)$$

4.4.9.8. RESISTENCIA AL VOLTEO.

En la normativa API 650 contempla tres parámetros a considerar para el volteo por sismo.

- El anclaje.
- Ancho de la plancha anular.
- La compresión en el fondo del cuerpo

Anclaje

La resistencia al momento de volteo del diseño del anillo anular del tanque, será calculado por el peso del cuerpo del tanque, el peso del techo W_{rs} , y por el peso de una parte del contenido del tanque adyacente al cuerpo del tanque sin anclaje o provisto de anclaje.

El anclaje requerido es verificado por la relación de anclaje. Para determinar si son

autos anclados o anclados mecánicamente.

Relación de anclaje	Criterio.
$J \leq 0.785$	El tanque esta auto-anclado
$0.785 < J \leq 1.54$	El tanque tiende a elevarse, pero el tanque se encuentra estable para el diseño de cargas provistas para la compresión del cuerpo. El tanque esta auto – anclado
$J > 1.54$	El tanque no es estable y no puede ser auto anclado a la carga de diseño. Modificar la plancha anular si $L > 0.035D$ O añadir anclaje mecánico.

Tabla 4.9 Relación de anclaje.³⁸

La relación de anclaje viene dada por:

$$J = \frac{M_r}{D^2[w * (1 - 0.4 A) + w - 0.4W_t]} \quad (E .4.64)$$

Donde:

w = Peso del cuerpo del tanque y el techo soportado en el cuerpo y se define por:

$$w = \frac{W}{\pi * D} + W \quad (E .4.65)$$

w = Fuerza de resistencia del anillo viene dado por:

$$w = 99 * t_a * \sqrt{F_y * H * G} \leq 201.1 * H * D * G \quad (E .4.66)$$

Donde:

F_y = Esfuerzo de fluencia mínimo para la plancha anular = 250 Mpa. (Acero A36)

H = Altura máxima de diseño del líquido, m.

t_a = espesor de la plancha, mm

G = Gravedad específica efectiva, incluido el efecto sísmico vertical.

$$G = G * (1 - 0.4 * A) \quad , G=1; \text{ Gravedad específica}$$

A = Coeficiente de aceleración vertical para terremotos. ($A = 0.7$)

³⁸ API 650, Edición 2012

W_{ti} = Elevación debido a la presión del producto. ($W_{ti} = 0$)

W = Carga sobre el techo que actúan sobre el cuerpo, incluyendo el 10% de la carga de nieve (peso de techo)

Compresión del cuerpo.

El máximo esfuerzo de compresión para el cuerpo del tanque en el fondo para que pueda ser anclado mecánicamente en determinado por la siguiente fórmula.

$$\sigma_c = \left(w_t(1 + 0.4A_v) + \frac{1.273 * M_r}{D^2} \right) * \frac{1}{1000 * t_s} \quad (E .4.67)$$

Para el cálculo, el máximo esfuerzo de compresión tiene que ser menor que el esfuerzo permisible F_c , la cual se determina por:

Cuando:

$$\frac{G * H * D^2}{t^2} \geq 44 \quad ; \quad F_c = \frac{83 * t_s}{D} \quad (E .4.68)$$

Cuando:

$$\frac{G * H * D^2}{t^2} < 44 \quad ; \quad F_c = \frac{83 * t_s}{2.5 * D} + 7.5 * \sqrt{G * H} \quad (E .4.69)$$

Y

$$F_c = 0.5 F_t \quad (E .4.70)$$

4.4.10. DISEÑO DE ANCLAJE

Una vez encontrado que el tanque no es auto anclado para las cargas de diseño, el tanque debe ser anclado mecánicamente, (pernos de anclaje).

Los pernos de anclaje están dimensionados para proporcionar la resistencia mínima de anclaje, la carga de diseño por volteo debido a carga sísmica.

Y es determinada por:

$$w_A = \left(\frac{1.273 * M_r}{D^2} - w_t * (1 - 0.4 * A_v) \right) + w_{ti} \quad (E .4.71)$$

Perno de Anclaje

- El espacio entre los pernos de anclaje no debe exceder 3 m (10 ft).
- El esfuerzo a la tensión en los pernos de anclaje deben ser verificados con el esfuerzo permisible a la tensión, el cual es 0,8 veces el esfuerzo a la fluencia (Sy).
- El diámetro mínimo de los pernos de anclaje es 1 in.

Materiales

Los materiales tomados para el perno de anclaje es ASTM A 193M B7, y se utilizara una rosca de acuerdo con ASME B1.13M.

- Pernos hasta e incluyendo 1 in de diámetro (UNC Class 2A)
- Tuercas para pernos hasta e incluyendo 1 in de diámetro (UNC Class 2B)
- Pernos 1,125 in de diámetro y mayores (8N Class 2A)
- Tuercas para pernos 1,125 de diámetro y mayores (8N class 2B)

Debido a recomendaciones de diseño la tuerca a utilizarse será A194 Grado 2H.

El diámetro ideal del perno de anclaje es aquel que permita que el esfuerzo a tracción real del perno sea menor a su esfuerzo permisible.

En vista que se pretende el uso de un perno de anclaje de 1 1/2 pulg, ASTM A 193M B7, se obtienen:

$$S_u = 125 K \quad (E .4.72)$$

Y un esfuerzo de fluencia:

$$S_y = 105 K ; 723.94 \frac{N}{m^2} \quad (E .4.73)$$

El esfuerzo a la tensión por carga de levantamiento aplicada debe ser verificada con el esfuerzo permisible a la tensión, el cual es 0.8 veces el esfuerzo a la fluencia (S_y).

Según la normativa API 650, expresa que los pernos de anclaje no deben superar los 3m de separación como máximo y un metro mínimo por lo que se ha decidido tomar 3 metros de separación. El valor de diámetro por lo tanto el esfuerzo a la tensión de cada perno de anclaje puede ser determinado por:

$$\sigma_b = \frac{W_A}{N * A_b} \quad (E .4.74)$$

Donde:

W_A = Resistencia mínima de anclaje

N = número de pernos

A_b = Sección transversal del perno.

4.4.11. SISTEMA DE VENTILACION

Para evitar la sobrecarga de la cubierta del techo o de la membrana sellado, se deberá proporcionar de rejillas de ventilación automática de purga (interruptores de vacío), para la ventilación de aire hacia o desde la parte inferior de la cubierta para cuando se llene o vacíe el depósito.

El fabricante deberá determinar y recomendar el número y tamaño de los orificios de purga sobre la base de máximo de llenado y vaciado de las tasas especificadas. Cada abertura de purga automática (interruptor de ventilación de vacío) deberá estar cerrado en todo momento, excepto cuando sea necesario para estar abierto a aliviar el exceso de presión de vacío, de acuerdo con el diseño del

fabricante. Cada abertura de purga automática (interruptor de ventilación de vacío) deberá estar equipado con una tapa sellada y de paleta, trampa, o dispositivo de cierre de otras.

Las rejillas de ventilación automáticas de purga o las válvulas, sólo entrarán en funcionamiento cuando el tanque se llena o vacía.

Permite el movimiento del producto, durante el vaciado, facilita que el aire ingrese entre el espacio bajo el techo y el producto drene del tanque, evitando que así se genere vacío.

Del mismo modo durante el llenado, permite que el aire bajo el techo pueda escapar cuando el tanque está lleno, por tanto, evitar la formación de una bolsa de vapor y el aumento de presión.

En el caso de vaciado, el producto cuando el vaciado inicia, la válvula está cerrada. El producto seguirá fluyendo fuera del tanque hasta que la varilla de empuje en la válvula esta se abre dejando que el aire fluya libremente, ventilando el espacio debajo de la cubierta.

En el caso de llenado, el producto empieza a llenar, ocupando el espacio de aire debajo de la cubierta, por lo tanto, empujando el aire - vapor a través de la válvula. La válvula se cierra después que todo el aire por debajo del techo ha sido expulsado.

Diseño del Sistema de Ventilación

El sistema de ventilación se diseñará mediante API 2000 y su tamaño por medio de la ecuación general de flujo. Los requisitos para la capacidad de ventilación normal especificada en el API 2000 que es la capacidad total de ventilación normal,

será por lo menos la suma de los requisitos de ventilación para el movimiento de petróleo y el efecto térmico.

Datos de diseño para la ventilación.

Capacidad nominal = 200.000 galones, 757 m³

Punto de inflamación = 52° C

Diseño de tasa de llenado, $V_i = 450 \text{ gl/m} \quad 102.21 \text{ m}^3/\text{h}$

Diseño de tasa de vaciado, $V_o = 250 \text{ gl/m} \quad 46.79 \text{ m}^3/\text{h}$

Los valores de diseño de tasa de llenado y vaciado son proporcionados debido a la experiencia.

La capacidad de ventilación, tanto para el vaciado (ventilación de vacío) y el llenado (ventilación de presión) tiene que ser determinada según API 2000 antes de que el requerimiento de ventilación de purga pueda ser calculado. El caudal máximo de la ventilación de vacío y de ventilación de presión se utiliza para determinar el tamaño mínimo de la abertura de purga.

Ventilación de Vacío (Vaciado)

El requisito para la capacidad de venteo para el máximo movimiento de salida del líquido del tanque es de 15,86 m³/h de aire, por cada 15,9 m³/h de tasa máxima en vacío en cualquier punto de inflamación, caudal de aire libre para el movimiento líquido.

El flujo de vacío será:

$$V_{v1} = \frac{V_o}{15.9} * 15.86 = \frac{46.79}{15.9} * 15.86 = 46.67 \quad (E .4.75)$$

Presión de Ventilación (Llenado)

El requisito para la capacidad de ventilación para el máximo movimiento de líquido de un tanque será 17 m³/h de aire libre por cada 15,9 m³/h (100 barriles) de la tasa máxima de llenado, caudal de aire libre para el movimiento de aire líquido:

El flujo de la presión requerida será:

$$V_{p1} = \frac{V_1}{15.9} * 17 = \frac{120.21}{15.9} * 17 = 128.53 \quad (E . 4.76)$$

Por lo tanto, el flujo máximo, Q, es el caudal de vacío y viene dado por:

$$Q = K * A * \sqrt{2 * g * H} \quad (E . 4.77)$$

Donde:

H = Altura de descarga.

$$Q = \frac{\Delta P}{\gamma} ; \frac{\Delta P = D}{P_e} \frac{d_p}{d_a} \quad (E . 4.78)$$

g = Gravedad, 9,81 m/s²

A = Área de ventilación.

K= Coeficiente de descarga, 0,62 por circular.

Donde el área (A) es

$$A = \frac{Q}{K} * \sqrt{\frac{\gamma}{2 * g * \Delta P}} = \frac{46.67}{0.62} * \sqrt{\frac{1.2}{2 * 9.81 * 81.86}} = 0.051 \text{ m}^2 \quad (E . 4.79)$$

Por lo tanto el tanque tendrá una boquilla de ventilación de 4 pulg de diámetro en el techo, en el caso de que el número mínimo sea de 1 se podrán instalar 2 ventilaciones en caso de que una dejara de operar o tenga un mal funcionamiento esto se decidirá en la ingeniería de detalle.

4.4.12. SISTEMA DE DRENAJE DEL TANQUE.

El drenaje del techo será por la superficie circular del tanque, se drenara eficazmente el agua lluvia desde el techo fijo, sin causar el ingreso de agua y la contaminación al producto contenido.

La precipitación en la superficie del techo fijo cónico con pendiente, se desplazara al contorno del cuerpo del tanque, llegando a la parte inferior del tanque, en la parte inferior estará instalado un cubeto con un caja de buzón de drenaje.

El sumidero se drena a través de una tubería cerrada que opera dentro del cubeto de concreto, el objetivo es evitar que el producto se contamine.

Para el diseño del tanque es necesario conocer la cantidad de lluvia promedio en mm. Por lo que se basara en estudios realizados por el Servicio Nacional de Metrología e Hidrología (SENAMHI).

La precipitación máxima en el lapso de 24 horas fue de 66 mm. En Concentradora Toquepala, pero para efectos de cálculo se tomar en 50 mm/h como precipitaciones promedio en el Perú.

Una vez determinado la cantidad de agua lluvia, es necesario determinar la tubería de drenaje que se va a utilizar para ello es necesario pre-seleccionar un diámetro de tubería para que después de los cálculos pertinentes se acepte o rechace el diámetro seleccionado.

Par este tipo de tanque será un boquilla cuadrada tipo compuerta de 200mm x 400mm de largo, soldada al tanque con una plancha de refuerzo, bridada a una tubería de drenaje.

4.4.13. SISTEMA CONTRA INCENDIOS Y CAMARA DE ESPUMA

El sistema contra incendios en un tanque de almacenamiento es de vital importancia debido al tipo de líquido que se almacena por lo general inflamable por lo que un incendio podría provocar daños de gran magnitud.

En techos fijos por lo general se da debido a la fuga de gases, la principal causa de incendio en los techos fijos es la cantidad de calor existente en el ambiente por lo que debe ser controlado mediante sensores.

El sistema contra incendios debe ser diseñado en base a la normativa NFPA-11 la cual detalla los parámetros a utilizar en techos fijos.

El sistema contraincendio, está conformado por un sistema de agua ubicado en la parte exterior del tanque, conformado por una bomba eléctrica, un sistema de tuberías y boquillas aspersores en forma de toroide en el anillo superior del tanque.

El sistema de espuma se ubicara en la parte interna del tanque, conformado por una cámara de espuma, que viene alimentado de un tanque de espuma blader.

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. CALCULOS DE DISEÑO

Tomando en cuenta los parámetros de diseños establecidos en el capítulo anterior, se elaborará la ingeniería de detalle. Primeramente, se comenzará diseñado y dimensionando el cuerpo del tanque, después se procederá a dimensionar el fondo del cuerpo para posterior terminar con el diseño del techo.

Además, se realizará el cálculo de sismo y viento para garantizar un buen diseño. También se detallarán los procedimientos de soldadura, para cada parte del tanque a dimensionar.

Lo interesante de este capítulo se fundamenta en el análisis del diseño mediante el uso de paquetes informáticos y el AutoCAD, combinado con el desarrollo del cálculo manual, con el fin de esquematizar un proceso de cálculo y diseño eficiente y veraz.

Datos de Diseño:

Diámetro Interior : $D = 35 \text{ pies} \quad 10.50 \text{ m}$

Altura : $H = 32 \text{ pies} \quad 9.622 \text{ m}$

Corrosión permisible : $C.A. = 1.6 \text{ mm}$

Material : ASTM A36

Esfuerzo de Diseño : $S_d = 60 \text{ MPa}$

Esfuerzo de Prueba Hidrostática : $S_t = 171 \text{ Mpa}$

Producto : Diesel B5

Gravedad Especifica del producto : $G = 0.895 \text{ g / c }^3$

Gravedad Especifica de diseño : $G = 1 \text{ g / c }^3$

Capacidad de Diseño : 5,480 Barriles = 230,160 Galones

Capacidad de Operación : 4,762 Barriles = 200,000 Galones

Las planchas serán de formato de 8 pies ancho x 20 pies de largo (2.4 x 6 m).

El número de anillo en el cuerpo, serán calculado con relación a la altura del casco entre el ancho de plancha:

$$N = \frac{H}{a} = \frac{9.622}{2.4} = 4 \quad (E .5.1)$$

Por lo tanto el número de anillos será: 4

5.1.1 CALCULO DEL CUERPO DEL TANQUE.

Para el diseño del cuerpo se basará en el método de un pie, por lo que se recurrirá a las Ecuaciones.

El espesor de diseño para cada anillo, será calculado por la siguiente ecuación:

$$t_d = \frac{4.9 * D * (H - 0.3) * G}{S_d} + C \quad (E .4.1)$$

El espesor de diseño para prueba hidrostáticas de cada anillo, será calculado por la siguiente ecuación:

$$t_t = \frac{4.9 * D * (H - 0.3)}{S_t} \quad (E .4.2)$$

Donde:

t_d = Espesor de diseño (mm)

t_t = Espesor de diseño para prueba hidrostáticas (mm)

S_d = Esfuerzo admisible para la condición de diseño (Mpa)

S_t = Esfuerzo admisible para las condiciones de prueba hidrostática (Mpa)

D = Diámetro nominal del tanque (m)

H = Nivel de diseño del líquido (m), varía de acuerdo a nivel de cada anillo.

G = Gravedad específica de diseño.

C = Tolerancia de corrosión

EL material a usar será acero ASTM A36

Especificación	Mínimo esfuerzo a la fluencia. (Mpa)	Mínimo esfuerzo a la tensión. (Mpa).	Esfuerzo de diseño (Mpa).	Esfuerzo de prueba hidrostática (Mpa).
A 36	250	400	160	171

Tabla 5.1 Características acero ASTM A36³⁹

Cálculo del espesor para el **primer anillo**.

Espesor de diseño:

$$t_d = \frac{4.9 * 10.50 * (9.622 - 0.3) * 1.0}{160} + 1.6 \quad (E .5.2)$$

$$t_d = 4.5 \quad m$$

Espesor para prueba hidrostática:

$$t_t = \frac{4.9 * 10.50 * (9.622 - 0.3)}{171} \quad (E .5.3)$$

$$t_t = 2.8 \quad m$$

Cálculo del espesor para el **segundo anillo**.

Para el cálculo del segundo anillo varía la altura, será la altura del tanque menos el ancho de la plancha:

$$H_1 = H - A = 9.622 - 2.4 = 7.222 \text{ mm}$$

³⁹ API 650, Edición 2012

Donde:

H1: Altura de cálculo del segundo anillo.

Espesor de diseño:

$$t_d = \frac{4.9 * 10.50 * (7.222 - 0.3) * 1.0}{160} + 1.6 \quad (E .5.4)$$

$$t_d = 3.8 \quad m$$

Espesor para prueba hidrostática:

$$t_t = \frac{4.9 * 10.50 * (7.222 - 0.3)}{171} \quad (E .5.5)$$

$$t_t = 2.0 \quad m$$

Cálculo del espesor para el **tercer anillo**.

Para el cálculo del segundo anillo varia la altura, será la altura del tanque menos el ancho de la plancha:

$$H2 = H - A = 7.222 - 2.4 = 4.822 \text{ mm}$$

Donde:

H2: Altura de cálculo del tercer anillo

Espesor de diseño:

$$t_d = \frac{4.9 * 10.50 * (4.822 - 0.3) * 1.0}{160} + 1.6 \quad (E .5.6)$$

$$t_d = 3.0 \quad m$$

Espesor para prueba hidrostática:

$$t_t = \frac{4.9 * 10.50 * (4.822 - 0.3)}{171} \quad (E .5.7)$$

$$t_t = 1.3 \quad m$$

Cálculo del espesor para el **cuarto anillo**.

Para el cálculo del segundo anillo varia la altura, será la altura del tanque menos el ancho de la plancha:

$$H_3 = H - A = 4.822 - 2.4 = 2.422 \text{ mm}$$

Donde:

H₃: Altura de cálculo del cuarto anillo.

Espesor de diseño:

$$t_d = \frac{4.9 * 10.50 * (2.422 - 0.3) * 1.0}{160} + 1.6 \quad (E .5.8)$$

$$t_d = 2.2 \text{ m}$$

Cálculo del espesor para prueba hidrostática:

$$t_t = \frac{4.9 * 10.50 * (2.422 - 0.3)}{171} \quad (E .5.9)$$

$$t_t = 0.6 \text{ m}$$

De lo que resulta:

Acero A36; Sd= 23.000 Psi, St= 24.900 Psi.									
G=1.0									
	Ancho Planchas	Altura de Anillos	Altura de Anillos	Espesores de Diseño Td		Espesores prueba Hidrostática Tt		Espesor Usado*	
Anillo N°	Pies	Pies	metros	mm.	pulg.	mm.	pulg.	mm.	pulg.
1	8	32	9.622	4.598	0.181	2.805	0.110	7.94	5/16
2	8	24	7.222	3.826	0.151	2.083	0.082	6.35	1/4
3	8	16	4.822	3.054	0.120	1.361	0.054	6.35	1/4
4	8	8	2.422	2.282	0.095	0.638	0.025	6.35	1/4
*Espesor Comercial.									

Tabla 5.2 Espesores resultantes para el cuerpo del tanque.⁴⁰

⁴⁰ Elaboración Propia

Al obtener tanto los espesores de diseño y de prueba hidrostática se toma el mayor espesor, este será el valor del espesor a usar para el cuerpo del tanque.

5.1.2. CALCULO DEL FONDO DEL TANQUE.

Para el diseño del tanque se obtendrá de la suma de espesor mínimo según API 650 más espesor de corrosión.

Espesor mínimo dado por API 650, es 6 mm (1/4 pulg.)

Espesor por corrosión, es considerado C.A. = 1.6 mm

El espesor sería de 7.6 mm, pero al no ser un espesor de plancha comercial, se opta por considerar una plancha de mayor espesor.

Por lo tanto, el espesor de la plancha del fondo del tanque será: 7.94 mm (5/16 pulg.).

Ancho mínimo de traslape, según API 650, es de 25 mm (1 pulg.).

Ancho mínimo de plancha, según API 650, es 1800 mm.

Ancho proyectado fuera del cuerpo, según API 650, es 50 mm.

5.1.3. CALCULO DE TECHO FIJO Y VIGAS

La pendiente según API 650, para techos tipo cónico deberá ser 6.35 (1/4).

De esto se obtendrá la altura del techo fijo.

$$H_t = r_t \times p \quad (E . 5.10)$$

H_t = Altura del tanque (cm)

r_t = Radio del tanque (m)

La altura del techo cónico será:

$$H_t = 5.250 \times 6.35 \quad (E . 5.11)$$

$$H_t = 33.34 \text{ cm} \approx 334 \text{ mm}$$

La altura del diseño a considerar para el techo cónico será:

$$H_t = 338 \text{ m}$$

El ángulo de inclinación del techo no deberá ser menor de 9.28° ni mayor de 37°, por esta razón se utilizará un ángulo de inclinación de 27°. ($\theta = 27^\circ$)

Obteniendo el ángulo de inclinación será de acuerdo:

$$t = \frac{D}{400 \sin \theta} \quad (E .5.12)$$

Donde:

t = Espesor de techo (pulg)

θ = Angulo de inclinación (°)

D = Diámetro de tanque (Pies)

$$t = \frac{35}{400 \sin (27^\circ)} \quad (E .5.13)$$

$$t = 0.193 \text{ p} .$$

El espesor del techo cónico se considerara una plancha comercial en el mercado, por lo tanto será plancha de espesor de 5/16 pulg.

$$t = \frac{5}{16} \text{ p} . \quad (E .5.14)$$

Cálculo de cantidad de vigas o largueros

Para la calcular la cantidad de las vigas del techo, nos basamos según, API establece que el espacio máximo entre las vigas será de 2π pies (1,915 mm. ó 75.39 pulg.), en el perímetro exterior del tanque, se deduce:

Perímetro Tanque:

$$P = \pi \times D = \pi \times 10.50 \text{ m} \quad (E .5.15)$$

$$P = 32.987 \text{ m}$$

Para obtener el número de vigas:

$$n = P/L \quad (E .5.16)$$

Donde:

n = Numeros de vigas

P = Perimetro (m)

L = longitud de espaciamento perimetral, según API 650.

$$n = 32.987/1.915 \quad (E .5.17)$$

$$n = 17.226 \approx 18$$

Longitud de espaciamento perimetral real:

$$L_e = P/n \quad (E .5.18)$$

$$L_e = 32.987/18 \quad (E .5.19)$$

$$L_e = 1.833 \text{ m}$$

Angulo de espaciamento de las vigas:

$$\theta = \frac{360^\circ}{n} \quad (E .5.20)$$

$$\theta = \frac{360^\circ}{18} = 20^\circ \quad (E .5.21)$$

Se usarán 18 vigas, distribuidos con una longitud de espaciamento perimetral de 1.862m y con un ángulo de separación de 20°.

Selección de las vigas o largueros

Para el cálculo de las vigas según la norma API 650, se debe evitar el uso de largueros muy pesados limitando su longitud de 6,096 a 7,315 mm (20 a pies), y las fuerzas repartidas debido al peso de las planchas del techo.

Se considerada las vigas con una longitud de 5.070 mm de longitud.

Para selección de las vigas se determinará el peso del techo de acuerdo a las siguientes dimensiones geométrica del techo:

Diámetro interior del tanque: $D = 10.50 \text{ m}$

Altura del techo: $H_t = 338 \text{ mm} = 0.338 \text{ m}$

Longitud de la Cúpula:

$$L_C = \sqrt{r^2 + h^2} \quad (E .5.22)$$

$$L_C = \sqrt{5.25^2 + 0.338^2} \quad (E .5.23)$$

$$L_C = 5.261 \text{ m}$$

Área del techo es: A_t

$$A_t = \pi \times r \times L_C \quad (E .5.24)$$

$$A_t = \pi \times 5.25 \times 5.261 \quad (E .5.25)$$

$$A_t = 86.77 \text{ m}^2$$

Peso de techo será:

$$W_t = A_t \times t \times \delta \quad (E .5.26)$$

Donde:

W_t = Peso de techo (kg)

A_t = Area de techo o cúpula (m²)

t = Espesor de plancha (mm)

δ = Densidad de acero A36 ($7.85 \text{ k} / \text{m}^2 * \text{m}$)

$$W_t = 86.77 \times 5 \times 7.85 \quad (E .5.27)$$

$$W_t = 3,405.72 \text{ k}$$

La carga uniforme repartida sobre las vigas, esta se determina:

$$W = \frac{W_t}{n} \quad (E .5.28)$$

$$W = \frac{3405.72 \text{ k}}{18} = 189.21 \text{ k} \quad (E .5.29)$$

La carga por metro lineal repartida sobre las vigas es:

$$W_1 = \frac{189.21 \text{ k}}{5.07 \text{ m}} = 37.32 \frac{\text{k}}{\text{m}} \quad (E .5.30)$$

La relación de peso de las vigas con techo será:

$$W' = \frac{W_t}{A_t} \quad (E .5.31)$$

$$W' = \frac{3405.72 \text{ k}}{86.77 \text{ m}^2} \quad (E .5.32)$$

$$W' = 39.25 \frac{\text{k}}{\text{m}^2}$$

Para la selección de perfil de las vigas, se tendrá en cuenta las cargas que actúan sobre el diseño, Carga de diseño de los largueros se obtendrá de la suma de la carga muerta del techo más, las sobrecargas o carga vivas, más un cuarto de la presión de vacío, se tomara la siguiente ecuación:

$$W_m = W' + W_S + 0.4 P \quad \text{donde } P \text{ es } (E .5.33)$$

Donde:

W_m = Carga máxima de diseño de los largueros (k / m^2)

W' = Carga muerta, peso propio de las planchas del techo (k / m^2)

W_S = Carga viva, según API 650 en los techos se considera $75 \text{ k} / \text{m}^2$, como sobrecarga (incluye carga de vientos, carga sísmica, carga de accesorios y otras cargas que actúan sobre el techo)

La carga máxima sobre las vigas, según norma API 650, la presión de vacío será igual al peso propio de las planchas de techo.

$$W_m = W' + W_S + 0.4 W' \quad (E .5.34)$$

$$W_m = 39.25 \frac{\text{k}}{\text{m}^2} + 75 \frac{\text{k}}{\text{m}^2} + (0.4 * 39.25) \frac{\text{k}}{\text{m}^2} \quad (E .5.35)$$

$$W_m = 129.95 \frac{\text{k}}{\text{m}^2}$$

$$W_m = 129.95 * 1.262 = 163.997 \frac{k}{m} \quad (E .5.36)$$

Momento máximo de diseño de las vigas o largueros

Momento Máximo ejercido en las vigas ocurre en el centro de la viga, será dado por la siguiente ecuación:

$$M_m = \frac{W_m * l^2}{8} \quad (E .5.37)$$

Donde:

M_m = Momento máximo de diseño de las vigas (kg/m)

W = Carga máxima de diseño de las vigas (kg/m)

l = Longitud de la viga (m)

$$M_m = \frac{163.997 * 5.07^2}{8} \quad (E .5.38)$$

$$M_m = 526.94 \frac{k}{m}$$

Relación de esbeltez de las vigas o largueros

La relación de esbeltez de las vigas se da para la verificación en caso de problemas de pandeo local si es estuviese altamente esforzado ya que se trata de un perfil compacto, la relación se da con la siguiente ecuación:

$$Z = \frac{M_m}{S} \quad (E .5.39)$$

Donde:

Z = Relación de esbeltez del perfil (cm)

M_m = Momento máximo de diseño de las vigas (k / cm^2)

S = Carga superficial (1265 k/m^2),

$$Z = \frac{52694}{1265} \quad (E .5.40)$$

$$Z = 41.66 \text{ cm}$$

Buscando un perfil que tenga un módulo de sección mayor y de un espesor mayor o igual en su alma que el especificado más cualquier corrosión, se propone un perfil comerciable en el mercado:

Canal C 6 x 8.2 # = C 152 x 12.2 kg/m

$$W_e = W_m + W_p \quad (E .5.41)$$

$$W_e = 163.997 + 12.2 = 176.197 \frac{k}{m} \quad (E .5.42)$$

Momento máximo del perfil considerado será:

$$M_m = \frac{W_e \cdot l^2}{8} = \frac{176.197 \cdot 5.0^2}{8} \quad (E .5.43)$$

$$M_m = 566.14 \frac{k}{m}$$

Relación de esbeltez del perfil considerado será:

$$Z = \frac{M_m}{S} = \frac{56614}{1265} \quad (E .5.44)$$

$$Z = 44.75 \text{ cm}$$

	Und	Diseño	Considerado C 6 x 8.2#
Momento máximo	kg/m	526.94	566.14
Relación de esbeltez	Cm	41.66	44.75

Tabla 5.3 Resumen de valores de perfil para los largueros ⁴¹

⁴¹ Elaboración Propia

Por lo tanto los valores del momento máximo y la relación de esbeltez del perfil de los largueros seleccionado son mayores a los valores de diseño, lo cual **satisface**.

5.1.4. CALCULO DE COLUMNA CENTRAL

Para el cálculo de la columna central, se toma en cuenta las cargas que estarán concentradas en la columna, procederemos a calcular la carga total del techo más el peso de los largueros, de la siguiente ecuación:

$$P = R = n \left(\frac{W \cdot L}{2} \right) \quad (E . 5.45)$$

Donde:

P = Carga de diseño, concentrada en la columna. (Kg)

n = Números de largueros.

W . = Carga máxima de diseño de los largueros, incluye carga muerta, carga viva (kg/m)

L = Longitud del larguero (m)

$$P = 18 \left(\frac{163.997 \cdot 5.07}{2} \right) \quad (E . 5.46)$$

$$P = 7483.183 \text{ k}$$

La relación de esbeltez de la columna central, según API 650, el miembro principal sometido a compresión, es de 180.

$$Z = 180$$

El radio de giro de diseño de la columna central, mayor tanto x-x, como y-y, se obtiene del área transversal, conociendo la longitud de la columna podemos obtener el radio de giro que cumpla con esta relación.

$$r = \frac{L}{Z} = \frac{L}{180} \quad (E . 5.47)$$

Donde:

r = Radio de giro de diseño de la columna central.

L = Longitud total de la columna (m)

La longitud total de la columna central será: altura del casco más altura del techo,

$$L = H_c + H_t = 9.622 + 0.338 = 9.96 \text{ m} = 996 \text{ cm} \quad (E .5.48)$$

$$r = \frac{996}{180} \quad (E .5.49)$$

$$r = 5.53 \text{ cm}$$

Seleccionamos un perfil compuesto por un tubo de 6" Schedule 40, API 5L, Grado B, tubo redondo sin costura usados por las industrias petroleras para conducción de fluidos.

Diámetro exterior: $D = 6.625$ pulg.

Diámetro interior: $d = 6.065$ plug.

Espesor de Pared: $e = 0.28$ pulg.

La relación de esbeltez de la columna central, dado por los esfuerzos sometidos a la columna es:

$$Z = \frac{L}{r} \leq 180 \quad (E .5.50)$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} ; I = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{64} ; A = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} \quad (E .5.51)$$

Donde:

I = Momento de inercia de la columna central (m^4)

A = Área de la sección transversal de la columna central (m^2)

$$I = \frac{\pi (6.625^4 - 6.065^4)}{64} = 28.14 \text{ m}^4 \quad (E .5.52)$$

$$A = \frac{\pi (6.625^2 + 6.065^2)}{4} = 5.58 \text{ in}^2 \quad (E .5.53)$$

El radio de giro de tubo a considerar será:

$$r = \sqrt{\frac{28.14}{5.58}} = 2.25 \text{ in} = 5.715 \text{ cm} \quad (E .5.54)$$

La relación de esbeltez de tubo a considerar será:

$$Z = \frac{1009.1}{5.715} = 176.57 \quad (E .5.55)$$

$$Z = 176.57 \leq 180 \quad (E .5.56)$$

Por lo tanto, el tubo de 6" sch 40, cumple, **si satisface**.

El esfuerzo de compresión permisible para la columna central será dado por la siguiente ecuación:

$$\delta_p = \frac{1265}{1 + \left(\frac{L^2}{18000 * r^2} \right)} \quad (E .5.57)$$

Donde:

δ_p = Esfuerzo de compresión permisible en la columna central (k / in^2)

L = Longitud total de la columna (cm)

r = Radio de giro de la columna (cm)

$$\delta_p = \frac{1265}{1 + \left(\frac{996^2}{18000 * 5.715^2} \right)} = 470.72 \text{ k /in}^2 \quad (E .5.58)$$

El área de la sección transversal de la columna será calculado por:

$$\delta_p = \frac{P}{a} ; a = \frac{P}{\delta_p} \quad (E .5.59)$$

Donde:

P = Carga de diseño, concentrada en la columna. (Kg)

α = Área de la sección transversal de la columna (cm^2)

$$\alpha = \frac{7483.183 \text{ k}}{470.72 \text{ k} / \text{cm}^2} = 18.53 \text{ cm}^2 \quad (E .5.60)$$

El esfuerzo de compresión máximo permisible (C_m), el cual tendrá que ser mayor al esfuerzo compresión permisible.

$$C_m = 5.15 \left(\frac{E}{\left(\frac{L}{r}\right)^2} \right) \quad (E .5.61)$$

$$C_m = 5.15 \left(\frac{2.1 * 10^6}{\left(\frac{996}{5.715}\right)^2} \right) = 356.07 \text{ k} / \text{cm}^2 \quad (E .5.62)$$

Por lo tanto:

$$\alpha = \frac{P}{C_m} \quad (E .5.63)$$

$$\alpha = \frac{7483.183 \text{ k}}{356.07 \text{ k} / \text{cm}^2} \quad (E .5.64)$$

$$\alpha = 21.02 \text{ cm}^2$$

Con lo queda demostrado que si es **satisfecho** el perfil.

5.1.5. CALCULO DE VIGA DE RIGIDEZ O PERFIL DE CORONAMIENTO.

Teóricamente existen 2 maneras de dar rigidez a un tanque de almacenamiento:

El cuerpo del tanque puede ser lo suficientemente gruesa para proporcionar toda la rigidez necesaria, o colocar un ángulo de rigidez en el cuerpo del tanque.

En la mayoría de los casos, no es económico colocar un cuerpo lo suficientemente grueso para proporcionar toda la rigidez necesaria. Por lo tanto, la rigidez adicional para resistir la deformación del cuerpo es proporcionada por la viga de rigidez exterior al cuerpo del tanque.

Para la selección de la viga de rigidez se basa en la siguiente ecuación, la cual proporcionará el módulo de sección requerida para posteriormente seleccionar la forma y dimensiones de la viga.

$$Z = \frac{D^2 * H_1}{17} \left(\frac{V}{190} \right)^2 \quad (E .5.65)$$

Z= Modulo de sección mínima requerida, cm³

D = Diámetro nominal tanque, m.

H₁ = Altura total del tanque, m.

V = Velocidad de diseño km/h

Para las condiciones velocidad de viento del sitio donde se ejecutará el presente proyecto, se está considerando el código ASCE-7, teniendo en cuenta los siguientes valores:

Velocidad del viento de la zona:

Velocidad Promedio : 17 km/h

Velocidad Máxima (diseño) : 70 mph (112.65 km/h)

$$Z = \frac{10.50^2 * 9.96}{17} \left(\frac{112.65}{190} \right)^2 \quad (E .5.66)$$

$$Z = 22.71 \text{ cm}^3$$

Para tanques de 10.50 m (35 pies) o menores de diámetro un ángulo de 50.8 x 50.8 x 4.76 mm (2 x 2 x 3/16 pulg.) y para tanques mayores a 10.50 (35 pies) pero menores o iguales a 18.288 m (60 pies) de diámetro un ángulo de 76 x 76 x 9.52 mm (3 x 3 x 3/8 pulg.)

Según la normativa API 650, se utilizara un perfil que será un ángulo:

L 2 1/2" x 2 1/2" x 1/4".

Espesor: t = 6.35 mm

Área: $a = 7.66 \text{ cm}^2$

Módulo de sección: $s = 4.53 \text{ cm}$

La sección del perfil seleccionado será:

$$Z = a * s = 7.66 * 4.53 = 34.7 \text{ cm}^3 \quad (E .5.67)$$

Por lo tanto la sección de perfil considerado, **satisface**, ya que es mayor a la sección mínima requerida.

La viga o perfil será colocada a 13 mm. Por encima del borde superior del tanque, esto ayudará reforzar alrededor del tanque.

5.1.6. ANALISIS DE PESO DE TANQUE

Con las planchas y perfiles seleccionados, calculamos el peso del tanque.

CASCO	Espesor (pulg)	Espesor (mm)	Perimetro (m)	Altura (m)	Densidad	Peso (kg)
Primer anillo	5/16"	8.00	32.99	2.40	7.85	4,972.25
Segundo anillo	1/4"	6.00	32.99	2.40	7.85	3,729.19
Tercer anillo	1/4"	6.00	32.99	2.40	7.85	3,729.19
Cuarto anillo	1/4"	6.00	32.99	2.40	7.85	3,729.19
						16,159.82
FONDO	Espesor (pulg)	Espesor (mm)	Area (m2)		Densidad	Peso (kg)
Plancha de fondo	5/16"	8.00	86.59		7.85	5,437.85
TECHO	Espesor (pulg)	Espesor (mm)	Area (m2)		Densidad	Peso (kg)
Plancha de techo	3/16"	5.00	91.23		7.85	3,580.78
VIGAS Y COLUMNA CENTRAL	Ctd	Longitud (m)		kg / ml		Peso (kg)
Canal de C 6 x 8.2#	18	5.01		12.23		1,102.24
Tubo de 6", SCH 40	1	10.91		28.26		308.32
Cartelas de refuerzo	1					180.04
						1,590.60
ANILLO DE RIGIDEZ	Ctd	Longitud (m)		kg / ml		Peso (kg)
L 2 1/2" x 2 1/2" x 1/4"	1	33.51		5.95		199.41
BOQUILLA, ESCALERA Y BARANDAS	Ctd	Longitud (m)		kg / ml		Peso (kg)
Tuberías y accesorios	1					2,823.51
PESO TOTAL DEL TANQUE					Kg	29,791.97

Tabla 5.4 Peso total del tanque fabricado ⁴²

El peso total del tanque fabricado o carga muerta del tanque será de **29,791.97 kg**, no incluye carga vivas (carga de viento, carga de nieve, y otras sobrecargas.)

⁴² Elaboración Propia

5.1.7. CÁLCULO CARGAS DE VIENTO.

Primero se establecerán los parámetros que se va a emplear en los cálculos y procedimientos son especificados en la normativa API 650.

Datos de Carga de Viento

DESCRIPCION	DESIGNACION	CANTIDAD	UND
Presión interna de diseño	P_t	0	N/mm ²
Espesor de aislamiento	t_t	0	mm.
Diámetro nominal del tanque	D	10500	mm.
Altura total del tanque	H_s	9960	mm.
Angulo de techo		22	°
Altura techo	H_r	338	mm.
Altura desde el fondo al centro del cuerpo	L_s	9622	mm.
Altura desde el fondo al centro del techo	L_r	9960	mm.
Mínima profundidad del producto	H_w	0	mm.
Peso del tanque	W_t	27,869.93	Kg.
Peso del producto	W_w	0	Kg.
Peso del cuerpo + Angulo de tope	W_D	16,616.16	Kg.

Tabla 5.5 Datos carga de viento⁴³

Fuerza del Viento Sobre el Cuerpo del Tanque

La velocidad de viento será de 172 Km/h. Durante 3 segundos este dato viene determinado por la norma ASCE 7. Y los valores de presión de viento, factor de corrección, vienen dadas por la norma API 650 parte 5.2.1.k.

Según API 650 part. 5.2.1 k. presiones de viento.			
Presión de viento para superficies cónicas	W_r	0,0014369	N/mm ²
Presión de viento para superficies cilíndricas	W_s	0,0008621	N/mm ²
Factor de corrección de viento	K_w	1	

Tabla 5.6 Cargas por fuerza del viento ⁴⁴

El área proyectada del techo será dado por:

$$A_r = 0.5 * K * L_s * H_r = 0.5 * 1 * 9622 * 338 = 1'626,118 \text{ mm}^2 \quad (E .5.68)$$

⁴³ Elaboración Propia

⁴⁴ API 650, Edición 2012

El área proyectada del cuerpo será dado por:

$$A_s = K * D_o * H_s = 1 * 10500 * 9960 = 104'580,000 \text{ mm}^2 \quad (E .5.69)$$

La carga total del viento en el techo será:

$$F_s = w_T * K_W * A_T = 0.0014369 * 1 * 1'626,118 = 2,336.57 \text{ N} \quad (E .5.70)$$

La carga total del viento en el cuerpo será:

$$F_s = w_s * K_W * A_s = 0,0008621 * 1 * 104'580,000 = 90,158.42 \text{ N} \quad (\text{Ec. 5.71})$$

Momento total de carga de viento:

$$M_W = F_T * L_T + F_S * L_S \quad (E .5.72)$$

$$M_W = 2,336.57 * 9,622 + 90,158.42 * 9622 = 867'526,799.7 \text{ N.mm}$$

Cálculo del Momento al Volteo por Carga de Viento.

Para determinar si el tanque es estructuralmente estable se deben cumplir con los requisitos determinados.

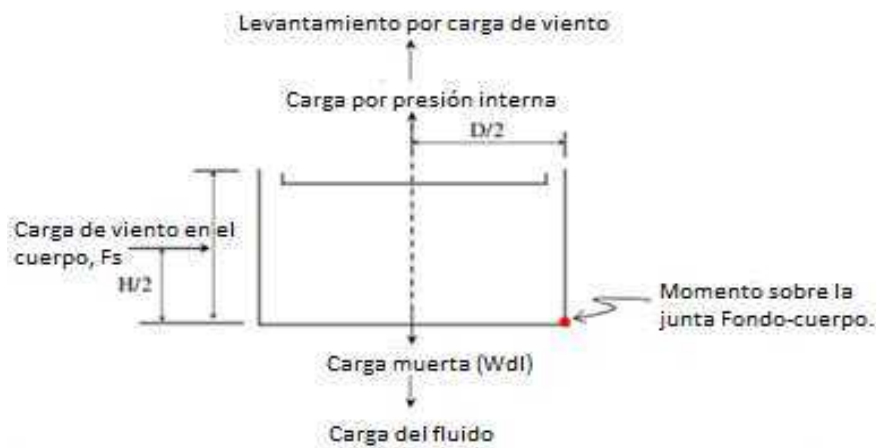


Figura 5.1 Momento al volteo por carga de viento.⁴⁵

Para que tanque sea estructuralmente estable sin anclaje debe satisfacer los siguientes requerimientos.

⁴⁵ API 650, Edición 2012

$$0.6 * M_W + M_p < \frac{M_D}{1.5} \quad (E .5.73) \quad \text{Criterio 1}$$

$$M_W + 0.4 * M_p < \frac{M_D + M_F}{2} \quad (E .5.74) \quad \text{Criterio 2}$$

Determinación de los Parámetros de Carga de Viento a Utilizar

M_p = Momento sobre la junta fondo–cuerpo por presión interna

$$M_p = \left(\frac{1}{4} \pi * D^2 * P_i \right) * \frac{1}{2} D \quad (E .5.75)$$

La presión interna de diseño (P_i) se considera 0 debido a que se trata de un tanque atmosférico, este valor puede variar en el caso de que se diseñe un tanque con una presión interna mayor a la atmosférica, para el presente caso no se incluye un valor de presión.

$$P_i = 0 \text{ N.mm}$$

M_W = Momento de vuelco sobre la junta fondo – cuerpo más la presión de la carga de viento.

$$M_W = F_T * L_T + F_S * L_S \quad (E .5.76)$$

$$M_W = 2,336.57 * 9,622 + 90,158.42 * 9622 = 867'526,799.7 \text{ N.mm}$$

M_D = Momento sobre la junta fondo cuerpo por peso del cuerpo y techo

$$M_D = 0.5 * D * W_D = 0.5 * 10,500 * 16,616.16 = 87'234,840.0 \text{ N. mm} \quad (\text{Ec. 5.77})$$

M_F = Momento sobre la junta fondo – cuerpo debido al peso del líquido almacenado

$$M_F = \left(\frac{W_a * \pi * D}{1000} \right) * \frac{D}{2} \quad (\text{Ec. 5.78})$$

Donde:

$$W_a = \text{Peso del líquido por anillo, } W_a = 59 * t_b * \sqrt{F} * H \text{ (N/m)}$$

H = Altura de diseño del líquido (m)

t_b = Espesor de plancha anular (mm)

F = Esfuerzo a la fluencia de la plancha anular (N/mm²)

$$W_a = 59 * t_b * \sqrt{F} * H = 59 * 5 * \sqrt{250 * 9.622} = 14,468.54 \frac{N}{m} \quad (E .5.79)$$

Momento sobre la junta fondo –cuerpo debido al peso del líquido almacenado será:

$$M_F = \left(\frac{14,468.54 * \pi * 10500}{1000} \right) * \frac{10500}{2} = 2505'666,026 \frac{N}{m} \quad (E .5.80)$$

Una vez determinados los parámetros necesarios para determinar si el tanque debe ser anclado mecánicamente por carga de viento se procede a verificar según los criterios que establecen.

• **CRITERIO 1**

$$0.6 * M_w + M_p < \frac{M_D}{1.5} \quad (E .5.81)$$

$$0.6 * 867'526,799.7 + 0 < \frac{87'234,840.0}{1.5} \quad (E .5.82)$$

$$520'516,079.8 < 58'156,560 \quad \text{FASLO}$$

• **CRITERIO 2**

$$M_w + 0.4 * M_p < \frac{M_D + M_F}{2} \quad (E .5.83)$$

$$867'526,799.7 + 0.4 * 0 < \frac{87'234,840.0 + 2505'666,026}{2} \quad (E .5.84)$$

$$867'526,799.7 < 1296'450,433 \quad \text{VERDADERO}$$

Dado que las condiciones anteriormente expuestas no cumplen con lo requerido el tanque necesita ser anclado por carga de viento.

5.1.8. CÁLCULO POR CARGA DE SISMO.

Para el cálculo por carga de sismo se requiere determinar la masa hidrodinámica asociada a, la fuerza lateral, y momento de volcamiento aplicado al cuerpo del tanque como un resultado de la respuesta de las masas al movimiento lateral del terreno.

Los cálculos aseguran la estabilidad del cuerpo del tanque con respecto al volcamiento y para prevenir el pandeo del tanque como resultado de una compresión longitudinal.

Aceleración sísmica pico en la tierra	Sp	0.47	
Factor de importancia	I	1,5	
Clase de sitio		CLASE I	
Grupo sísmico IBC.		IV	
Diámetro nominal del tanque	D	10500.00	Mm
Altura total del tanque	Ht	9960.00	Mm
Altura del fondo al centro de gravedad del tanque	Xs	5045.50	Mm
Altura máxima de nivel del liquido	H	9601.20	Mm
Altura del fondo al centro de gravedad del techo	Xr	9953.00	Mm
Gravedad específica del liquido	G	0.90	g/cm3
Peso total del cuerpo del tanque	Ws	16416.75	Kg
Peso total del techo	Wr	4683.02	Kg
Peso total del líquido almacenado	Wp	780216.25	Kg
Peso total del fondo del tanque	Wf	6262.44	Kg

Tabla 5.7 Datos carga de sismo ⁴⁶

Diseño de Repuestas de Aceleraciones Espectrales

Parámetro de aceleración espectral impulsiva (A_i)

$$A_i = 2.5 * Q * F_a * S_0 * \frac{I}{R_w} \quad (E .5.85)$$

Parámetro de aceleración espectral conectivo (A_c),

Para $T_c > T_L$

⁴⁶ Elaboración Propia

$$A_c = 2.5 * K * Q * F_a * S_o * \left(\frac{T_s}{T_c}\right) \left(\frac{I}{R_w}\right) \quad (E .5.86)$$

Donde:

Q = Factor de escala: 1

K= Coeficiente para ajustar la amortiguación del espectro: 1,5

Fa= Coeficiente de aceleración de sitio base: 1,17

Fv= Coeficiente de velocidad de sitio base: 1,5125

So = Sustitución de la aceleración sísmica máxima del suelo: 0,47

Rwi = Coeficiente de modificación para fuerza impulsiva: 4

Rwc = Coeficiente de modificación para fuerza convectiva: 2

TL = Periodo de transición de dependencias regionales: 4 s

Tc = Periodo convectivo (chapoteo): 6,33 s

$$T = F * \frac{S1}{F} * S = 1.5125 * \left(\frac{0.2875}{1.17}\right) * 0.575 = 0.646 \quad (E .5.87)$$

$$A_i = 2.5 * 1 * 1.17 * 0.47 * \frac{1.5}{4} = 0.51553 \quad (E .5.88)$$

$$A_c = 2.5 * 1.5 * 1 * 1.17 * 0.47 * \left(\frac{0.646}{6.33}\right) \left(\frac{1.5}{2}\right) = 0.15784 \quad (E .5.89)$$

Estabilidad contra el vuelco por carga sísmica.

Cálculo de peso efectivo impulsivo y convectivo.

Peso efectivo impulsivo (W_i), se determina de la siguiente ecuación en relación del diámetro y la altura del tanque.

$$\frac{D}{H} \geq 1.333 \quad ; \quad W_i = \frac{\tan\left(0.866 * \frac{D}{H}\right)}{0.866 * \frac{D}{H}} * W_P \quad (E .5.90)$$

$$\frac{D}{H} < 1.333 \quad ; \quad W_i = \left(1 - 0.218 * \frac{D}{H}\right) * W_P \quad (E .5.91)$$

Donde:

W_i = Peso efectivo impulsivo (N)

W_c = Peso efectivo del producto (kg)

La relación de $D/H = 1.0572$, resulta menor que 1.333, entonces el peso efectivo impulsivo, se determinara por la siguiente ecuación: 600907.52

$$W_i = \left(1 - 0.218 * \frac{10.50}{9.96}\right) * 780216.25 = 600907.52 \text{ k} \quad (E .5.92)$$

$$W_i = 5894902.757 \text{ N}$$

Peso efectivo conectivo (W_c), se determina de la siguiente ecuación:

$$W_c = 0.230 * \frac{D}{H} * t_i \cdot h\left(\frac{3.67 * H}{D}\right) * W_p \quad (E .5.93)$$

$$W_c = 0.230 * \frac{10.50}{9.96} * t_i \cdot h\left(\frac{3.67 * 9.96}{10.50}\right) * 780216.25 = 11508.56 \text{ k} \quad (E .5.94)$$

$$W_c = 112783.93 \text{ N}$$

Centro de Acción Para las Fuerzas Laterales Efectivas

La altura desde el fondo del tanque al centro de acción de las fuerzas laterales relacionadas con la fuerza impulsiva del líquido viene dado por:

$D/H = 1.0572$, la relación D/H resulta menor que 1.333.

Si:

$$\frac{D}{H} < 1.333 \quad ; \quad X_i = \left(0.5 - 0.094 * \frac{D}{H}\right) * H \quad (E .5.95)$$

$$X_i = \left(0.5 - 0.094 * \frac{10500}{9960}\right) * 9960 = 3993 \text{ m} \quad (E .5.96)$$

La altura desde el fondo del tanque al centro de acción de las fuerzas laterales relacionadas con la fuerza convectivas del líquido viene dado por:

$$X_c = \left[1 - \frac{c_i \cdot h\left(\frac{3.67 * H}{D}\right) - 1}{\frac{3.67 * H}{D} * s_i \cdot h\left(\frac{3.67 * H}{D}\right)}\right] * H \quad (E .5.97)$$

$$X_L = \left[1 - \frac{c_i h \left(\frac{3.67 * 9960}{10500} \right) - 1}{\frac{3.67 * 9960}{10500} * s h \left(\frac{3.67 * 9960}{10500} \right)} \right] * 9960 = 7269.77 \text{ m} \quad (E .5.98)$$

Estabilidad al Vuelco.

Cálculo del momento en la base del tanque para tanques apoyados en un anillo de concreto (ring Wall), la ecuación que rige el momento en el anillo es:

$$M_r = \sqrt{[A_i (W_i * X_i + W_s * X_s + W_r * X_r)]^2 + [A_c (W_c + X_c)]^2} \quad (E .5.99)$$

Donde:

Ai = Coeficiente de aceleración de espectro para respuesta impulsiva, %g.

Ac = Coeficiente de aceleración de espectro para respuesta convectiva, %g.

Wi = Impulso efectivo por peso del líquido, N.

Ws = Peso total del tanque y sus accesorios, N.

Wr = Peso total del techo y sus accesorios más un 10% de carga por nieve, N. Wc

= Peso del líquido por efecto de convección (chapoteo), N.

Xi = Altura desde el fondo del tanque, al centro de acción de la fuerzas sísmica lateral relacionada con la fuerza impulsiva de líquido para el momento del anillo la pared, m.

Xs = Altura desde el fondo hasta el centro de gravedad del tanque, m.

Xr = Altura desde el fondo hasta el centro de gravedad del techo, m.

Xc = Altura desde el fondo del tanque al centro de acción de la fuerzas lateral sísmica relacionada con la fuerza del líquido por convección.

M_r

$$= \sqrt{[0.51553 (5889959.11 * 4042.71 + 16416.75 * 5945 + 4683.02 * 9953)]^2 + [0.15784 (1857469.473 * 7359.38)]^2}$$

$$M_r = 2519951530 \text{ N.m}$$

$$M_r = 2519951.530 \text{ N.m}$$

Fuerza de Corte en la Base.

Cálculo Fuerza de corte en la base (V)

$$V = \sqrt{V_i^2 + V_c^2} \quad (E .5.100)$$

Donde:

V_i = Fuerza impulsiva (N)

V_c = Fuerza conectiva (N)

$$V_i = A_i * (W_s + W_r + W_f + W_t) \quad (E .5.101)$$

$$V_i = 0.51553 * (16416.75 + 5151.322 + 6262.44 + 5889959.106) \quad (E .5.102)$$

$$V_i = 3050798.082 \text{ N}$$

$$V_c = A_c + W_c = 0.15784 * 1857469.473 = 293182.982 \text{ N} \quad (E .5.103)$$

La fuerza de corte en la base será:

$$V = \sqrt{3050798.082^2 + 293182.982^2} = 3064853.21 \text{ N} \quad (E .5.104)$$

5.1.9. CALCULO DE ANCLAJE DEL TANQUE.

Calculo de relación de anclaje:

$$J = \frac{M_r}{L^2 [W_t * (1 - 0.4 A_v) + W_a - 0.4 W_{ti}]} \quad (E .5.105)$$

$J > 1.54$; El tanque no es estable por lo que debe ser anclado mecánicamente.

Donde:

A_v = Coeficiente de aceleración vertical para terremotos: 7

W_t = Peso del cuerpo del tanque y el techo soportado en el cuerpo (N/mm)

W_{ti} = Carga de elevación debido a la presión del producto.

W_a = Fuerza de resistencia del anillo: (N/m)

W_r = Carga sobre el techo que actúan sobre el cuerpo, incluyendo el 10% de la carga de nieve.

$$W_t = \frac{W_s}{\pi * D} + W_r = \frac{16416.75}{\pi * 10.50} + 5151.322 = 5648.99 \frac{N}{m} \quad (E .5.106)$$

$$W_a = 99 * t_a * \sqrt{F_y * H * G_e} \leq 201.1 * H * D * G_e \quad (E .5.107)$$

$$W_a = 99 * 8 * \sqrt{250 * 10^6 * 9960 * 0.895} \leq 201.1 * 9960 * 10500 * 0.895 \quad (E .5.98)$$

$$W_a = 1182323639 \text{ N.m} \leq 1.88 \times 10^1 \text{ N.m}$$

$$W_a = 1182323.639 \text{ N.m} \leq 1.88 \times 10^7 \text{ N.m}$$

Dada que la relación de W_a , cumple con las condiciones dadas por lo que se puede utilizar la relación de anclaje (J):

$$J = \frac{2519951.530}{10.668^2 [5.15181 * (1 - 0.4 * 7) + 1.94 \times 10^7 - 0.4 * 0]} = 235.186 \quad (E .5.109)$$

Por lo tanto, $J > 1.54$, entonces el tanque debe ser anclado mecánicamente.

3.17.8.9 Compresión en el Cuerpo.

Para tanques anclados mecánicamente, la máxima compresión longitudinal (σ_c) viene dado por:

$$\sigma_c = \left(W_t (1 + 0.4 A_v) + \frac{1.273 * M_r}{D^2} \right) * \frac{1}{1000 * t_s} \quad (E .5.110)$$

$$\sigma_c = \left(5151.81 * (1 + 0.4 * 7) + \frac{1.273 * 2519951.530}{10.50^2} \right) * \frac{1}{1000 * 8} \quad (E .5.111)$$

$$\sigma_c = 6.08 \text{ N/m}$$

Esfuerzo permisible máximo de compresión en el cuerpo.

El máximo esfuerzo de compresión en el cuerpo tiene que ser menor que el esfuerzo permisible F_c , está dado por: $F_c < 0.5 F_t$

Cuando:

$$\frac{G * H * D^2}{t^2} \geq 44 \quad ; \quad F_c = \frac{83 * t_s}{D} \quad (E .5.112)$$

$$\frac{G * H * D^2}{t^2} < 44 \quad ; \quad F_c = \frac{83 * t_s}{2.5 * D} + 7.5 * \sqrt{G * H} \quad (E .5.113)$$

$$\frac{0.895 * 9.96 * 10.50^2}{8^2} = 15.36 < 44 \quad (E .5.114)$$

Para el cálculo de esfuerzo permisible máximo, se tiene que, $\frac{G * H * D^2}{t^2} < 44$, se utilizara la siguiente ecuación:

$$F_c = \frac{83 * 8}{2.5 * 10.50} + 7.5 * \sqrt{0.895 * 9.96} = 47.69 \text{ N/m}^2 \quad (E .5.115)$$

Se comprueba que:

$$F_c < 0.5 F_t \quad (E .5.116)$$

$$25.68 < 0.5 (250) \cong 25.68 < 125 \quad ; \quad \textbf{SI CUMPLE}$$

Por lo que el tanque es estructuralmente estable.

Anclaje del Tanque.

Para determinar el número de pernos de anclaje se recurre, el espacio entre pernos de anclaje no debe exceder 3 m. (10 ft)

Datos geométricos anclaje:

N = Número de pernos de anclaje: 19 und

Da = Diámetro pernos de anclaje: 38.1 mm (1 ½ pulg)

A_b = Sección transversal: 1140.092 mm²

Espacio entre los pernos de anclaje: 1.764 m

Materiales y propiedades geométricas de anclaje:

Material a usar: ASTM 193M

Esfuerzo mínimo a la fluencia: $S_y = 723.94 \text{ N/mm}^2$

Esfuerzo permisible a la tensión: $S_y = 579.152 \text{ N/mm}^2$

Resistencia mínima de anclaje:

$$W_a = \left(\frac{1.273 * M_r}{D^2} - W_t * (1 - 0.4 * A_v) \right) + W_{ti} \quad (E .5.117)$$

$$W_a = \left(\frac{1.273 * 2519951.530}{10.50^2} - 5151.81 * (1 - 0.4 * 7) \right) + 0 = 38,369.84 \frac{N}{m}$$

El valor de diámetro por lo tanto el esfuerzo a la tensión de cada perno de anclaje puede ser determinado por:

$$\sigma_b = \frac{W_a}{N * A_b} \quad (E .5.118)$$

Donde:

W_a = Resistencia mínima de anclaje

N = Numero de pernos

A_b = Sección transversal del perno

$$\sigma_b = \frac{38,369.84}{19 * 1140.092} = 1.771 \frac{N}{mm^2} \quad (E .5.119)$$

Debido a que el esfuerzo a la tracción es menor que el esfuerzo permisible.

El perno de anclaje seleccionado es **SATISFACTORIO**.

DATOS DE DISEÑO		
TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE		
HOJA DE DATOS TECNICOS		
GENERAL		
SERVICIO	ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE DIESEL B5	
CAPACIDAD	200,000 GALONES (757 m3)	
CODIGO DE DISEÑO	API 650	
OPERACIÓN		
PRESION	ATMOSFERICA	
FLUIDO	DIESEL B5	
GRAVEDAD ESPECIFICA	0.895	
TEMPERATURA MINIMA DEL FLUIDO	5 °C	
TEMPERATURA MAXIMA DEL FLUIDO	20 °C	
FLUJO MINIMO DE ALIMENTACION	285 GPM	
FLUJO MAXIMO DE ALIMENTACION	400 GPM	
FLUJO MINIMO DE DESCARGA	150 GPM	
FLUJO MAXIMO DE DESCARGA	206 GPM	
VOLUMEN UTIL	200, 000 GALONES (757 m3)	
VOLUMEN TOTAL	220,000 GALONES (832. 79 m3)	
DISEÑO		
NORMA DE DISEÑO	API 650	
DIAMETRO	10.668 m	
ALTURA DE CASCO	9.753 m	
ALTURA DE TECHO	0.338 m	
PRESION	ATMOSFERICA	
GRAVEDAD ESPECIFICA	1	
TEMPERATURA MINIMA DEL FLUIDO	5 °C	
TEMPERATURA MAXIMA DEL FLUIDO	20 °C	
FLUJO MINIMO DE ALIMENTACION	285 GPM	
FLUJO MAXIMO DE ALIMENTACION	400 GPM	
FLUJO MINIMO DE DESCARGA	150 GPM	
FLUJO MAXIMO DE DESCARGA	206 GPM	
ESPESOR DE CORROSION ADMISIBLE	1.6 mm	
NORMAS DE SISMO	IBC-2006 ZONA 4	
FACTOR DE USO SISMICO	SUG. III (1.5)	
MATERIALES		ESPESOR
CASCO (1er anillo)	ACERO ASTM A-36	8 mm (5/16")
CASCO (2do anillo)	ACERO ASTM A-36	6.35 mm (1/4")
CASCO (3er anillo)	ACERO ASTM A-36	6.35 mm (1/4")
CASCO (4to anillo)	ACERO ASTM A-36	6.35 mm (1/4")
FONDO	ACERO ASTM A-36	8 mm (5/16")
TECHO	ACERO ASTM A-36	5 mm (3/16")
NIPLES	ACERO ASTM A-53	
BRIDA	ACERO ASTM A-105	
RECUBRIMIENTO		
INTERIOR	EPOXI ANIMA	
EXTERIOR	EPOXICO POLIAMIDA / POLIURETANO	
ACCESORIOS		
TECHO		
REGLETA DE NIVEL TIPO MECANICA	SI	
VALVULA DE ALIVIO	SI	
DRENAJE AUTOMATICO	NO	
VALVULA DE PRESION/VACIO	SI	
ARRESTAFLAMA	SI	

Tabla 5.8 Datos de diseño de tanque⁴⁷

⁴⁷ Elaboración Propia

CONEXIONES DE BOQUILLAS						PROYECCION EXTERIOR	ALTURA	ANGULO DE ORIENTACION	POSICION
MARCA	DIAMETRO	CARA	TIPO	CANTIDAD	SERVICIO	E (mm)	H (mm)	&°	
N1	6" x 150#	RF	SO	01	INGRESO	200	---	96	TECHO
N2	4" x 150#	RF	SO	01	DESCARGA	175	406	87	CASCO
N3	6" x 150#	RF	SO	01	RESERVA	150	---	353	TECHO
N4	200 x 400	---	SO	01	DRENAJE	127	---	202.5	FONDO
N5	3" x 150#	FF	SO	01	TRANSMISOR DE NIVEL	150	---	90	TECHO
N6	4" x 150#	BLIND	SO	01	RESERVA	175	225	120	CASCO
N7	20"	---	---	01	REGLA DE MEDICION	150	---	290	TECHO
N8	4" x 150#	RF	SO	01	INTERRUPTOR DE NVEL	175	9372	155	CASCO
N9	3" x 150#	RF	SO	01	VALVULA DE PRESION VACIO	150	---	144.5	TECHO
N10	4" x 150#	RF	SO	01	VENTEO	200	---	0	TECHO
N11	4" x 150#	RF	SO	01	ESPUMA CONTRA INCENDIO	---	9419	90	CASCO
MH1	30"	---	---	01	ENTRADA DE HOMBRE	150	900	318	CASCO
MH2	24"	---	---	01	ENTRADA DE TECHO	150	---	112	TECHO

Tabla 5.9 Tabla de diseño de boquillas ⁴⁸

⁴⁸ Elaboración Propia

5.2. PROCEDIMIENTO DE FABRICACION Y MONTAJE DE TANQUE

El presente describe el correcto procedimiento de fabricación y montaje de tanque de almacenamiento basado en la norma API 650.

Para la fabricación y construcción del tanque se emplean planchas de acero al carbono A36, de distintos espesores, así como también para los accesorios, los perfiles serán de acero al carbono A36, mientras que las tuberías serán de acero al carbono A53, el montaje se realizará mediante personal calificado, equipos y herramientas homologados y certificados, el tanque será fabricado y montado de acuerdo a normas de construcción que garantizan la integridad y posterior funcionamiento del almacenamiento.

5.2.1. MATERIALES PARA SOLDADURA

En la norma API 650 se recomienda que la unión de materiales sea por soldadura, las técnicas de soldadura son de fundamental importancia y los procesos de soldadura deben ser tal que la fuerza y dureza sean consistentes con el material de las placas a unirse.

Todas las soldaduras realizadas o superficies defectuosas reparadas deben hacerse con electrodos de bajo hidrógeno que sean compatibles en composición química, fuerza, y calidad con el material de la plancha.

Electrodos Para Soldadura de Arco Protegido (SMAW).

El proceso de soldadura por arco en el que se produce coalescencia de metales por medio de calor de un arco eléctrico que se mantiene entre la punta de un electrodo cubierto y la superficie del metal base en la unión que se está soldando.

Para los materiales de soldadura con un esfuerzo mínimo a la tensión menor de 550 MPa. (79771 lbs./pulg²), los electrodos para soldadura por arco manual deben ser de acuerdo a la clasificación AWS serie E60XX y E70XX o equivalente (convenientes para las características eléctricas, la posición de la soldadura y otras condiciones de uso. Su selección debe ser de acuerdo con el diseño del tanque.

Según las normas AWS las posiciones de soldeo son:

F: plana; H: horizontal; H-F: filete horizontal; V-D: vertical descendente; V: vertical; OH: techo ó sobrecabeza.

De acuerdo con la Norma API 650, la selección de los Electrodos, debe hacerse según la resistencia a la tensión mínima del material, de la siguiente manera:

Si la resistencia a la tensión mínima del material a soldar es menor que 80 Ksi, se deben usar electrodos para soldadura manual al arco eléctrico de las serie E60XX y E70XX establecidos en la última edición del AWS A5.1 Especificación de Electrodos para Acero al Carbono con Soldadura al Arco Metálico Protegido.

En este proyecto se utilizaran soldadura según clasificación AWS:

Para la unión de las planchas, el pase de la raíz será con electrodo E6010, conformada por su alta resistencia y tipo de revestimiento de alta celulosa, sodio, con posiciones de aplicación en forma plana, vertical, horizontal, techo o sobrecabeza, a la vez se puede trabajar en corriente eléctrica continua.

Mientras que para los pases de relleno del cordón de soldadura para las uniones de las planchas del tanque se utilizaran según AWS, electrodos 7010, conformada por un revestimiento bajo hidrogeno, potasio hierro en polvo, aplicando en

diferentes posiciones como son en forma plana, vertical, horizontal, techo o sobrecabeza, a la vez se puede trabajar en corriente eléctrica alterna o continua.

Detalle de Soldadura

Todas las juntas de soldadura necesarias para el montaje del tanque de almacenamiento deben ser ejecutadas por soldadores calificados según el código ASME – Sección IX y el procedimiento de soldadura aprobado por la unidad Minera Toquepala.

El tanque y sus estructuras pueden soldarse mediante cualquiera de estos procesos SMAW, FCAW, o SAW con el equipo apropiado.

La soldadura puede ser manual, semi-automática o automática, y el proceso puede ser mixto en la misma junta de soldadura solamente cuando el Código ASME - Sección IX y el procedimiento de soldadura del proyecto así lo permitan.

No se debe realizar ningún trabajo de soldadura cuando las condiciones del clima sean adversas (humedad, lluvia, viento, etc.), a menos que el soldador y el sitio de trabajo estén protegidos.

Cuando la soldadura se suspende por mal clima, la plancha debe precalentarse a una temperatura que permita la disipación de cualquier humedad, los biseles deben estar libres de grasa, suciedad o cualquier otro material.

Después de cada pase de suelda o entre ellos, la escoria, suciedad o cualquier otro material debe quitarse antes del siguiente pase de suelda, tal como indique el respectivo procedimiento de soldadura aprobado.

La secuencia de la soldadura de las planchas del fondo y del techo será tal que se evite toda distorsión, para ello, podrán utilizarse planchas A36, cuando sea aplicable.

La soldadura de la esquina de la raíz (cuerpo al fondo) se llevará a cabo una vez que el cuerpo completo se haya montado.

Las juntas a tope de la parte interna del tanque se alinean o nivelan en posición antes de soldarlas, todas las juntas a tope se inspeccionan de acuerdo con la norma API 650.

Las juntas de filete se inspeccionan visualmente. Las juntas del fondo y del techo se inspeccionan utilizando el método de prueba de campana de vacío.

Restricciones.

Ninguna soldadura de ninguna clase debe ser ejecutada cuando las superficies del material que van a ser soldadas están mojadas por la lluvia, cuando la lluvia o nieve está cayendo en dichas superficies, o durante periodos de fuertes vientos, a menos que la soldadura y el trabajo sean propiamente blindados o aislados de este tipo de ambientes.

5.2.2. CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS Y HABILIDAD DEL SOLDADOR.

Las normas establecen que antes de iniciar cualquier soldadura de producción o construcción el material a soldar, metales de aporte, proceso y personal deben estar debidamente calificados, en la extensión y en los términos especificados, ya sea que se trate de procedimientos calificados, precalificados o estándar. La información requerida acerca de las variables de soldadura.

Para poder calificar los distintos procedimientos se debe identificar cada uno de ellos, según la combinación de las variables de soldadura mencionadas anteriormente. Según la API-650 el procedimiento de soldadura así como la calificación de la habilidad del soldador están de acuerdo con las especificaciones del Código ASME IX QW. Esto se puede verificar en el Anexo 01.

No todos los procesos de soldadura se relacionan con el código ASME IX.

Los procesos relacionados son:

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 de arco con electrodo de tungsteno y gas de protección.

PAW: Soldadura de arco con plasma.

Entre otros.

5.2.2.1. Especificación de Procedimiento de Soldadura (WPS).

La Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS) se tiene que relacionar con las variables esenciales, no esenciales y suplementarias (estas últimas no se califican), así como listar los rangos aceptables de las mismas cuando se desarrollen los trabajos de soldadura.

Para el control de calidad del metal base se deben realizar pruebas de tracción para verificar las propiedades mecánicas del mismo.

Identificación (Nombre de la compañía, persona que realiza el WPS, número de WPS, fecha, PQR, Código (ver consideraciones técnicas) y persona que realiza el WPS), ver Anexo 01.

Para desarrollar un procedimiento de soldadura se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones generales:

- Proceso de soldadura, diseño de la junta, metal base, metal de aporte, posiciones de soldadura, precalentamiento y temperatura entre pases, tratamiento de postcalentamiento, gas de protección, características eléctricas, técnica, soldadura provisional (punteado), detalles de soldadura, martilleo, calor de entrada, preparación del segundo lado.

5.2.2.2. Registro de Calificación de Procedimiento (PQR).

En este documento deberá tener los valores reales de las variables del procedimiento de soldadura usado para ejecutar una calificación en una probeta soldada, ver Anexo 01.

Los valores de los resultados obtenidos de las pruebas y ensayos efectuados a la misma.

- Variables esenciales de los procesos usados en el procedimiento
- Variables suplementarias cuando se requiera la prueba de impacto
- El registro de variables no esenciales
- Información adicional que se considere necesaria
- El registro de los resultados de los ensayos realizados

4.3.3 Calificación de Habilidad del Soldador (WPQ).

Un soldador es quien realiza una operación de soldadura de forma manual o semiautomática y controla las acciones de la soldadura. El propósito de calificar a los soldadores es determinar sus habilidades para depositar material sano en procesos de producción.

La calificación para la habilidad del soldador requiere que, como fabricante, se mantenga un registro de los resultados obtenidos en las calificaciones, estos registros (WPQ's) tienen que ser certificados por el y deben estar disponibles en cualquier momento.

Las consideraciones generales para calificar a los soldadores son: posición, Material de respaldo, Tubería o lámina, la habilidad. Otras consideraciones que se deben de tener al calificar a un soldador son:

- Si el procedimiento requiere precalentamiento y postratamiento térmico, estos se pueden omitir.
- Cada soldador tiene que tener asignado un número, letra o símbolo de identificación, el cual debe ser usado para identificar sus trabajos.
- La prueba se puede terminar si esta parece ser inaceptable.

Para el soldeo del tanque, se homologaran a 6 soldadores, se puede constatar en el Anexo 01.

5.3 FABRICACION DE TANQUE EN TALLER

La fabricación del tanque en taller y sus accesorios se realizaran de acuerdo a los planos de diseño y fabricación aprobados por el Cliente, en este caso será la Mina Toquepala, una vez aprobado se procederá a fabricar, realizando actividades de trazo, corte, biselado, rolado, arenado y pintado base de las planchas y los accesorios del tanque.

Durante los trabajos de fabricación en taller, el trabajador deberá llevar puesto todo el equipo de protección personal (EPP), como son: camisa, pantalón jeans, botas de cuero con punta de acero, guantes, casco, protectores auditivos y gafas de seguridad.

El habilitado, biselado, rolado de las planchas y la fabricación de estructuras del tanques se realizaran de acuerdo al siguiente cronograma en la figura siguiente:



Figura 5.2 Procedimiento de fabricación en taller ⁴⁹ (Anexo 03)

⁴⁹ Elaboración Propia – Anexo 03

5.3.1. REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE RECURSOS.

En el proceso de la fabricación del tanque en taller se deberá tener en cuenta el siguiente personal, equipo y herramientas para realizar el trabajo.

PERSONAL

PERSONAL CALIFICADO

- Ingeniero Mecánico
- Ingeniero de Planificación y Costos
- Ingeniero Mecánico QA/QC
- Ingeniero en Seguridad Industrial.
- Supervisor de fabricación de tanques y estructuras metálicas

PERSONAL NO CALIFICADO

- Operarios Calderos
- Oficiales Calderos
- Ayudantes Calderos
- Operario de Roladora
- Operario Pintor
- Operario Arenador
- Ayudante pintor / arenador
- Operario de montacarga
- Operario de Plataforma

MATERIALES Y CONSUMIBLES

- Planchas ASTM A36
- Tuberías ASTM A53
- Perfiles ASTM A36
- Arena de Río
- Pintura Zinc Inorganico (Base)

- Electrodos 6010 / 7018
- Discos de Corte de 4.5" / 7.5"
- Tizas de Caldero
- Trapo Industrial

EQUIPOS Y MAQUINARIAS.

- Equipo de oxicorte
- Equipo de corte semi automatico
- Esmeriles de 4.5" y 7"
- Maquina de soldar tipo miller
- Montacarga de 5 tn
- Roladora de planchas 3/8" – 1/2"
- Equipo de arenado
- Equipo de pintura alta presión
- Compresora de 250 CFM
- Generador de energía de 50 kv
- Tableros electricos
- Extensiones electricas

HERRAMIENTAS.

- Winchas
- Regla de nivel
- Maletin de herramientas
- Plantillas de rolado

5.3.2 COMPRA DE MATERIALES Y CONSUMIBLES

La compra y requerimientos de los materiales, accesorios y consumibles deberán cumplir con el minimo estándar de calidad, seran de acuerdo a las especificaciones técnicas. Todos los materiales componentes seran fabricados en base a las especificaciones respectivas de cada norma aplicable.

5.3.3. RECEPCION DE MATERIAL EN TALLER

Los materiales serán recepcionados en las instalaciones de taller, proveniente de de fabrica y proveedores, estos seran almacenados en zonas adecuadas, debidamente demarcadas por cinta de señalización, los materiales seran verificadas e inspeccionadas de acuerdo al requerimiento.

La recepción será de manera ordenada, utilizando personal y equipos adecuados, necesario para la descarga y almacenamiento de los materiales.

5.3.4 TRAZO, CORTE DE PLANCHAS Y PERFILES METALICOS

Una vez recepcionadas las planchas y perfiles se procederán a ser distribuidas en piso del taller y trazadas para su proceso de cuadrado de planchas y corte correspondiente de acuerdo a los planos, considerando que la fabricación será de acuerdo a la norma de fabricación AISC.



Figura 5.3 Trazo en taller para corte y cuadrado de planchas ⁵⁰

El proceso de corte será realizara mediante una maquina semiautomática de oxicorte, este trabajo se realizara en mesas de trabajo metálicas, donde se

⁵⁰ Elaboración Propia

posesionara un riel para la maquina semiautomática tipo carrito realice el corte adecuado.

El corte de los perfiles y tuberías para las boquillas se realizara mediante esmeriles y disco de corte, según la norma y planos de fabricación.



Figura 5.4 Corte de planchas del tanque ⁵¹

5.3.5 BISELADO DE PLANCHAS Y PERFILES

El proceso de biselado, se realizara una vez terminado el corte de planchas y perfiles, el biselado consiste en preparar los bordes de las uniones a soldar, es un trabajo para garantizar una mejor penetración de la soldadura en unión de ambos materiales, aportando mas resistencia a los cordones de soldadura.

El biselado se realizara en planchas de mayor de 3 o 4 mm de espesor, haciendose un bisel en “V” o también llamado chaflan, con angulo apropiado que oscila entre los 45° y los 60°.

⁵¹ Elaboración Propia

5.3.6 ROLADO Y EMPLANTILLAMIENTO DE PLANCHAS DEL CUERPO DEL TANQUE

El proceso de rolado se realizara en las planchas del casco del tanque, mediante una maquina rolado compuesta por tres rodillos liso, analizando las condiciones de resistencia y sus propiedades mecánicas de las planchas.

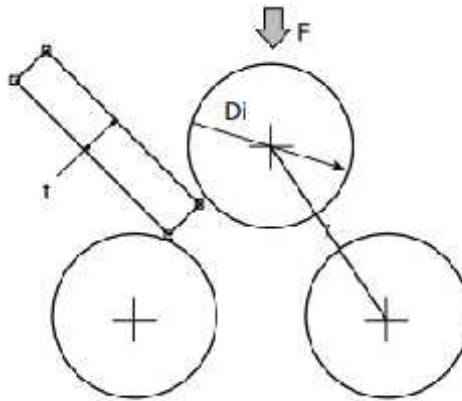


Figura 5.5 Esquematzación de una maquina roladora de 3 rodillos⁵²

Durante las maniobras de ingreso y salida de la roladora se contara con el apoyo de un balancín de maniobra y el montacargas, a fin de que se conserve el radio de rolado.

Los anillos del tanque estan conformado por seis planchas, cinco de ellas con longitud de 6m y una plancha de cerramiento con longitud de 2.99m.

Las planchas del cuerpo del tanque serán roladas, de la siguiente manera:

Las cinco planchas de cada anillo, con longitud de 6m serán roladas con un angulo interno de 65.5° , mientras que la plancha de cerramiento de cada anillo con una longitud de 2.99m serán roladas con un angulo interno de 32.5° , formado un angulo interno total de 360° .

⁵² Elaboración Propia

Una vez roladas las planchas, se procederá a realizar el emplantillamiento, mediante el uso de una plantilla de madera, para cersiorar el angulo correcto.



Figura 5.6 Rolado de planchas del cilindro ⁵³

5.3.7 PREPARACION SUPERFICIAL O ARENADO DE PLANCHAS

La superficie de las planchas del casco se deberá preparar, hasta alcanzar una limpieza similar a la norma SSPC-SP5 "Limpieza con chorro abrasivo grado al metal blanco". Este grado de limpieza en la superficie se alcanza cuando al ser evaluada sin magnificación, no tolera presencia de impurezas, retirando todo material extraño del acero (óxido, pintura antigua, escama de laminación u otros). El perfil de anclaje recomendado es de 1.5 a 2.5 mills de rugosidad. Un incremento en la rugosidad aumenta el área de contacto, incrementando el consumo de pintura de la capa base y la posibilidad de ocasionar corrosión por puntos.

El aire comprimido a usar debe encontrarse libre de contaminantes (agua y aceite), evaluado bajo la norma ASTM D4285.

⁵³ Elaboración Propia

El abrasivo usado debe de ser compatible con los requerimientos de la norma SSPC-AB1, debiendo la conductividad ser inferior a 1000 microsiemens/cm.

El proceso de arenado o preparación superficial, se realiza para abrir los poros de las planchas, para una mejor adherencia de la pintura, asimismo también se realiza para limpiar de contaminantes visibles (grasas, aceites, escoria, etc.).

Para el proceso de arenado deberá proteger con cinta los bordes a soldar) según las especificaciones del proyecto, la duración de esta etapa dependerá de la cantidad de equipos y disponibilidad.

Mediante el empleo de aire comprimido (seco y limpio) y arena fina, ayudados con escobillones de cerdas duras limpios y aspiradoras industriales de ser necesario, se debe remover todo residuo de abrasivo y polvo remanente de la preparación de superficie. Se deberá verificar que el nivel de polvo luego de limpiada la superficie.



Figura 5.7 Arenado de planchas ⁵⁴

⁵⁴ Elaboración Propia

5.3.8 PINTURA BASE DE PLANCHAS (INTERIOR Y EXTERIOR)

Se realizará la aplicación de pintura, de la primera capa de imprimante inorgánico de zinc (pintura de base). Sobre la superficie preparada (limpieza con chorro abrasivo grado al metal blanco según (SSPC-SP5) y si las condiciones ambientales son favorables, aplique mediante un equipo Airless (equipo de pintura de alta presión).

La aplicación de **capa base al interior del tanque**, será una capa uniforme de **imprimante inorgánico 3 mills seco**, la pintura en el interior será **ZINC CLAD 60 (A + B)**, ver ficha técnica Anexo 02, que es un primer inorgánico de zinc, suministrado en dos componentes (A y B), base líquida y polvo de zinc, que deben ser mezclados al momento de su uso. Brinda una extraordinaria y duradera protección galvánica del acero al carbono y evita la progresión corrosiva bajo la película en caso de daños, a la pintura se le aplicará un diluyente P30, al 20% del consumo de la pintura por galón, con un rendimiento práctico de 21.3 m² por galón.

La aplicación de **capa base al exterior del tanque**, será una capa uniforme **epoxy de 5 mills seco**, la pintura en el exterior será **MACROPOXY 646**, ver ficha técnica Anexo 02, que es una pintura epoxy modificada autoimprimante, suministrado en dos componentes, de altos sólidos en volumen, el cual otorga un excelente protección de cantos, esquinas y soldadura. Su rápido secado la hace ideal para el pintado de estructuras y equipos en taller. Tiene buena adherencia sobre superficies marginalmente preparadas, esta pintura será mezclada con un diluyente epoxico P33, al 20% del consumo de la pintura por galón, con un rendimiento práctico de 12.9 m² por galón.

A las 5 horas de secado (21°C), considerando que la ventilación sea la adecuada mida los espesores de película seca según la norma SSPC-PA2, el espesor seco debe de ser 3.0 mills promedio. Si no se alcanza el espesor mínimo aplique una capa adicional del imprimante. Tener en cuenta que el tiempo de repintado máximo entre capas estará indicado de acuerdo a las especificaciones técnicas del producto a usarse.

Para la aplicación de las pinturas se debe usar los equipos Airless recomendados en la hoja técnica de los productos, las mangueras deben estar limpias y las boquillas de pintado deben ser nuevas, con diámetro de orificio según lo indican las especificaciones técnicas del producto a utilizar el ancho de abanico deberá ser seleccionado de acuerdo al elemento a pintar.

La medida de espesor de la película de pintura, será mediante un equipo medidor de pintura especial llamado ELCOMETER.



Figura 5.8 Pintado base interior y exterior de planchas de cuerpo ⁵⁵

⁵⁵ Elaboración Propia



Figura 5.9 Pintado base de planchas de fondo y techo ⁵⁶

5.3.9 EMBAJALE, TRASLADO DE PLANCHAS, PERFILES, MATERIALES CONSUMIBLES A OBRA.

Las planchas ya en capa base de pintura serán embaladas y transportadas a campo debidamente cargadas, en el caso de las planchas roladas, estas estarán debidamente calzadas con “cama” acondicionada para que no pierda su radio de rolado.



Figura 5.10 Proceso de transporte de planchas y estructuras a campo ⁵⁷

⁵⁶ Elaboración Propia

⁵⁷ Elaboración Propia

5.4 MONTAJE DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO EN OBRA

5.4.1. REQUISITOS GENERALES DE SEGURIDAD PREVIO AL MONTAJE.

Antes de iniciar las actividades diariamente se verificara que no exista material inflamable o combustible que pueda explotar o incendiarse al realizar trabajos en caliente.

Cada obrero debe ser informado en una sesión previa de entrenamiento de los riesgos potenciales involucrados en el proceso de montaje y soldadura, así como de las políticas del cliente, regulaciones y normas de seguridad que existen en el área de trabajo y medio ambiente.

Capacitar al personal sobre el uso de monitor de gases (explosímetro), colocar carteles indicando los colores y sonidos de riesgo. Se deberá tener los extintores necesarios según se determine por el supervisor de seguridad industrial o por la autoridad respectiva.

La medición de niveles de ruido durante la ejecución del trabajo se debe realizar según determine el supervisor de seguridad industrial tomando en cuenta los niveles de tolerancia permitidos. Se debe contar con equipo de primeros auxilios, el cual siempre debe estar disponible, con los medicamentos en perfectas condiciones y listos para ser utilizados.

Durante todo el tiempo de montaje el trabajador deberá llevar puesto todo el equipo de protección personal (EPP), como son: camisa, pantalón jeans, botas de cuero con punta de acero, guantes, casco, protectores auditivos y gafas de seguridad.

Cuando los trabajadores se encuentren trabajando a alturas superiores a un metro ochenta centímetros (1,80 m), estos tendrán que llevar arneses asegurados con una línea de vida, para evitar caídas graves y accidentes.

5.4.2 REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE RECURSOS.

En el proceso de construcción del tanque se deberá tener en cuenta el siguiente personal, equipo y herramientas para realizar el trabajo.

PERSONAL.

PERSONAL CALIFICADO

- Ingeniero Mecánico (Residente)
- Ingeniero de Planificación y Costos
- Ingeniero Mecánico QA/QC
- Ingeniero en Seguridad Industrial.
- Supervisor de Montaje de tanques
- Administrador de Obra
- Soldadores calificados (3G, 4G)

PERSONAL NO CALIFICADO

- Topografo
- Montajistas
- Esmeriladores
- Ayudantes mecánicos.
- Operario de Camión Grúa
- Operario Rigger
- Operario Pintor
- Ayudante Pintor
- Almaceneros

MATERIALES Y CONSUMIBLES

- Pintura Fenolica (Acabado Interior)
- Pintura Epoxica (Acabado Exterior)
- Electrodo 6010 / 7018
- Discos de Corte de 4.5" / 7"
- Tizas de Caldero
- Trapo Industrial
- Tintes Penetrantes

EQUIPOS Y MAQUINARIAS.

- Estación Total
- Equipo medidor de gases (Explosímetro)
- Máquina de soldar tipo Miller
- Equipo de oxiacete
- Esmeriles de 4.5" / 7.5"
- Gatos Hidráulicos de 10 toneladas
- Torres de Andamios de 11 metros de altura
- Bomba centrífuga de 6"
- Generador de energía de 100 kv
- Tableros Electricos
- Extensiones electricas
- Compresor de 250 CFM
- Equipo de Pintura
- Columnas Metálicas
- Camión grúa capacidad 6.7 toneladas
- Camioneta 4x4
- Bus de personal
- Canastilla para dos personas
- Container para almacenes de materiales
- Container para oficinas de personal administrativo
- Radios de Comunicación

HERRAMIENTAS

- Herramientas de Izaje (grilletes, eslingas, sogas, etc.)
- Caja de Herremientas metálicas
- Cuadrantes P/Montaje
- Mensulas
- Chicagos P/Montaje
- Cuñas P/Montaje
- Chapetas P/Montaje
- Espaciadores P/Montaje
- Escalera de Montaje

5.4.3 IDENTIFICACION DE MATERIALES.

Todos los materiales utilizados en el montaje de los tanques deben ser identificados y deben tener sus respectivos certificados de autenticidad del material y/o certificados del fabricante. Todos los materiales, que según los planos se requieran para el montaje del tanque, se reciben, inspeccionan y aprueban de acuerdo a la especificación del contratante.

5.4.4 PRELIMINARES PARA EL PROCESO DE MONTAJE EN CAMPO

El proceso de montaje del tanque consta de varias etapas, trabajos o actividades que las describimos en la siguiente figura:



MONTAJE DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE DIESEL DE 200.000 GALONES DE CAPACIDAD, SEGUN NORMA API 650

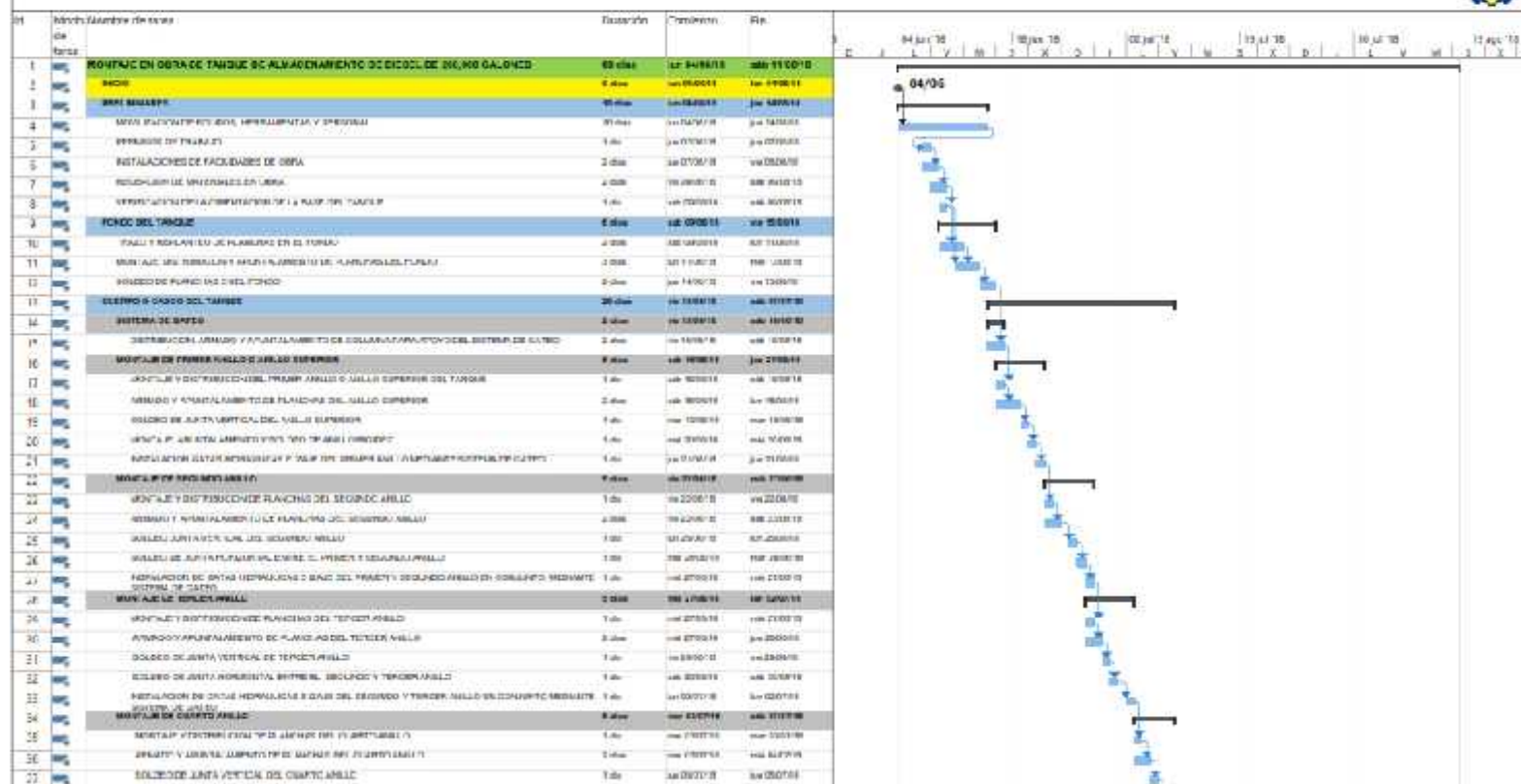


Figura 5.11.a Procedimientos de montaje en campo ⁵⁸ (Anexo 03)

⁵⁸ Elaboración Propia – Anexo 03



MONTAJE DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE DIESEL DE 200,000 GALONES DE CAPACIDAD, SEGUN NORMA API 650



Figura 4.11.a Procedimientos de montaje en campo ⁵⁹ (Anexo 03)

⁵⁹ Elaboración Propia – Anexo 03

5.4.4.1 MOVILIZACION DE EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y PERSONAL A OBRA

Se realizará la movilización de las maquinas, equipos, herramientas, personal, así como también las facilidades temporarias las cuales se ubicaran en el área asignada al proyecto, como son oficinas, talleres, almacenes, servicios higiénicos, agua potable para consumo humano, etc., necesario para el desarrollo del proyecto, la movilización se realizara mediante camiones plataformas, cumpliendo con los estándares de seguridad y protección del medio ambiente.

5.4.4.2 PERMISOS DE TRABAJO

Previamente a realizar los trabajos en campo, se deberá emitir los permisos de trabajos, ante el cliente para empezar a realizar las actividades correspondientes a soldadura, con el fin de iniciar con una autorización aprobada, los trabajos que implican controlar fuentes de ignición o combustión, gases inflamables, tóxicos y nocivos, etc.

5.4.4.3 INSTALACIONES DE FACILIDADES DE OBRA

La instalaciones de facilidades se ubicaran en un area proporcionada por el cliente, se instalaran las facilidades de obra para realizar el trabajo tales como oficina, taller, almacenes, baños quimicos entre otros facilidades para ejecutar correctamente los trabajo, los cuales deberá contar con los servicios básicos: agua, luz, teléfono e internet.

5.4.4.4 RECEPCION DE MATERIALES EN OBRA

Los materiales serán recepcionados en las instalaciones de obra, para el proceso de maniobras, carguío, transporte, descarguio de los materiales llegados de taller, contaremos con el apoyo el camión grúa y de ser el caso de un montacargas.



Figura 5.12 Recepción de planchas en obra ⁶⁰

5.4.4.5 VERIFICACION DE LA CIMENTACION DE LA BASE DEL TANQUE

Antes de montar el tanque se verifica la cimentación que se encuentre en buenas condiciones y cumpla con requerimientos para el montaje del tanque. El tanque sera montado sobre un anillo de concreto armado, el soportara el peso total de total y la capacidad del tanque, los cuales fueron diseñados y construidos de acuerdo a las recomendaciones que la normativa API 650.

El Montaje de láminas del fondo será soportado sobre una base de hormigón cuya área y altura (volumen de anillo) será determinada y calculada por el diseño de Ingeniería Civil y aprobado por el Supervisor.

Los ejes principales de la planta deberán marcarse cada 90° para la construcción; el norte constituirá 0° y en dirección a las manillas del reloj, a menos que los planos ó diseños del proyecto lo indiquen de otra manera.

⁶⁰ Elaboración Propia



Figura 5.13 Verificación de anillo de cimentación de concreto ⁶¹

5.4.5 MONTAJE DE FONDO DEL TANQUE

5.4.5.1 TRAZO Y REPLANTEO DE PLANCHAS EN EL FONDO

El trazo y replanteo se realizara con un topógrafo y sus equipos (estación total y nivel óptico), se llevara el control de los correspondientes puntos topográficos obtenidos de nuestro replanteo topográfico, para lo cual se marcaran puntos con spray o pintura en lugares referenciales de la cimentación de tal manera que cuando toque realizar las actividades de montaje, queden identificadas dichas cotas y niveles así como la orientación y ubicación de las entradas y registros del tanque.

Según planos aprobados sobre la cimentación realizada se trazará en primer lugar la puerta de limpieza como punto referencial para la orientación, una vez trazado este punto se procede al trazo del centro y diámetro del tanque.

⁶¹ Elaboración Propia

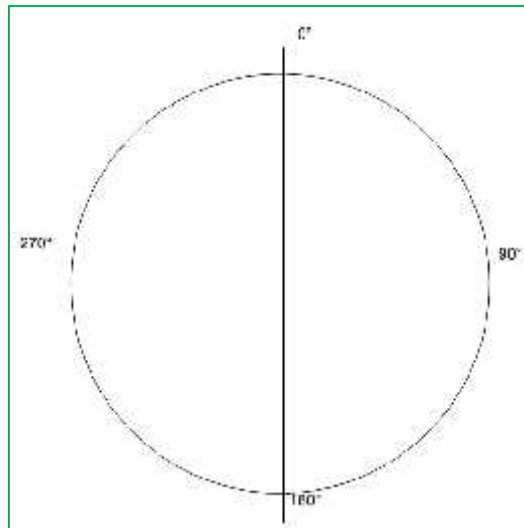


Figura 5.14 Trazo, replanteo y ubicación de coordenadas ⁶²

5.4.5.2 MONTAJE, DISTRIBUCION Y APUNTALAMIENTO DE PLANCHAS DEL FONDO.

Las planchas de fondo se montaran y se distribuirán sobre la cimentación, mediante un camión grúa, realizando maniobras de izaje desde un extremo hacia otro, se alinearan a los ejes y coordenadas trazados, de tal manera que se van colocando

⁶² Elaboración Propia

las planchas tras planchas, traslapadas al menos 1" o 2.5 cm, de lo indicado en la especificación técnica o norma API.

Las planchas del fondo se comenzaran a distribuir desde el centro se colocan las láminas observando la orientación de las mismas de acuerdo a planos de construcción y montaje, con una pendiente de hacia el centro de 1.5%.



Figura 5.15 Distribución de las planchas de fondo ⁶³

Cada fila de las placas una vez posicionada es marcada para asegurar el traslape según planos de montaje de 1 pulg (25 mm) a 2 pulg (50 mm), una vez marcadas se ubican topes para limitar el movimiento de la plancha que va a quedar traslapada por encima de la anterior, este procedimiento se sigue hasta llegar al centro. Pasando el centro las láminas deben ir quedando traslapadas por debajo.

⁶³ Elaboración Propia



Figura 5.16 Traslape de 1 pulgadas o 25 mm.⁶⁴

Las planchas se deberán apuntalar cada 500mm aproximadamente (principalmente en zonas de traslape múltiple) para lograr mantener la distribución y evitar que se desplacen las planchas en el proceso de maniobra y montaje.

Teniendo las láminas del fondo correctamente distribuidas y aseguradas unas a otras con puntos de soldadura, se procedera iniciar la soldadura general del fondo.



Figura 5.17 Apuntalamiento de planchas en el fondo del tanque⁶⁵

⁶⁴ Elaboración Propia

⁶⁵ Elaboración Propia

5.4.5.3 SOLDEO DE PLANCHAS DEL FONDO DEL TANQUE

Una vez realizado el apuntalamiento, se procedera a soldar las planchas del fondo, para el soldeo es recomendable que el inicio de las soldaduras se haga cuando exista la máxima temperatura en el medio ambiente, en ésta forma minimizan los abombamientos.

Es importante tener una secuencia en las soldaduras para evitar deformaciones y curvaturas en el fondo. Se soldara mediante el metodo del perigrino, para la no contracción de las planchas, de forma intermitente e ininterrumpida siempre de afuera hacia afuera, asimismo el tiempo se inicia la soldadura del fondo desde la lámina central del tanque con las juntas transversales dejando sin soldar las láminas orilleras luego se sueldan longitudinales también dejando orilleras sueltas, por último se sueldan éstas.

Se debe tener mucho cuidado al soldar las uniones triples, ya que es en estos puntos donde generalmente se producen las fallas de impermeabilidad.

Las soldaduras del fondo deben ser inspeccionadas visualmente y con campana de vacío, de acuerdo a los procedimientos de Inspección Visual.

Las juntas radiales soldadas deben ser examinadas por medio de radiografía y líquidos penetrantes, con el fin de tener la certeza de que por estas no hay escapes.

Las planchas serán soldadas a filete, con un cateto igual al espesor de la plancha de 8mm, una vez que se concluyó el conformado y soldadura de la zona periférica del fondo, se puede iniciar el montaje de las láminas del cuerpo.



Figura 5.18 Soldeo de planchas en el fondo del tanque ⁶⁶

5.4.6 MONTAJE DE CASCO O CUERPO DEL TANQUE

5.4.6.1 METODO DEL SISTEMA DE GATEO PARA MONTAJE DEL CASCO

El método general del montaje de la pared del tanque, por el sistema de gateo es de la siguiente manera:

- 1.- Trazo y distribución equidistante de las columnas de apoyo del sistema de gateo.
- 2.- Montar y fijar un canal guía de soporte para el descanso temporal de las planchas.
- 3.- Montaje del primer anillo (anillo superior), mediante un camión grúa.

⁶⁶ Elaboración Propia

- 4.- Armado de cuerpos de andamios homolados en el perimetro interno y externo del tanque, torre de andamios de 2.1 mts de ancho x 3 mts de altura mas un metro de barandas.
- 5.- Fijar y soldar las juntas verticales del primer anillo (anillo superior).
- 6.- Montaje del Angulo de rigidez.
- 7.- Ajustar y soldar la junta circunferencial entre las placas del primer anillo de la envolvente y el anillo de rigidez.
- 8.- Colocación de la gatas hidraulicas en la parte inferior de las planchas, con una plancha de refuerzo.
- 9.- Izaje del anillo superior mediante el accionamiento manual de las gatas y posicionamiento de polines enbonados, para la altura correspondiente del anillo.
- 10.- Retiro intercalado de la mitad de las gatas hidraulicas usadas, quedando suspendida el primer anillo en la otra mitad de las gatas.
- 11.- Montaje y colocación de las placas del segundo anillo, sobre los soportes temporales.
- 12.- Ajustar, fijar y soldar la junta vertical de las placas del segundo anillo.
- 13.- Ajustar y soldar la junta horizontal entre el primer anillo y el segundo anillo.
- 14.- Colocación de la gatas hidraulicas en la parte inferior de las planchas, del segundo anillo.
- 15.- Izaje del primer anillo y segundo anillo mediante el accionamiento manual de las gatas y posicionamientos de los polines embonados, para la altura correspondiente del anillo siguiente.
- 16.- Montaje de los anillos restantes: tercer y cuarto anillo (anillo inferior), siguiendo la misma secuencia.

5.4.6.2 DISTRIBUCION, ARMADO Y APUNTALAMIENTO DE LAS COLUMNAS DE APOYO PARA EL SISTEMA DE GATEO

Luego de inspeccionado el fondo del tanque, se vuelve a realizar el trazo de la circunferencia del tanque para seguidamente proceder a instalar las facilidades del sistema de gateo, para el montaje del casco del tanque: En primer lugar se distribuyen 12 columnas (canal "C" de 6") al interior de la circunferencia como guías principales.



Figura 5.19 Distribución de columnas de apoyo de sistema de gateo ⁶⁷



Figura 5.20 Trazo y ubicación de soportes de columna para el sistema de gateo ⁶⁸

⁶⁷ Elaboración Propia

⁶⁸ Elaboración Propia

Luego se colocan 36 “cachacos” (canales “C” de 6”) los cuales servirán de guías y soporte inicial de las planchas de cilindro o casco.

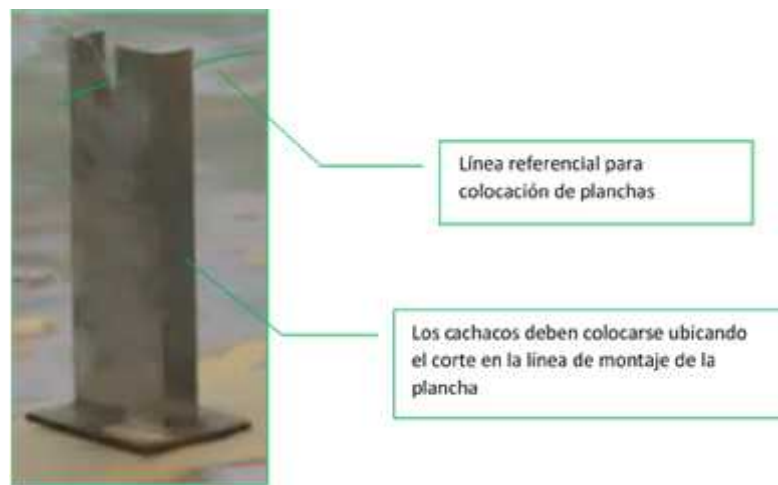


Figura 5.21 Soportes metálicos para descanso temporal de planchas ⁶⁹

La distribución final debe respetar la simetría de la circunferencia, se debe verificar la colocación de las columnas guía y cachacos de acuerdo al trazo requerido y a su vez la verticalidad de estos elementos.

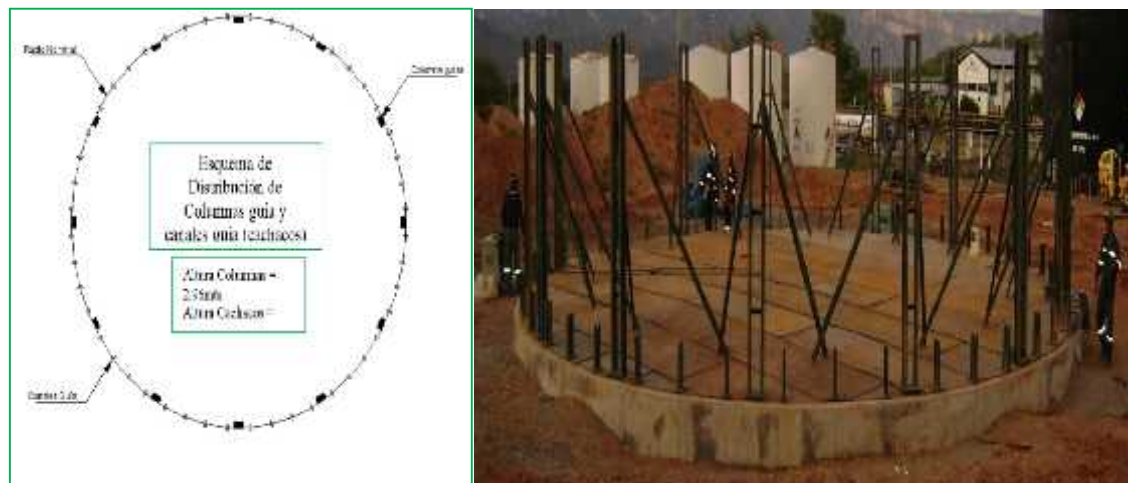


Figura 5.22 Armado de columnas apoyo y cachacos de sistema de gateo ⁷⁰

⁶⁹ Elaboración Propia

⁷⁰ Elaboración Propia

5.4.6.3 MONTAJE DE PRIMER ANILLO O ANILLO SUPERIOR

El montaje de las panchas de la pared se montaran de acuerdo a los planos y especificaciones tecnicas, siendo estos aprobados por el cliente para la construcción.

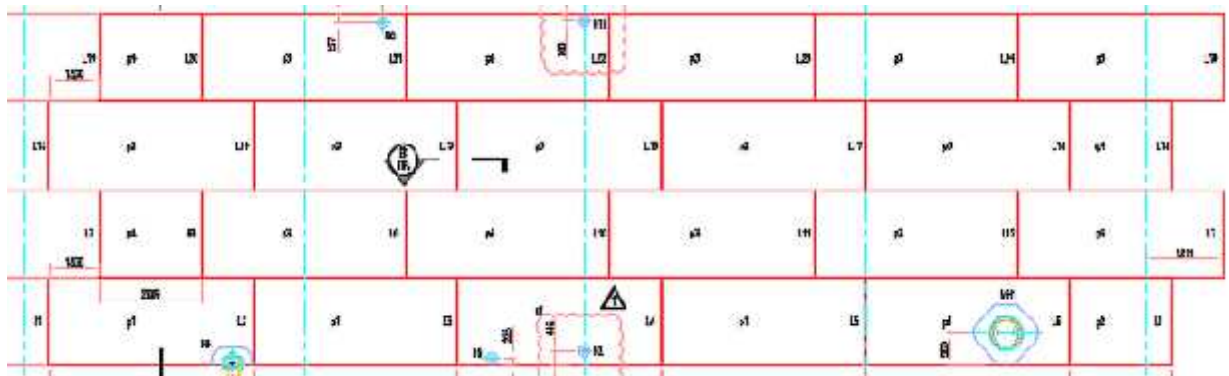


Figura 5.23 Distribución de las planchas del casco ⁷¹

Se procede a colocar las planchas roladas para el primer anillo (anillo superior), asentándolas en el canal guía y apoyadas en las columnas, en esta etapa se realiza el chequeo con una plantilla que verificará el radio del tanque de manera puntual, para este chequeo se utilizará plantillas metálicas.

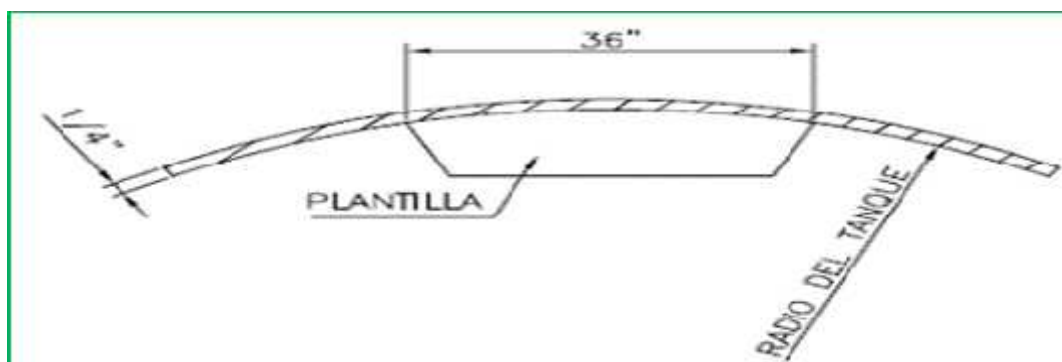


Figura 5.24 Diagrama de detalle de colocación de plantilla de las planchas ⁷²

⁷¹ Elaboración Propia

⁷² Elaboración Propia

Al momento de colocar la última plancha que completa el anillo se procede a tomar medidas finales, puesto que esta plancha tiene demasía y debe ser retirada para culminar el montaje del anillo, este paso se repite para cada anillo montado, en este momento se verifica el radio real del tanque el cual no debe exceder.

Finalmente se realiza el chequeo con la plomada de manera tal que se respete los ajustes en las revisiones anteriores, para así lograr estar en los rangos que nos pide el proyecto, se deberá presentar la documentación respectiva para continuar con el desarrollo del montaje.



Figura 5.25 Alineamiento o Plomada de planchas ⁷³

Para iniciar el montaje de las láminas estas deben estar preparadas, para el proceso de montaje de las planchas del casco (por anillo), se realizará con el apoyo del camión grúa y su balancín de maniobra para ayudar a estabilizar y colocar las planchas en su posición correcta. Se utilizarán dos vientos a cada extremo de las planchas para mayor control de la misma.

Cada plancha es movilizada una por una hasta su sitio de montaje con la ayuda de una grúa que se encuentra permanentemente en el sitio.

⁷³ Elaboración Propia



Figura 5.26 Distribución y montaje de las planchas del primer anillo o anillo superior ⁷⁴

5.4.6.4 APUNTALAMIENTO DE PLANCHAS EN EL PRIMER ANILLO

El apuntamiento de las planchas es alinear las lámina adyacente, para instalar los alineadores. Las distancias de los cuadrantes a la orilla de la lámina, son de acuerdo a los planos y a la medida de los alineadores.

El ancho de ranura anteriormente mencionado se mantiene con espaciadores asegurados mediante cuñas y alineadores.

El soldador realiza el apuntamiento una vez fijado los espaciadores, colocando puntos de soldadura en distancias separadas de 50 cm aproximadamente, quedando asegurado la posterior al soldeo de las planchas en vertical.

⁷⁴ Elaboración Propia



Figura 5.27 Apuntalamiento con espaciadores al interior de primer anillo ⁷⁵



Figura 5.28 Apuntalamiento con espaciadores al exterior de primer anillo ⁷⁶

⁷⁵ Elaboración Propia

⁷⁶ Elaboración Propia

5.4.6.5 SOLDEO DE JUNTA VERTICAL DE PLANCHAS DEL PRIMER ANILLO

Despues de haber realizado el apuntalamiento de las planchas del primer anillo se procede a soldar las planchas en forma vertical, el cordon de soldadura será a tope de acuerdo a los planos, este cordon de soldadura tendrá un luz de raíz de 3mm, con un bisel de angulo de 60° hacia el exterior del tanque.

El soldeo se realizara en forma equidistante para evitar contracciones y deformaciones de las planchas, el proceso de soldeo será mediante 6 soldadores homologados de calificación 4G, estos se estarán organizados en 3 cuadrillas de conformado por 2 soldadores, donde en cada cuadrilla se ubicaran un soldador por la parte interior del tanque y el otro soldador se ubicara en la parte exterior del tanque, permitiendo soldar en forma paralela e instantanea el mismo cordon de soldadura vertical.

El cordon de soldadura de raíz, será con electrodo 6010, y para los pases de relleno y acabado serán con 7018, de acuerdo WPS, según API 650, este proceso hace que las láminas en sus juntas verticales se deformen temporalmente hacia adentro; se procede a preparar la junta interior del tanque, limpiando escorias con disco-esmeril.



Figura 5.29 Soldadura de junta vertical al interno de primer anillo ⁷⁷



Figura 5.30 Soldadura de junta vertical al exterior de primer anillo ⁷⁸

⁷⁷ Elaboración Propia

⁷⁸ Elaboración Propia

5.4.6.6 MONTAJE Y SOLDEO DE ANGULO DE RIGIDEZ

La instalación del ángulo de rigidez se ubicara en la parte superior de la plancha del anillo superior, en unión con el techo será soldado a filetes con cordones alternados en todo el perímetro del tanque.

La colocación y soldadura del ángulo de rigidez se hace con los mismos accesorios de montaje (separadores y cuñas) y procedimiento de soldadura de los anillos.

Este angulo de rigidez permite asegurar la redondez del tanque.

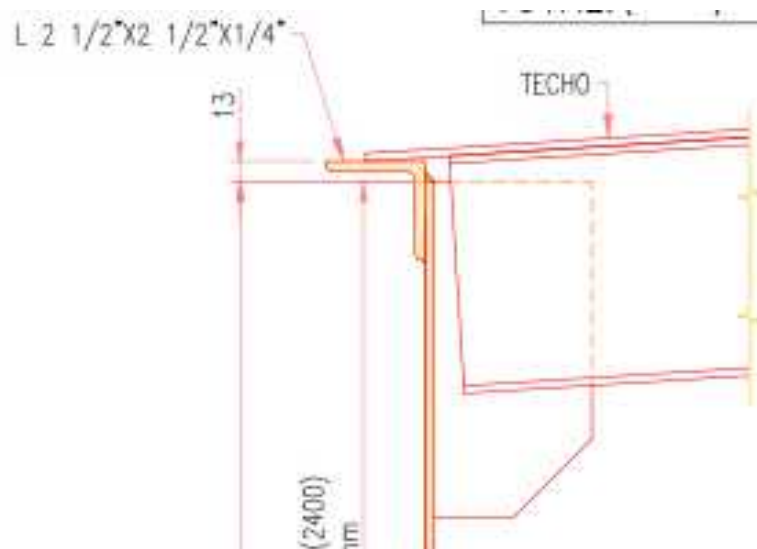


Figura 5.31 Angulo de rigidez ⁷⁹

5.4.6.7 INSTALACION DE GATAS HIDRAULICAS E IZAJE DE PRIMER ANILLO

Una vez realizado el soldeo del primer anillo, se procede a realizar el cálculo para la selección de la capacidad de las gatas hidráulicas a utilizar, de la siguiente manera:

⁷⁹ Elaboración Propia

CALCULO DE CARGA REAL SOBRE UNA GATA

- ✓ CAPACIDAD TQ = 200, 000 GALONES
- ✓ DIAMETRO = 10.50 Metros
- ✓ ALTURA = 9.622 Metros
- ✓ PESO 1ER ANILLO = 3,729.19 Kg
- ✓ PESO 2DO ANILLO = 3,729.19 Kg
- ✓ PESO 3ER ANILLO = 3,729.19 Kg
- ✓ PESO MAXIMO GATEO = 11,187.57 Kg
- ✓ NUMERO GATAS (PERIMETRO/2.75) = 12 und
- ✓ PESO QUE SOPORTA UNA GATA = 932.3 Kg
- ✓ CAPACIDAD DE LA GATA = 10,000 Kg

Una vez calculada la capacidad de las gatas se realiza al levantamiento del mismo con el uso de 12 gatas de 10 Toneladas (Peso máximo a levantarse 11 toneladas peso aproximado de tanque), dicho proceso de montaje se realiza de la siguiente manera:

a.- Se procede a colocar las gatas en los interiores de cada columna, estas gatas en su primera posición estarán sobre la plancha del fondo, la gata se elevara hasta llegar a la parte inferior de la plancha, en este momento se coloca una plancha que servirá como soporte para el proceso de elevación del anillo.



Figura 5.32 Instalación de gatas de 10 toneladas ⁸⁰

b.- Una vez ubicado el soporte Plancha (PL 1/4”), se inicia la elevación de las planchas del casco, se procede a levantar el espacio que nos permite el embolo de la gata utilizada (aproximadamente 15 cm mínimo), el levantamiento se realiza de forma coordinada en paralelo de las 12 gatas.

⁸⁰ Elaboración Propia



Figura 5.33 Izaje de primer anillo o anillo superior a 0.3 m de altura ⁸¹

c.- Se coloca los polines, adecuados con la gata en la parte superior, debe ajustarse a las abrazaderas con las columnas, para darle rigidez y estabilidad.



Figura 5.34 Colocación de polines embonados debajo de las gatas hidráulicas ⁸²

d.- En este momento se liberan o se cambia 06 gatas hidráulicas, a las cuales se deberá adicionar un tramo de tubería 3" o "polín", se vuelve a suspender el anillo

⁸¹ Elaboración Propia

⁸² Elaboración Propia

con estas últimas gatas y se continua izaje, quedando liberadas las 06 gatas iniciales para colocar un polín de mayor altura, de esta manera, secuencial y sincronizada, se realiza el gateo.

Este proceso de cambio de gatas hidráulicas debe seguirse en cada momento de elevación de las planchas, se coloca primero el anillo que ira en la parte superior del tanque.



Figura 5.35 Cambio de posición de gatas hidráulicas ⁸³

e.- La adición de tubería de acero de diámetro 3"; de manera alternada, primero 06 gatas y después las 06 gatas restantes será repetido hasta elevar el primer anillo a la altura suficiente para poder colocar el siguiente anillo (3" aproximadamente adicional a la altura del anillo en proceso de izaje), altura final de izaje será de 3 m.

⁸³Elaboración Propia



Figura 5.36 Izaje final de primer anillo o anillo superior a 3 m de altura ⁸⁴

5.4.6.8 DISTRIBUCIÓN Y MONTAJE DE PLANCHAS DE SEGUNDO ANILLO

Una vez izado el primer anillo a una altura de 3 metros, se procede a retirar 6 gatas hidráulicas en forma intercalas, una vez retiradas las gatas hidráulicas se procede a distribuir las planchas de segundo anillo, en los espacios donde fueron retiradas las primeras gatas hidráulicas, estas planchas se ubicaran por debajo del primer anillo, teniendo en cuenta que entre el primer anillo y el segundo anillo, existira una luz para el cordón de soldadura horizontal, según los planos, una luz de 3 mm, con un bisel 45°, estas planchas seran distribuidas con el apoyo de un camion grúa de 6.7 toneladas, con su respectivo operador, personal venteros y operadores montajista, debidamente calificado para realizar el trabajo de montaje, una vez montadas se realizara el alineamineto y apuntalamiento de las planchas, mediante los alineadores y separadores de plachas (ochavos), quedando listo para el soldeo entre planchas.

⁸⁴Elaboración Propia

Tener en cuenta que las intersecciones de las planchas del segundo anillo deben tener un desfase con respecto a las intersecciones de las uniones del primer anillo, para evitar las concentraciones de fuerza y fatiga en las uniones.



Figura 5.37 Distribución de planchas del segundo anillo ⁸⁵



Figura 5.38 Apuntalamiento de intersecciones del primer y segundo anillo ⁸⁶

⁸⁵ Elaboración Propia

⁸⁶ Elaboración Propia

5.4.6.9 SOLDEO DE JUNTA VERTICAL DE PLANCHAS DEL SEGUNDO ANILLO

Una vez apuntaladas las planchas del segundo anillo, se procede a soldar los cordones verticales, tanto interior y exterior del tanque, con una luz de raíz de 3 mm, con un bisel de 60° hacia el exterior. El pase de raíz sera soldado con electrodo 6010, para los pases de relleno y acabado sera electrodo 7010.

En las zonas que se encuentren las costuras en niveles donde el personal necesite tener plataformas de trabajo, se armaran andamios multidireccionales, colocándosele barandas de protección.

El soldeo será en forma intermitente y equidistante para evitar contracciones o dilataciones de las planchas.



Figura 5.39 Soldadura de junta vertical en el segundo anillo ⁸⁷

⁸⁷ Elaboración Propia

5.4.6.10 SOLDEO DE JUNTA HORIZONTAL ENTRE PLANCHAS DEL PRIMER ANILLO Y SEGUNDO ANILLO

Una vez soldado los cordones verticales, se procedera a unir los anillos o virolas del primer anillo (anillo superior) con el segundo anillo mediante un cordón horizontal, este soldeo se realizara en forma equidistante para evitar la contracción de las planchas, se realizara en tres puntos intermitentes, en mismo sentido, con tres cuadrillas de soldadores, cada cuadrilla estara conformado por 2 soldadores de calificación 4G, cada soldador de cada cuadrilla se ubicara uno en el interior de tanque y otro soldador se ubicara en el exterior del tanque, estos soldadaran en forma instantanea tanto interno y externo.

Para el soldeo se armaran torre de andamios de 2.1 metros de ancho por 3 metros de altura, estas se ubicaran al perimetro interno y externo del tanque.

Una vez terminado el soldeo de las planchas, se verificara el diametro, perimetro, redondez y verticalidad entre anillos.



Figura 5.40 Soldeo de junta horizontal entre primer y segundo anillo ⁸⁸

⁸⁸ Elaboración Propia

5.4.6.11 INSTALACION DE GATAS E IZAJE DE PRIMER Y SEGUNDO ANILLO

Una vez realizado el soldeo horizontal de los dos primeros anillos, se procede a colocar las gatas en los interiores de cada columna guía, se instalara las 12 gatas hidraulicas distribuidas equidistantes, para el levantamiento en conjunto, estas se apoyaran sobre la base del tanque, para luego realizar el accionamiento manual de las gatas hidraulicas, una vez realizado el primer levantamiento, se colocaran los polines embonados, bajo la gatas hidraulicas, estos seran en forma intermitente donde se retiraran 6 gatas hidraulicas en forma intercaladas, quedando las restante en forma suspendida, se continua el izaje, quedando liberadas las 06 gatas faltantes para colocar un polín de mayor altura, de esta manera, secuencial y sincronizada, se realiza el gateo, este proceso de levantamiento se repite hasta alcanzar una altura de 3 metros, para la instalación de siguiente anillo.

Una vez llegado a la altura deseada de verificara la redondez y verticalidad de los anillos montados.



Figura 5.41 Instalación de gatas hidráulicas en segundo anillo ⁸⁹

⁸⁹ Elaboración Propia



Figura 5.42 Izaje por gateo del primer y segundo anillo en conjunto ⁹⁰

5.4.6.12 MONTAJE DE TERCER Y CUARTO ANILLO (ANILLO INFERIOR)

Para el montaje del tercer y cuarto anillo se tienen en cuenta el desarrollo de la envolvente. Se colocan los espaciadores para conservar la luz (ancho de ranura entre láminas) para la soldadura en las juntas horizontales.

Las placas se conectan por medio de alineadores de la misma manera que en el primer anillo. Terminando el montaje de los alinadores en el segundo anillo y con las láminas punteadas se verifica el diámetro, perímetro, verticalidad, desviaciones (peaking y banding) entre anillos y se procede a soldar

El montaje y soldeo de los anillos restantes (tercer y cuarto anillo), se realizaran siguiendo el mismo procedimiento de primer y segundo anillo montados, teniendo en cuenta lo siguiente:

⁹⁰ Elaboración Propia

- a.- Una vez colocadas las láminas se verifica nuevamente diámetro, perímetro, verticalidad y redondez para poder iniciar el proceso de soldadura que permite que estas placas formen un solo anillo.
- b.- Después que se tiene soldado el ángulo superior, se marca según el plano la distancia entre cartelas y se puntean las mismas al ángulo de tope y cuerpo.
- c.- Soldar siempre las juntas verticales antes que las horizontales.
- d.- Posteriormente se sueldan los topes en el perímetro para el montaje de las láminas con el fin de asegurar la redondez del mismo, a continuación se siguen montando las otras láminas cuidando siempre que la luz (ancho de ranura entre láminas) esté conforme a los planos para soldaduras verticales.



Figura 5.43 Montaje de tercer anillo ⁹¹(Fuente: Propia)

⁹¹ Elaboración Propia



Figura 5.44 Soldeo de tercer anillo ⁹²



Figura 5.45 Izaje por sistema de gateo de tercer anillo ⁹³

⁹² Elaboración Propia

⁹³ Elaboración Propia



Figura 5.46 Montaje de cuarto anillo ⁹⁴(Fuente: Propia)



Figura 5.47 Soldeo de junta horizontal entre tercer y cuarto anillo ⁹⁵

⁹⁴ Elaboración Propia

⁹⁵ Elaboración Propia

5.4.7 SOLDEO DE FONDO CON CASCO

Luego de montar y soldar el cuarto anillo o anillo inferior, la primera lámina del anillo a montarse debe ser aquella que tenga la puerta de limpieza, con el fin de que esta sirva para determinar la orientación de la envolvente.

Terminadas las soldaduras de la envolvente se procede al armado y soldadura del encuentro cuerpo-fondo.

Para la soldadura del encuentro cuerpo-fondo se realiza el 1er pase, después del cual se examina dicha junta mediante la prueba de diésel según especifica la norma API 650, donde se aplica el combustible en la parte externa de la junta y se deja reposar por 4 horas aproximadamente.

Se realiza la inspección visual después por la parte interna del cordón para verificar ausencia de fugas, una vez examinada dicha junta se procede a finalizar la junta interna y se continúa con la soldadura externa.

Esta primera lámina se soporta con vientos, o puntuales, teniendo el cuidado de constatar el radio interior del tanque, este trabajo se realiza colocando guías unidas al fondo, tanto interior como exteriormente, para evitar que se corran al montar las otras láminas.

Debe soldarse por la parte convexa cuatro cuadrantes cerca de a las juntas verticales.

Se debe tener presente al armar el primer anillo que las juntas verticales no coincidan con las juntas del fondo. Esta revisión se debe hacer con anterioridad en el desarrollo de los planos y verificar en el campo.



Figura 5.48 Soldeo de fondo con casco ⁹⁶

5.4.8 MONTAJE DE LA COLUMNA CENTRAL Y LAS VIGAS DEL TECHO

En la parte central del fondo del tanque se montará la columna central, considerando la altura que debe tener el techo y la pendiente del mismo, sobre ella se colocará más adelante la plancha capitel, donde se fijaran los canales a la plancha. La columna central (tubo de 6" sch 40) estará apuntalada, luego se hará el montaje definitivo de sus refuerzos y guías en la base de tanque así como el soldeo final previo al montaje de las planchas del casco y el techo.

La columna central sera soldada en la base inferior con planchas de refuerzos de ¼" de espesor y canales C8x11.5#.

⁹⁶ Montaje de tanque 2004

Después de verificar la ubicación final de las cartelas, se procede a soldar las mismas. En el centro del fondo del tanque, se colocara la base de la columna central y su posterior ubicación final.

Después de que la columna central este ubicada y asegurada se procede al montaje de las vigas (araña) que van desde la columna ya nombrada a las cartelas, siendo estas sujetadas por pernos en los dos lados.



Figura 5.49 Montaje e instalación de base de la columna central ⁹⁷

⁹⁷ Elaboración Propia



Figura 5.50 Colocación de la columna central ⁹⁸



Figura 5.51 Instalación de cartelas ⁹⁹

⁹⁸ Montaje de tanque 2004

⁹⁹ Montaje de tanque 2004



Figura 5.52 Instalación y conformación de las vigas del techo¹⁰⁰



Figura 5.53 Colocación de pernos entre vigas y cartelas ¹⁰¹

¹⁰⁰ Montaje de tanque 2004

¹⁰¹ Montaje de tanque 2004



Figura 5.54 Conformado final de vigas ¹⁰²



Figura 5.55 Ajuste o torqueo de pernos ¹⁰³

¹⁰² Montaje de tanque 2004

¹⁰³ Montaje de tanque 2004

5.4.9 MONTAJE DEL TECHO CONICO DEL TANQUE

Para montar techos cónicos, las planchas se colocan de acuerdo a los planos aprobados para la construcción.

Tanto los anillos, las planchas internas y las juntas del ángulo de tope deben estar completamente soldados.

Para el montaje de las láminas que forman el techo la orientación de estas debe de ser a 90° o 45°, con respeto a la orientación de las del fondo.

Las soldaduras del techo no requieren prueba con campana de vacío a un 100% solo si el contratista lo solicita.

Se realizara una inspección visual de la soldadura del techo para determinar la calidad de su acabado y presentación ya que esta solo sirve para impermeabilizar el tanque.

Además, estas no deben soldarse a la estructura interna del tanque.

Las soldaduras aplicadas perimetralmente entre el techo y el ángulo superior, deben ser en un solo paso lo más rápido possible.

La soldadura es a un solo paso por seguridad, en caso de sobrepresión la tapa o techo se desprenda fácilmente del cuerpo del tanque.



Figura 5.56 Colocación de las planchas del techo ¹⁰⁴



Figura 5.57 Colocación de planchas en interior del techo ¹⁰⁵

¹⁰⁴ Montaje de tanque 2004

¹⁰⁵ Elaboración Propia



Figura 5.58 Alineación y soldeo de planchas del techo¹⁰⁶



Figura 5.59 Acabado de montaje del techo¹⁰⁷

¹⁰⁶ Montaje de tanque 2004

¹⁰⁷ Montaje de tanque 2004

5.4.10 MONTAJE Y SOLDEO DE ESCALERA, BARANADAS Y PLATAFORMAS

Luego se realiza el montaje de los elementos auxiliares como son la escalera helicoidal, baranda perimetral y plataformas; en este caso se evaluará en campo si se puede adelantar el desarrollo de esta actividad, se deben soldar de acuerdo con las dimensiones dadas en los planos aprobados para la construcción, el montaje sera con operarios montajistas, operarios soldadores, con ayuda de un camion grúa de 6.7.toneladas y torre de andamios de 2.5 m de ancho por 10 m de altura.

La escalera helicoidal, sera curvada o rolada de acuerdo a planos, conformada de tubos de acero al carbon A53 de 1 ¼" de diametro sch 40, con barra lisa de ¾", para la sujección de los peldaños, los pasos o peldaños seran de dimensiones de 800mm de largo por 256 mm de ancho, de plancha estriada de ¼", la escalera helicoidal se fijara en la pared del tanque con refuerzo de planchas soldadas al tanque.

La baranda perimtral, sera de tubo de acero al carbon A53 de 1 ¼", se ubicaran en el techo alrededor del perimetro del tanque, con un rodapie en la parte inferior de la baranda, este rodapie sera de platina 4" de ancho y espesor de ¼".

Las plataformas o descanso, seran dos, se ubicaran en la parte intermedia y parte final de la escalera helicodal, de dimensiones 1000 mm de largo por 750 mm de ancho, conformadas por de plancha estriada de ¼", soportadas en la parte inferior por angulos L 2" x 2" x ¼".

Todos los soportes temporales y los amarres utilizados durante el ensamblaje se deben retirar, de tal modo que no se dañe el material de base.

En caso de haberse esmerilado excesivamente al quitar un amarre o soporte temporal de la base metálica, el área de defecto se debe reparar con soldadura y se vuelve a esmerilar para restaurar el grosor necesario.



Figura 5.60 Colocación de barandas perimetral en el techo ¹⁰⁸

¹⁰⁸ Montaje de tanque 2004



Figura 5.61 Montaje de Accesorios en techo de tanque ¹⁰⁹



Figura 5.62 Montaje de escalera helicoidal ¹¹⁰

¹⁰⁹ Montaje de tanque 2004

¹¹⁰ Montaje de tanque 2004



Figura 5.63 Montaje de Accesorios en el cuerpo del tanque¹¹¹

5.4.11 INSTALACION Y SOLDADURA DE BOQUILLAS Y ACCESORIOS

Las boquillas se instalaran tanto en el techo y el casco del tanque, se instalaran con operadores montajista, operarios soldadores, camion grúa, andamios homologados y equipos de soldadura, estos con sus respectivos implementos de seguridad y certificaciones.

En la pared del tanque se ubicaran 4 boquillas, un manhole y una boquillas para espuma contraincendio, seran de diferentes funciones y diametros, estas estaran conformada por pequeños tramos de tuberias acero al carbon A53, ademas soldadas a un lado a bridas tipo Slip-on y el otro lado soldadas al tanque con una plancha de refuerzo (ponchos), de acuerdo a los planos, estas boquillas en pared del tanque son:

¹¹¹ Montaje de tanque 2004

- ✓ N2: Boquilla de descarga de 4" de diametro, ubicada a 400 mm de fondo, soldada a cuerpo de tanque con plancha de refuerzo 5/16" y el otro extremo soldado a brida Slip-on de 4".
- ✓ N4: Boquilla de drenaje de dimensiones 200 mm de altura por 400 mm de ancho, ubicado en parte inferior de cuerpo del tanque, soldado a cuerpo de tanque plancha de refuerzo de 5/16", tipo compuerta.
- ✓ N6: Boquilla de reserva de 4" de diametro, ubicado a 225 mm del fondo, soldada a cuerpo de tanque con plancha de refuerzo 5/16" y el otro extremo soldado a brida Slip-on de 4".
- ✓ N8: Boquilla de interruptor de nivel de 4" de diametro, ubicado a 9372 mm del fondo, soldada a cuerpo de tanque con plancha de refuerzo 5/16" y el otro extremo soldado a brida Slip-on de 4".
- ✓ N11: Boquilla para espuma contraincendio de 4" de diametro, ubicado a 9419 mm del fondo, soldada a cuerpo de tanque con plancha de refuerzo 5/16" y el otro extremo soldado a brida Slip-on de 4".
- ✓ MH1: Manhole o Entrada de hombre de 30" de diametro, ubicado a 900 mm del fondo, soldada a cuerpo de tanque con plancha de refuerzo 5/16" y el otro extremo soldado a tapa metalica 1/2".

Las boquillas en techo de tanque, son un total de 7, estas son las siguientes:

- ✓ N1: Boquilla de ingreso de 6" de diametro, soldada a techo de tanque, con plancha de refuerzo de 1/4", y otro extreme a una brida slip-on que conectara a valvula de ingreso.
- ✓ N3: Boquilla de reserva de 6" de diametro.
- ✓ N5: Boquilla de transmisor de nivel de 3" de diametro.
- ✓ N7: Boquilla de regleta de medición de 20" de diamtro.

- ✓ N9: Boquilla de valvula de presion vacio de de 3" de diametro.
- ✓ N10: Boquilla de venteo de 4" de diametro, con forma de cuello de ganzo.
- ✓ MH2: Manhole o entrada de techo de 24" de diametro, soldada con una plancha de refuerzo de ¼".

Las perforaciones para las boquillas del techo y cuerpo se ubicarán trazando la orientación y elevación que se encuentran en los planos aprobados para la construcción, este trazo sera realizado por un topografo, se verificar y trazar la ubicación correcta tanto en techo y el casco del tanque.

Antes de cortar, se debe realizar una inspección final del trazado de acuerdo con los planos; y una vez verificado por el control de calidad del contratista se podrá continuar con el corte.

Los biseles deben prepararse de acuerdo con el diámetro y ángulo requerido según se muestra en los planos aprobados para la construcción.

Las boquillas se colocan ubicando el eje vertical entre las dos perforaciones de las bridas y verificando la distancia de la tapa de la brida a la parte interna del tanque.



Figura 5.64 Trazado de orientación y ubicación de boquillas¹¹²



Figura 5.65 Instalación y verificación de elevación de boquillas¹¹³

¹¹² Montaje de tanque 2004

¹¹³ Montaje de tanque 2004

En el caso de las boquillas, se requieren soportes temporales para evitar deformaciones cuando se efectúa el soldeo.

Una vez que la soldadura ha terminado, los soportes temporales pueden quitarse y se efectúa la inspección para chequear las deformaciones que ocurran debido a la contracción.

Las boquillas se colocarán con la ayuda de un nivel garantizando que no esté desalineada con respecto a su vertical; además los agujeros de las boquillas del cuerpo deben estar alineados de forma vertical, y los agujeros de las bocas del techo deben estar alineados con respecto a los radios.

En las boquillas primero se suelda la parte que está en el exterior del tanque y luego el interior.



Figura 5.66 Colocación de topes para boquillas ¹¹⁴

¹¹⁴ Montaje de tanque 2004

En el caso de boquillas con láminas de refuerzo, la junta externa de la lámina de refuerzo (filete) se efectúa inicialmente. La junta del cuello de la boquilla y la parte interna del tanque se suelda por fuera primero y luego por dentro.



Figura 5.67 Colocación de Manhole en el Techo ¹¹⁵

Las pruebas neumáticas se las realizara en todas las boquillas que tengan refuerzo, siguiendo los pasos de los procedimientos aprobados por el cliente.

¹¹⁵ Montaje de tanque 2004



Figura 5.68 Colocación del Manhole en el Cuerpo ¹¹⁶

5.4.12 PINTADO INTERIOR Y EXTERIOR DE TANQUE (CAPA INTERMEDIA Y ACABADO)

Realizado el montaje completo del tanque incluyendo sus accesorios, se procede a realizar el pintado y retoque de las planchas en el interior y exterior del tanque, para ello se utilizara como ingreso y salida del interior del tanque el Manhole de 30", ubicado en la pared del tanque, empleando equipos de pintura de alta presión.

Para el pintado interior se montara torre de andamios homologados movibles, incluyendo sus garruchas para la sujeción de estos con el tanque, estos tipos de andamios permitirá al operario pintor movilizarse al interior del tanque.

Para el proceso de **pintado interior en obra**, se cumplirá con el procedimiento y estándar de ingreso a espacios confinados del cliente, la pintura que se aplicara en

¹¹⁶ Montaje de tanque 2004

interior del tanque para las capas intermedia y acabado serán dos capas de 6 mills de espesor, de pintura fenólica, PHENICON HS, es un recubrimiento epóxico fenólico que cumple con la normativa, formulada para ser utilizado como revestimiento interno de los tanques utilizados para retener petróleo crudo y la mayoría de los productos refinados del petróleo, se utilizara de la siguiente manera:

Capa Intermedia: 6 mills de espesor (Pintura PHENICON HS), ver ficha técnica Anexo 02, con un rendimiento practico, de 11.2 m2 por galon, con un porcentaje de solidos 75% y una eficiencia de 60%.

Capa Acabado: 6 mills de espesor (Pintura PHENICON HS), con un rendimiento practico, de 11.2 m2 por galon, con un porcentaje de solidos 75% y una eficiencia de 60%. Esta pintura será aplicara con un diluyente epoxico P33, aún 20% de la cantidad de pintura por galon.

El espesor final de pintura de interior del tanque será de 15 mills.

Para el trabajo de pintado exterior, se realizara utilizando andamios y canastilla metálica, el cual permitirá desplazarse al operario pintor en todo el perímetro del tanque, el operario estará implementado con su línea de vida, y direccionados por dos operarios ventereros, que se encargan de dirigir y movilizar a la canastilla donde se encuentra ubicado el operario pintor, los controles de la aplicación y garantía de la pintura estarán bajo la supervisión del proveedor del producto.

Para el proceso de **pintado exterior en obra**, se cumplirá con el procedimiento y estándar de pintura, la pintura que se aplicara en exterior del tanque para la capa intermedia será pintura epoxica, MACROPOXY (A + B), con un espesor de 5 mills y la capa de acabado pintura poliuretano, SUMATANE HS (A+B), es una pintura a base de poliuretano acrílico alifático, de dos componentes y un alto porcentaje de

solidos en volumen, el cual otorga una excelente protección contra interperie, retención de color y brillo por extensos periodos de tiempo, se utilizara de la siguiente manera:

Capa Intermedia: 5 mills de espesor (Pintura epoxica - MACROPOXY (A + B)), ver ficha técnica Anexo 02, con un rendimiento practico, de 12.9 m2 por galon, con un porcentaje de solidos 72% y una eficiencia de 60%.

Capa Acabado: 2 mills de espesor (Pintura poliuretano - SUMATANE HS (A+B)), ver ficha técnica Anexo 02, con un rendimiento practico, de 29.8 m2 por galon, con un porcentaje de solidos 70% y una eficiencia de 60%. La pintura epoxica será aplicara con un diluyente epoxico P33, aún 20% de la cantidad de pintura por galon, mientras que la pintura de poliuretano será aplicada con un diluyente poliuretano P20, aún 20% de cantidad de pintura por galon.

El espesor final de pintura de exterior del tanque será de 12 mills.



Figura 5.69 Pintado exterior del tanque ¹¹⁷

¹¹⁷ Elaboración Propia

5.4.13 INSTALACIONES DE SISTEMA CONTRA INCENDIO

Las instalaciones de sistema contra incendios debe montarse en base a la normativa NFPA-11 la cual detalla los parámetros a utilizar en techos fijos.

Se montaran e instalaran los dos sistemas contraincendio el primero sera mediante una linea de agua contraincendio que actuara en la parte exterior del tanque y la segunda linea sera una camara de espuma para sistema contraincendio al interior del tanque.

Los sistemas de protección contraincendio proyectados, se conectaran a tie-in implementados exclusivamente para la red contraincendio.

El Sistema contraincendio exterior sera mediante una linea aerea de agua existente, por tuberia de acero al carbon de sch 40 de 6", que se conectara a una linea de menor diametro tipo toroide (anillo de enfriamiento), de tuberia inoxidable 304 de 3", la toroide o anillo de enfriamiento se conectara en longitudes de 6 metros mediante aclope flexible tipo vitaulic, esta toroide se ubicara en la parte superior del tanque alrededor del perimetro con una distancia de un metro, esta linea de toroide esta implementada con aspersores de alta presión, distanciadas a un metro una de otra, en una cantidad de 42 aspersores.

El sistema contraincendio interior sera mediante espuma, el cual se conectara a un tanque blader existente, donde se iniciara mediante una tuberia de acero de 3", la cual llegara a la parte superior del tanque donde se aplicara por camara de espuma.

5.4.14 TOLERANCIAS DIMENSIONALES.

Las medidas que se deben controlar son: la verticalidad, la redondez y las desviaciones locales producto de la soldadura.

La máxima desviación de la verticalidad entre la parte superior del cuerpo y el fondo no debe exceder de 1/200 de la altura total del tanque.

La redondez debe ser medida a 300 mm, por encima de la soldadura que une el cuerpo al fondo, no debe exceder las tolerancias establecidas en la siguiente tabla:

Diametro Nominal (m)	Desviación Minima (mm)
D < 12	±13
12 < D < 45	±19
45 < D < 75	±25
D < 75	±32

Tabla 5.10 Desviaciones locales ¹¹⁸

En las desviaciones locales las soldaduras de las juntas verticales y circunferenciales se mueven hacia adentro o hacia afuera de la superficie de la lámina. Estas desviaciones son producto del armado inapropiado de las juntas, demasiada entrada de calor en la junta por la soldadura desde un lado o una inapropiada separación entre los bordes de la lámina de la junta.

Estas desviaciones pueden ocasionar los siguientes problemas:

- ✓ Deformación o aplanamiento de las láminas en las juntas.

¹¹⁸ API 650, Edición 2012

- ✓ Incremento de los niveles de los esfuerzos residuales.
- ✓ Potencial de falla por fatiga si el área con la desviación trabaja durante las condiciones de carga y descarga del producto en el tanque.

5.4.15 INSPECCIONES DE CALIDAD O DOSSIER DE CALIDAD

El Jefe de Inspección Técnica debe emitir previo al inicio de las actividades de procedimientos de montajes, protocolos de calidad, el plan de Inspección y Pruebas. El Inspector de Calidad asignado al campo es el responsable por la ejecución de todas las inspecciones detalladas en el Plan de Inspección y Pruebas, y su debido registro o dossier de calidad.

Todas las inspecciones especificadas en el dossier de calidad deben ser comunicadas con anticipación al cliente, ya que es necesaria su presencia durante la ejecución de las mismas y su firma en los correspondientes registros.

El dossier de calidad debe contener como mínimo las siguientes inspecciones:

- ✓ Recepción de materiales en campo
- ✓ Verificación de presencia en campo de todos los planos necesarios y WPS aplicables
- ✓ Verificación de calificación de soldadores
- ✓ Inspecciones visuales a soldaduras
- ✓ Inspección de campana de vacío a fondo y techo
- ✓ Inspección por líquidos penetrantes a junta fondo-cuerpo
- ✓ Inspección neumática a refuerzos

- ✓ Inspecciones dimensionales y de correcta ubicación para todos los componentes del tanque (cuerpo, fondo, techo, conexiones, estructuras)
- ✓ Prueba hidrostática al tanque.

5.5 PRUEBAS

En el montaje de Tanques de Almacenamiento en Campo, los siguientes ítems son sujetos de inspección debido a los específicos tipos de deterioro o daños y deben realizarse de acuerdo a lo establecido en el código **API 650**.

5.5.1 PRUEBAS DE TINTES PENETRANTES

Las soldaduras serán inspeccionadas mediante Líquidos Penetrantes, de acuerdo a las especificaciones establecidas en el ESTÁNDAR API 650, mediante un personal o Inspector de Nivel I.

Las pruebas de tinte penetrante se realizan a la superficie de cordón de soldadura de raíz, donde se aplica un kit de tintes, conformado por 3 componentes (removedor, penetrante y revelador), el cual se aplica mediante spray, directamente desde la lata del penetrante o utilizando brocha para una aplicación puntual.

El proceso se realiza aplicando primero el limpiador o removedor, teniendo en cuenta que la superficie del cordón de soldadura previamente se esmerila y se escobilla, para eliminar salpicaduras de soldadura y escoria, luego se procede a aplicar, el removedor para eliminar el óxido, pintura o grasa, con ayuda de un trapo industrial, para una mejor aplicación.

Después se procede a aplicar el penetrante a temperatura menor a 50°C, directamente al área de interés cubriéndola completamente, el área de interés corresponde al cordón de soldadura, el tiempo de permanencia del penetrante en la superficie del cordón de soldadura no debe ser menor de 5 minutos, la prueba se realizará en tramos de 1 metro como máximo.

Por último se aplicará el revelador, en cantidad necesaria para cubrir completamente la superficie de prueba con una capa fina, se tendrá en cuenta la dirección del viento ya puede variar la dirección del flujo, se puede realizar consideraciones especiales, tales como aislar la zona de aplicación.

Se realizará la examinación de la superficie después de 10 minutos como mínimo de la aplicación del revelador (tiempo de revelado), la examinación puede realizarse con luz natural o artificial, asegurando que el nivel de luminosidad sea el adecuado para perder sensibilidad de examinación.



Figura 5.70 Kit de tintes penetrantes ¹¹⁹

¹¹⁹ Elaboración Propia

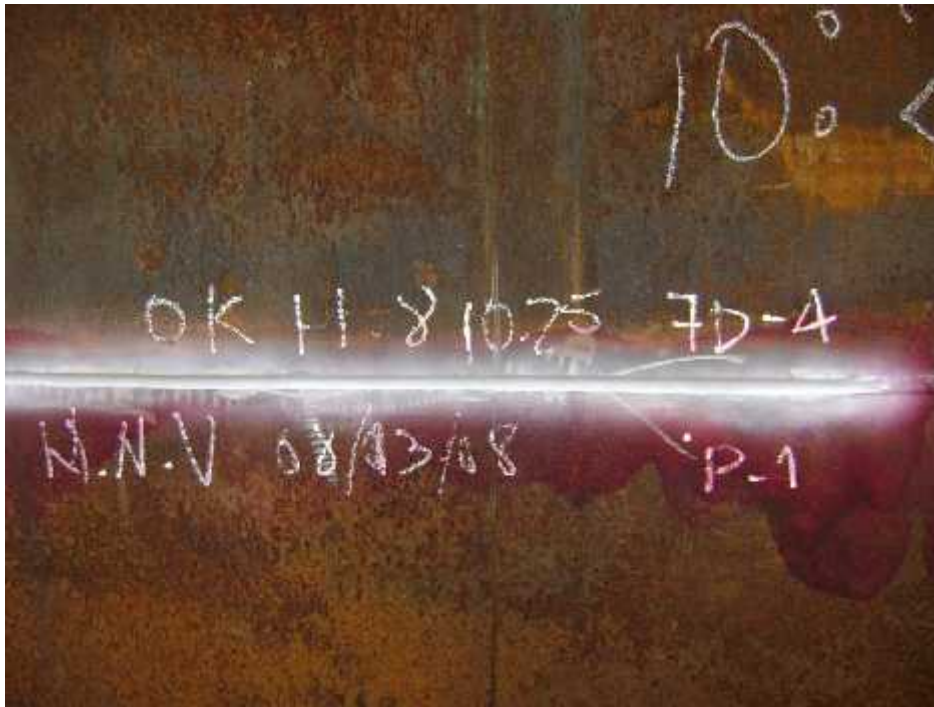


Figura 5.71 Aplicación de tintes penetrantes en cordon de soldadura (raiz)¹²⁰

5.5.2 INSPECCION RADIOGRAFICA.

El inspector debe verificar que toda la soldadura del tanque esté debidamente identificado posea el registro de liberación de los ensayos no destructivos realizados en cada junta de acuerdo a los enunciados del código API 650.

De ser encontrados con un mismo número de identificación o juntas que no consten con su debido registro de ensayos no destructivos y/o juntas que se encuentren fuera del criterio de aceptación del código API 650 deben ser reportadas.

Una vez verificada esta información el inspector procede a liberar la soldadura de tanque en cada etapa de su construcción.

Las pruebas de placas radiograficas sera en un 10% del total.

¹²⁰ Elaboración Propia

5.5.3 REDONDEZ

El inspector debe verificar que la redondez de cada anillo del tanque de almacenamiento este en concordancia con las especificaciones del proyecto y las tolerancias dimensionales mencionadas en el código API 650 en su totalidad. Y posea el registro de liberación de las mediciones realizadas de acuerdo a los enunciados del código API 650.

De ser encontrados desviaciones en las tolerancias dimensionales deben ser reportadas y se debe proceder a realizar un registro de No Conformidad.

Una vez verificada esta información el inspector procede a liberar la redondez del tanque en general y autoriza continuar con la siguiente etapa de la construcción y montaje del tanque de almacenamiento.

5.5.4 VERTICALIDAD

El inspector debe verificar que la verticalidad del tanque de almacenamiento este en concordancia con las especificaciones del proyecto y las tolerancias dimensionales mencionadas en el código API 650 en su totalidad. Y posea el registro de liberación de las mediciones realizadas de acuerdo a los enunciados del código API 650.

De ser encontrados desviaciones en las tolerancias dimensionales deben ser reportadas y se debe proceder a realizar un registro de No Conformidad.

Una vez verificada esta información el inspector procede a liberar la verticalidad del tanque en general y autoriza continuar con la siguiente etapa de la construcción y montaje del tanque de almacenamiento.

5.5.5 INSPECCION VISUAL

El inspector debe verificar que todos los parámetros dimensionales del tanque de almacenamiento este en concordancia con las especificaciones del proyecto y las tolerancias dimensionales mencionadas en el código API 650 en su totalidad. Y posea el registro de liberación de las mediciones realizadas de acuerdo a los enunciados del código API 650.

De ser encontrados desviaciones en las tolerancias dimensionales deben ser reportadas y se debe proceder a realizar un registro de No Conformidad.

Una vez verificada esta información el inspector procede a liberar todas las inspecciones requeridas y autoriza continuar con la siguiente etapa de la construcción y montaje del tanque de almacenamiento.

5.5.6 PRUEBA DE DIESEL

El inspector debe verificar que la integridad de la soldadura realizada entre el cuerpo y el fondo del tanque este en concordancia con las especificaciones del proyecto y las tolerancias dimensionales mencionadas en el código API 650 en su totalidad. Y posea el registro de liberación de las mediciones realizadas de acuerdo a los enunciados del código API 650.

De ser encontradas desviaciones en los criterios de aceptación deben ser reportadas y se debe proceder a realizar un registro de No Conformidad.

Una vez verificada esta información el inspector procede a liberar esta actividad y autoriza continuar con la siguiente etapa de la construcción y montaje del tanque de almacenamiento.



Figura 5.72 Prueba de diesel ¹²¹

5.5.7. PRUEBA DE VACIO

El inspector debe verificar que la integridad de la soldadura realizada en el fondo del tanque este en concordancia con las especificaciones del proyecto y las tolerancias dimensionales mencionadas en el código API 650 en su totalidad. Y

¹²¹ Montaje de tanque 2004

posea el registro de liberación de las mediciones realizadas de acuerdo a los enunciados del código API 650.

De ser encontradas desviaciones en los criterios de aceptación deben ser reportadas y se debe proceder a realizar un registro de No Conformidad.

Una vez verificada esta información el inspector procede a liberar esta actividad y autoriza continuar con la siguiente etapa de la construcción y montaje del tanque de almacenamiento.



Figura 5.73 Prueba de campana de vacío ¹²²

5.5.8 PRUEBA NEUMATICA EN PLANCHAS DE REFUERZO

El inspector debe verificar que la integridad de la soldadura realizada en las planchas de refuerzo soldadas alrededor de las boquillas que posea el tanque este

¹²² Montaje de tanque 2004

en concordancia con las especificaciones del proyecto y las tolerancias dimensionales mencionadas en el código API 650 en su totalidad. Y posea el registro de liberación de las mediciones realizadas de acuerdo a los enunciados del código API 650.

De ser encontradas desviaciones en los criterios de aceptación deben ser reportadas y se debe proceder a realizar un registro de No Conformidad.

Una vez verificada esta información el inspector procede a liberar esta actividad y autoriza continuar con la siguiente etapa de la construcción y montaje del tanque de almacenamiento.



Figura 5.74 Prueba Neumática ¹²³

¹²³ Montaje de tanque 2004

5.5.9 PRUEBA HIDROSTATICA

La prueba hidrostáticas se efectuara en terreno, despues del montaje y en presencia de un inspector, el ensayo sera con agua limpia y fresca, cumpliendo con la norma API 650.

En primera instancia se debe cumplir con el procedimiento específico y detallado para cada caso en particular, el cual debe contener como mínimo la relación de equipos a utilizar, materiales, accesorios e instrumentos requeridos para medición y control.

Preparación Para la Prueba

Antes de la prueba, todas las bridas, bocas, boquillas y orificios por debajo del nivel de agua deben sellarse utilizando bridas ciegas, tapones, válvulas, o cabezales.

Cuando sea posible, se llevará a cabo una inspección interna del tanque para chequear la instalación de todos los acoples internos así como el estado de limpieza, antes de las pruebas y cierre del tanque.

La calidad apropiada del agua para la prueba hidrostática debe chequearse previamente.

Control de Nivel

Chequear la nivelación topográfica del piso debido a la llenada del tanque durante la prueba hidrostática, un nivel referencial debe marcarse en la parte interna del tanque antes de empezar la prueba. La altura del líquido debe ser aquella especificada por el nivel de líquido designado. Adicionalmente se debe considerar

que para los tanques de techo cónico, la altura de llenado es 2 Pulg. Sobre el ángulo superior.

Realización de la Prueba

El tanque debe llenarse con agua a través de la tubería de acceso o mediante una conexión provisional que debe ser inspeccionada periódicamente durante el período de llenado.

El llenado se efectúa en cuatro fases, de modo que la altura se divide en cuatro partes aproximadamente iguales, a menos que se indique lo contrario en las especificaciones del Proyecto.

Una vez llenada la primera parte, el 25%, los niveles establecidos deben chequearse y registrarse. Si los niveles están dentro de los límites especificados en el código API 650, la prueba puede proseguir. Se deja descansar al tanque por un período de 6 horas.

Una vez llenada la segunda parte, el 50%, los niveles establecidos deben chequearse y registrarse. Si los niveles están dentro de los límites especificados en el código API 650, la prueba puede proseguir. Se deja descansar al tanque por un período de 6 horas.

Una vez llenada la tercera parte, el 75%, los niveles establecidos deben chequearse y registrarse. Si los niveles están dentro de los límites especificados en el código API 650, la prueba puede proseguir. Se deja descansar al tanque por un período de 6 horas.

Una vez llenado al 100%, los niveles establecidos deben chequearse y registrarse. Si los niveles están dentro de los límites especificados en el código API 650, la

prueba puede proseguir. Una vez que se alcanza el nivel de llenado máximo, se deja descansar el agua por 24 horas.

Toda superficie de contacto hermética tal como bocas de visita, ingresos, boquillas y cualquier otra conexión, debe inspeccionarse visualmente para que no haya escurrimientos.

Criterios de Aprobación

La prueba hidrostática permite la liberación del cuerpo exclusivamente; es aprobada si no se presentó un escurrimiento de agua, después de llenar con agua hasta el nivel de la prueba y durante el tiempo de ésta.

El inspector debe verificar que la integridad del cuerpo del tanque de almacenamiento este en concordancia con las especificaciones del proyecto y las tolerancias dimensionales mencionadas en el código API 650.

Se otorga la aprobación final después de evaluar todos los datos de nivel obtenidos durante la prueba.

De ser encontradas desviaciones en los criterios de aceptación deben ser reportadas y se debe proceder a realizar un registro de No Conformidad.

5.6 METRADO, COSTOS Y PRESUPUESTO

Se analizara los costos del proyecto, estimando el metrado correspondiente de acuerdo al diseño, los planos, también se realiza una estimación de costos y presupuesto de los materiales, consumibles, mano de obra, alquiler de equipos y

otros gastos correspondiente, para la fabricación y construcción del tanque de almacenamiento de 200,000 galones.

5.6.1. Análisis de costo de Materiales Propio de Obra

MATERIALES PROPIO DE OBRA	UND	CTD	COSTO P.U. (\$)	TOTAL (\$)
PLANCHAS DEL TANQUE				20,041.40
PLANCH A36, DE 1.5 m x 6 m x 5 mm	PL	12.00	248.00	2,976.00
PLANCH A36, DE 1.5 m x 6 m x 8 mm	PL	12.00	385.00	4,620.00
PLANCH A36, DE 2.4 m x 6 m x 6 mm	PL	17.00	496.00	8,432.00
PLANCH A36, DE 2.4 m x 6 m x 8 mm	PL	6.00	642.00	3,852.00
ANGULO DE 2 1/2" x 2 1/2" x 1/4", L = 6m	UND	6.00	26.90	161.40
COLUMNA CENTRAL VIGAS DE TECHO				1,634.04
TUBO A53 DE 6" SCH 40, L = 12 m	UND	1.00	308.00	308.00
CANAL C6 x 8.2 #, L= 6 m	UND	18.00	53.67	966.06
CANAL C8 x 11.5 #, L= 6 m	UND	1.00	75.27	75.27
ANGULO DE 3" x 3" x 1/4", L= 6m	UND	1.00	32.50	32.50
PLANCH A36, DE 1.2 m x 2.4 m x 6mm	UND	1.00	100.89	100.89
PLANCH A36, DE 1.2 m x 2.4 m x 9 mm	UND	1.00	151.33	151.33
ESCALERA PERIMETRAL				1,628.69
PLANCH A36, DE 1.2 m x 2.4 m x 6 mm	PL	1.00	100.89	100.89
PLANCH ESTRIADA 2.4 m x 6 m x 6 mm	PL	1.00	678.24	678.24
PLATINA 4" x 1/4", L = 6 m	UND	3.00	22.60	67.80
TUBO A53 DE 1 1/4" SCH 40, L = 6 m	UND	23.00	22.62	520.26
ANGULO DE 2" x 2" x 1/4", L = 6 m	UND	2.00	20.95	41.90
FIERRO LISA 3/4", L= 6 m	UND	18.00	12.20	219.60
BOQUILLAS				2,246.29
PLANCH A36, DE 1.2 m x 2.4 m x 12.7 mm	PL	1.00	213.54	213.54
PLANCH A36, DE 1.2 m x 2.4 m x 6 mm	PL	4.00	100.89	403.55
PLANCH A36, DE 1.2 m x 2.4 m x 9 mm	PL	1.00	151.33	151.33
PLANCH A36, DE 1.5 m x 3 m x 8 mm	PL	1.00	210.18	210.18
PLANCH A36, DE 1.2 m x 2.4 m x 15.88 mm	PL	1.00	267.00	267.00
ANGULO DE 4" x 4" x 1/4", L = 6m	UND	1.00	51.97	51.97
CANAL C 4" x 7.25#, L = 6m	UND	1.00	37.31	37.31
TUBO A53 DE 4", SCH 40, L = 6m	UND	1.00	86.76	86.76
TUBO A53 DE 3", SCH 80, L= 6m	UND	1.00	91.44	91.44
TUBO A53 DE 4", SCH 80, L = 6m	UND	1.00	151.83	151.83
TUBO A53 DE 6", SCH 80, L = 12m	UND	1.00	539.00	539.00
PLATINA 3" x 1/4", L= 3m	UND	1.00	18.35	18.35
FIERRO LISA 3/8, L= 3m	UND	1.00	5.54	5.54
FIERRO LISO 5/8, L= 3m	UND	1.00	18.50	18.50
ACCESORIOS				626.20
BRIDA, SLIP-ON RF 3", 150#	UND	1.00	12.90	12.90
BRIDA, SLIP-ON RF 4", 150#	UND	5.00	15.60	78.00
BRIDA, SLIP-ON RF 6", 150#	UND	6.00	19.60	117.60
BRIDA, BLIND RF 3", 150#	UND	1.00	11.50	11.50
BRIDA, BLIND RF 4", 150#	UND	1.00	13.80	13.80
BRIDA, BLIND RF 6", 150#	UND	1.00	16.00	16.00
CODO DE 90°, DE 4" SCH 80	UND	1.00	7.70	7.70
EMPAQUETADURA NON ASBESTO	RLL	1.00	150.00	150.00
PERNO HEX. DE 5/8" x 4", C/TUERCA Y ARAÑELAS	UND	90.00	1.20	108.00
PERNO HEX. DE 3/4" x 3", C/TUERCA Y ARAÑELAS	UND	82.00	1.35	110.70
COSTO TOTAL DE MATERIALES				26,176.62

Tabla 5.11 Cuadro de costo de materiales. ¹²⁴

¹²⁴ Elaboración Propia

5.6.2. Análisis de cantidad de Soldadura

SOLDADURA EN JUNTAS DE TANQUE	Longitud (m)	Electrodo E-6010 (kg/m)	Electrodo E- 7010 (kg/m)	Total E-6010 (kg)	Total E-7010 (kg)
FONDO (Traslape)	88.00	0.28	1.11	24.44	97.78
CUERPO (A Tope)					
Horizontal	132.00	0.28	2.22	36.67	293.33
Vertical	67.20	0.28	2.22	18.67	149.33
TECHO (Traslape)	88.00	0.28	1.11	24.44	97.78
FONDO - CUERPO (Filete)	33.00	0.28	1.11	9.17	36.67
ANGULO DE RIGIDEZ - CUERPO (Filete)	33.00	0.28	1.11	9.17	36.67
SOLDADURA EN ESTRUCTURAS	Peso (kg)				
ESTRUCTURAS Y ACCESORIOS	4,613.52	0.01	0.02	45.67	69.20
CANTIDAD TOTAL DE SOLDADURA				168.23	780.76

Tabla 5.12 Cuadro de cantidad de consumo de soldadura. ¹²⁵

5.6.3. Análisis de costo de consumibles

CONSUMIBLES	UND	CANTIDAD	COSTO P.U. (\$)	TOTAL (\$)
ELECTRODO E-6010	kg	169.00	4.20	709.80
ELECTRODO E-7010	kg	781.00	4.20	3,280.20
OXIGENO	m3	339.00	2.42	820.38
ACETILENO	kg	141.00	8.88	1,252.08
DISCO DE DESBASTE 1/4" X 7/8" X 7"	pza	167.00	2.83	472.61
DISCO DE CORTE 1/8"x7/8"x7"	pza	254.00	2.30	584.20
DISCO DE CORTE 1/8"x7/8"x4.5"	pza	220.00	2.00	440.00
ESCOBILLA CIRCULAR DE 1/8"x7/8"x 4.5"	pza	80.00	9.15	732.00
BROCA CORONA HSS	u	2.00	64.00	128.00
TINTE PENETRANTE	Kit	20.00	29.20	584.00
TRAPO INDUSTRIAL	kg	54.00	1.00	54.00
BOQUILLA PARA GRACO	u	2.00	45.80	91.60
PINTURA MACROPOXY 646 (A+B)	gal	108.10	31.06	3,357.44
PINTURA POLIURETANO	gal	12.47	58.30	727.21
PINTURA ZINC INORGANICO	gal	12.45	67.10	835.42
PINTURA SUMATANE HS BRILLANTE	gal	18.85	60.96	1,149.37
PINTURA PHENICON ENAMEL	gal	98.89	49.45	4,889.98
DILUYENTE EPOXICO P33	gal	61.84	14.96	925.08
DILUYENTE P30	gal	2.96	18.70	55.30
DILUYENTE POLIURETANO P20	gal	3.78	14.96	56.56
THINNER CORRIENTE	gal	40.00	5.60	224.00
ARENA DE RIO	m3	14.00	49.22	689.08
COSTO TOTAL DE CONSUMIBLES				22,058.32

Tabla 5.13 Cuadro de costos de consumibles. ¹²⁶

¹²⁵ Elaboración Propia

¹²⁶ Elaboración Propia

5.6.4. Análisis de costo de consumo de combustible de los equipos

COMBUSTIBLE (PETROLEO DIESEL # 2)						
EQUIPOS	CANTIDAD	DIAS	GALONES / DIA	TOTAL (Gal)	COSTO P.U. (\$)	TOTAL (\$)
CAMION GRUA DE 6.7 TN	1.00	60.00	20.00	1,200.00	3.35	4,020.00
GRUPO ELECTROGENO 50 KW	2.00	60.00	40.00	4,800.00	3.35	16,080.00
CAMIONETA 4 x 4	1.00	60.00	6.00	360.00	3.35	1,206.00
BUS DE 35 PASAJEROS	1.00	60.00	8.00	480.00	3.35	1,608.00
MOTOBOMBA DE 6"	1.00	7.00	4.00	28.00	3.35	93.80
COSTO TOTAL DE COMBUSTIBLE				6,868.00		23,007.80

Tabla 5.14 Cuadro de costos de combustible de equipos. ¹²⁷

5.6.5. Análisis de costo de personal o mano de obra

MANO DE OBRA	CANTIDAD	DIAS	COSTO / DIA (\$)	TOTAL (\$)
INDIRECTA				
INGENIERO RESIDENTE	1.00	90.00	83.33	7,500.00
INGENIERO DE SEGURIDAD	1.00	90.00	52.08	4,687.50
INGENIERO DE PLANEAMIENTO	1.00	90.00	46.88	4,218.75
INGENIERO DE CALIDAD	1.00	90.00	46.88	4,218.75
SUPERVISOR MECANICO	1.00	90.00	62.50	5,625.00
ADMINISTRADOR	1.00	90.00	31.25	2,812.50
CHOFER DE CAMIONETA	1.00	90.00	26.04	2,343.75
CHOFER DE BUS	1.00	90.00	26.04	2,343.75
ALMACENERO	1.00	90.00	20.83	1,875.00
DIRECTA				
TOPOGRAFO	1.00	60.00	46.88	2,812.50
CAPATAZ CALDERO / MONTAJISTA	1.00	90.00	46.88	4,218.75
OPERARIO CALDERO	4.00	30.00	36.46	4,375.00
OFICIAL CALDERO	4.00	30.00	31.25	3,750.00
OPERARIO MONTAJISTA	3.00	60.00	36.46	6,562.50
OFICIAL MONTAJISTA	3.00	60.00	31.25	5,625.00
SOLDADOR 4G	4.00	60.00	41.67	10,000.00
SOLDADOR 6G	2.00	60.00	62.50	7,500.00
AYUDANTE DE SOLDADOR	6.00	60.00	26.04	9,375.00
OPERARIO DE CAMION GRUA	1.00	60.00	31.25	1,875.00
OPERARIO RIGGER	1.00	60.00	31.25	1,875.00
OPERARIO PINTOR	2.00	30.00	31.25	1,875.00
OPERARIO ARENADOR	1.00	30.00	31.25	937.50
VIENTEROS / ANDAMIEROS	3.00	60.00	31.25	5,625.00
COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA	45.00			102,031.25

Tabla 5.15 Cuadro de costo de personal. ¹²⁸

¹²⁷ Elaboración Propia

¹²⁸ Elaboración Propia

5.6.6. Análisis de costo de equipos y herramientas

EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	DIAS	COSTO P.U. (\$)	TOTAL (\$)
CAMION GRUA 6.7 TN	UND	1.00	60.00	380.00	22,800.00
GRUPO ELECTROGENO 50 KW	UND	2.00	60.00	80.00	9,600.00
CAMIONETA 4 X 4	UND	1.00	60.00	75.00	4,500.00
BUS DE 35 PASAJEROS	UND	1.00	60.00	125.00	7,500.00
MOTOBOMBA CENTRIFUGA DE 6" DE DIÁMETRO Y 64HP	UND	1.00	7.00	150.00	1,050.00
EQUIPO DE CORTE SEMI AUTOMATICO (OXI-ACET)	UND	1.00	30.00	8.00	240.00
MAQUINA DE SOLDAR MILLER 250 AMP.	UND	6.00	60.00	25.00	9,000.00
ESMERIL ANGULAR 7"	UND	4.00	60.00	3.50	840.00
ESMERIL ANGULAR 4.5"	UND	4.00	60.00	3.00	720.00
ROLADORA DE PLANCHAS e<1/2"	UND	1.00	20.00	200.00	4,000.00
GATAS DE 10 ton	UND	15.00	30.00	5.00	2,250.00
EQUIPO DE PINTURA ALTA PRESION	UND	1.00	30.00	30.00	900.00
EQUIPO DE ARENADO	UND	1.00	30.00	30.00	900.00
COMPRESORA 250 P.C.M.	UND	2.00	30.00	60.00	3,600.00
TORRE DE ANDAMIOS HOMOLOGADOS, DE 2.5 x 1.5 m, H= 3	UND	13.00	30.00	40.00	15,600.00
TABLERO ELECTRICO	UND	2.00	60.00	3.00	360.00
ESTACION TOTAL	UND	1.00	60.00	38.00	2,280.00
TALADRO MAGNETICO	UND	1.00	30.00	15.00	450.00
TORQUIMETRO	UND	1.00	30.00	30.00	900.00
HORNO ELECTRICO 5 kg	UND	2.00	60.00	2.00	240.00
CAJON DE HERRAMIENTAS	UND	2.00	60.00	3.00	360.00
CARPA DE SOLDEO	UND	6.00	30.00	5.00	900.00
PROTECTOR METALICO	UND	6.00	30.00	2.00	360.00
MALETIN DE HERRAMIENTAS	UND	4.00	30.00	5.00	600.00
CONTAINER 20' OFICINA	UND	1.00	60.00	15.00	900.00
CONTAINER 20' ALMACEN	UND	1.00	60.00	15.00	900.00
HERRAMIENTAS MENORES (% M.O.)	%MO	0.03	---	102,031.25	3,060.94
PLACAS RADIOGRAFICAS	PL	45.00	---	40.00	1,800.00
COSTO TOTAL DE EQUIPOS					96,610.94

Tabla 5.16 Cuadro de costo de equipos y herramientas. ¹²⁹

5.6.7. RESUMEN DE COSTOS DEL PROYECTO

RESUMEN DE COSTOS	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO (\$)
MATERIALES PROPIOS DE OBRA	1.00	GLOBAL	26,176.62
CONSUMIBLES	1.00	GLOBAL	22,058.32
COMBUSTIBLE	1.00	GLOBAL	23,007.80
MANO DE OBRA DIRECTA E INDIRECTA	1.00	GLOBAL	102,031.25
EQUIPOS	1.00	GLOBAL	96,610.94
COSTO DIRECTO			269,884.92
GASTOS GENERALES (% C.D.)		20%	53,976.98
UTILIDAD (% C.D.)		10%	26,988.49
COSTO TOTAL DEL PROYECTO			350,850.39

Tabla 5.17 Cuadro de costo total del proyecto. ¹³⁰

El costo total del proyecto será de **U\$ 350,850.39 dolares Americanos.**

¹²⁹ Elaboración Propia

¹³⁰ Elaboración Propia

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

➤ CONCLUSIONES

- ✓ Se realizo el diseño del tanque de almacenamiento de acuerdo a la norma estándar API 650, obteniendo los resultados positivos, asi como un procedimiento o método para la correcta fabricación, pautas para el montaje mecánico, permitiendo satisfacer las necesidades de consumo de combustible de los vehículos que transitan al interior de la unidad minera Toquepala.
- ✓ Se determino los factores y parametros que influyen a la hora de diseñar un tanque de almacenamiento, como son: las cargas muertas, cargas vivas, esfuerzos permisibles, espesores de las planchas, materiales, entre otros factores, que se debe tener en cuenta al diseñar un tanque de almacenamiento.
- ✓ Se desarrollo un procedimiento de actividades para la fabricación del tanque en taller, asi como también se desarrollo un método de trabajo, mediante el sistema de gateo, para el respectivo montaje estructural y mecanico del tanque de almacenamiento de 200,000 galones esta basado en la norma API 650.
- ✓ Se analizo las consideraciones, para elegir el tamaño del diseño del tanque, como son la capacidad de diseño, la capacidad de operación, el producto a almacenar, las presiones internas, condiciones ambientales, todas estas consideraciones se trabaja bajo los rangos de temperatura específicos y cumpliendo con las normas bajo las cuales se rigen los tanques de almacenamiento.
- ✓ Se establecio los procedimientos de pruebas correspondientes a tanque de almacenamiento, según la norma API 650, realizando verificación del buen funcionamiento y la correcta operación del tanque, la realización de la pruebas o ensayos no destructivos serán supervisadas por personal calificado.

➤ RECOMENDACIONES

- ✓ Antes de iniciar el diseño de cualquier tanque de almacenamiento se recomienda estudiar a fondo los esfuerzos que actúan, procedimientos y normas respectivas.
- ✓ Para el montaje se recomienda tomar en cuenta los ejes del tanque para la ubicación de los accesorios y planchas sea la correcta, evitando reparaciones y desperdicios de material.
- ✓ Se recomienda que para el montaje del tanque, se debe realizar una inspección y verificación de la cimentación, donde se ubicara el tanque de almacenamiento, esta debe estar aprobada por el cliente para no generar contratiempo a la hora del montaje.
- ✓ Antes de realizar las inspecciones a un tanque de almacenamiento se recomienda realizar un estudio previo de las características de construcción del mismo así como de las condiciones de funcionamiento.
- ✓ Para interpretación de los resultados de las inspecciones de las pruebas, es recomendable que las realice personal calificado con experiencia en este tipo de trabajos, para que no existan fallas.
- ✓ Se recomienda que para los trabajos de reparación de soldaduras en tanque de almacenamiento, el soldador sea calificado y que se le realicen pruebas radiográficas, visuales y mecánicas antes de realizar la reparación.
- ✓ Los techos de tanque de almacenamiento deben ser como una puerta de emergencia, esto en caso de existir una sobre presión dentro del tanque, que no se encuentre en el rango de operación de venteos primero que debe ceder ante una explosión es el techo, garantizando la integridad del cuerpo y piso, evitando derrames del mismo, por lo que la soldadura de las laminas del techo es solamente externa.

BIBLIOGRAFIA

-) API STANDARD 650_WELDED TANKS FOR OIL STORAGE – ELEVENTH EDITION, JUNE 2007; ADDENDUM 1: NOVEMBER 2008; ADDENDUM 2: NOVEMBER 2009; ADDENDUM 3: AUGUST 2011; ERRATA, OCTOBER 2011. EFFECTIVE DATE: FEBRUARY 1, 2012.
-) ASME SECCION IX – ESTANDAR DE CALIFICACION PARA PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURAS Y DE SOLDADURA FUERTE, DE SOLDADORES.
-) CODIGO API 650 Y 653: DISEÑO, MONTAJE Y CONSTRUCCION DE TANQUES SOLDADOS DE ACERO, NOVIEMBRE DE 2007.
-) DISEÑO Y CALCULO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO – EDICION 1980, JUAN CEJA RODRIGUEZ - CONTRATISTA.
-) MANUAL DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE TUBERIAS Y TANQUES ATMOSFERICOS DE TECHO FIJO, BR. MIGUEL ALEJANDRO GUZMAN ACOSTA, DICIEMBRE 2012.
-) MANUAL DE SOLDADURA CON ARCO ELECTRICO – EDITORIAL TRILLAS, PRIMERA EDICION, ENERO 1995.
-) NORMA API 650 – LOS TANQUES DE ACERO SOLDADOS PARA EL ALMACENAMIENTO DE PETROLEO – DECIMA EDICION, NOVIEMBRE DE 1998.
-) NORMA API 653 – INSPECCION, REPARACION, MODIFICACION Y RECONSTRUCCION DE ESTANQUES, TERCERA EDICION, DICIEMBRE 2001.
-) PAGINAS WEB:
 - ✓ <http://www.hidrocarburos.com.co>
 - ✓ <http://www.osinergmin.gob.pe>
 - ✓ <http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/GFH/Historia%20del%20Petroleo%20Peru.pdf>
 - ✓ <http://minagri.gob.pe/portal/objetivos/61-sector-agrario/el-petroleo/344-produccion-de-petroleo>

ANEXOS

ANEXO 1

ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA DEL
PROYECTO (WPS, PQR, WPQ)

ANEXO 2

HOJAS TECNICAS DE PINTURA

ANEXO 3

PROCEDIMIENTO DE FABRICACION DE TANQUE EN TALLER

PROCEDIMIENTO DE MONTAJE DE TANQUE EN CAMPO

PLANOS DEL PROYECTO