

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO DE UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE
PETRÓLEO TIPO TECHO FLOTANTE DE 100.000
BARRILES DE CAPACIDAD PARA LA EMPRESA TESCA
INGENIERÍA DEL ECUADOR**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

CÉSAR AUGUSTO DE LA CADENA RAMOS
cesardelacadena@hotmail.com

PABLO XAVIER LARREA ESPARZA
punkblo1977@hotmail.com

DIRECTOR: MSc. EDUARDO RODRÍGUEZ

Quito, Agosto 2012

DECLARACIÓN

Nosotros, CÉSAR AUGUSTO DE LA CADENA RAMOS, y PABLO XAVIER LARREA ESPARZA, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

César Augusto De La Cadena Ramos

Pablo Xavier Larrea Esparza

CERTIFICACIÓN

Certifico que bajo mi supervisión el presente proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico fue desarrollado por los señores CÉSAR AUGUSTO DE LA CADENA RAMOS y PABLO XAVIER LARREA ESPARZA.

Ing. Eduardo Rodríguez.
DIRECTOR DE PROYECTO

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado con mucho cariño a mi familia por acompañarme en cada una de mis aventuras que he emprendido y ser siempre mis más fervientes hinchas.

A mis padres Augusto y Misbell quienes con su sabiduría y paciencia, han logrado cultivar en mí grandes valores que se han convertido en grandes frutos, gracias infinitas por todo el amor, toda la educación por la oportunidad de estudiar para lograr tener una vida mejor.

También un agradecimiento a mis hermanos Wlady y Willy, quienes me han sabido apoyar en los momentos más difíciles y festejar mis triunfos, y callar mis derrotas.

César.

DEDICATORIA

Con infinito amor la realización de este proyecto se lo dedico principalmente a mi hija Samanta Larrea y mis hermanas Doménica y Tania Larrea, además de todas aquellas personas que en algún momento de sus vidas han sentido que el mundo se les viene abajo; recordarles que somos seres humanos y muy probables de cometer errores, que de ellos debemos aprender para así mejorar; y más que importante aún, la constancia le tenacidad que debemos tener en la vida como me lo han inculcado mis padres que a la edad que tienen siguen cosechando frutos a pesar de todas las contrariedades que se les ha venido encima, y decir simplemente “si es posible ser mejor y cumplir con mis sueños”.

La constancia que debemos tener tiene que ser reflejada en todos los actos de nuestras vidas, tanto en el ámbito laboral, familiar, social, personal, sentimental entre otros, sin importar que cometamos aquellos errores que nos llena de miedo pero son tan necesarios para poder dar el siguiente paso que llegará más lejos.

Para ellas con todo mi amor y cariño y nunca olviden:

“Hay hombres que luchan un día y son buenos.

Hay hombres que luchan un año y son mejores.

Hay otros que luchan muchos años y son muy bueno.

Pero hay quienes luchan toda la vida esos son imprescindibles”

Bertolt Brecht

Pablo.

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar un trabajo tan arduo y lleno de dificultades debo agradecer de manera especial y sincera a mis Padres AUGUSTO y MISBELL y a mis hermanos WLADY y WILLY, Gracias por ser ese gran apoyo en mi vida.

A mis Abuelos: Wilfrido, Gloria, Beatriz por todo el amor brindado.

A mi familia la cual no tendría sentido la vida sin cada uno de ellos.

Mil gracias al MSc. Eduardo Rodríguez, por su acertada dirección, su apoyo y confianza en el desarrollo la presente tesis.

A la mejor Facultad de Mundo Ingeniería Mecánica por ser el alma máter de la ingeniería.

A mis amigos, los cuales has sido parte importante de mi formación y desarrollo personal y profesional,

Gracias a todos los que de alguna manera forman parte de mi vida.

César.

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos principales van dirigidos a mis padres Ricardo y Sonia, por darme la oportunidad de vivir, de crecer, de equivocarme, de aprender, de estudiar, de ser feliz y tantas situaciones que me han permitido llegar a este punto de mi vida. También les agradezco de la forma más sincera por estar a mi lado en las buenas y malas circunstancias; para hacerme ver y distinguir entre lo que podemos y lo que debemos hacer.

Un agradecimiento muy grande a mi familia que siempre ha estado pendiente de mi, a mis abuelos Miguel, Beatriz, Teresa y desde algún lugar del infinito Pablo; a mis hermanas Tania y Dome que a través de este escrito les mando un gran abrazo.

Decirle también muchas gracias al Ingeniero Eduardo Rodríguez por su colaboración y dedicación que le dio para dirigirnos en este último paso universitario.

A todas las personas que conforman la Facultad de Ingeniería Mecánica por haber impartido sus conocimientos que nos ayudaran en un futuro a realizar trabajos que ayuden a esta humanidad a mejora este mundo.

Un gran agradecimiento también para mis amigos que también estuvieron pendientes en el transcurso de la carrera como de este presente proyecto, y muchas gracias por habernos ayudado con sus consultas, por sus favores, por el apoyo moral sin ellos no hubiera sido esto posible.

Pablo.

CONTENIDO

CAPITULO 1	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.	1
1.3 OBJETIVOS.	2
1.3.1 OBJETIVO GENERAL:.....	2
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	2
1.3.3 ALCANCE:	2
1.4 CONCEPTOS BÁSICOS.....	3
CAPITULO 2	6
2.1 TIPOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO	6
2.1.1 TANQUE DE ALMACENAMIENTO TECHO FIJO.....	7
2.1.2 TANQUE DE ALMACENAMIENTO TECHO FLOTANTE.....	8
2.1.2.1 Techo flotante externo.....	8
2.1.2.2 Techo flotante Tipo pontón.....	9
2.1.2.3 Techo flotante de doble plataforma.	9
2.1.3 RECIPIENTES A PRESIÓN.	10
2.1.3.1 Tanques de almacenamiento Esféricos.....	10
2.1.3.2 Tanques de almacenamiento Cilíndricos horizontales.	10
2.1.4 OTROS TIPOS.....	11
2.1.4.1 Tanques de almacenamiento empernados.	11
CAPITULO 3	12
3.1 INTRODUCCIÓN.....	12
3.2 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO MECÁNICO	12
3.3 CONSIDERACIONES ESPECIALES DE DISEÑO.....	15
3.3.1 TOLERANCIAS POR CORROSIÓN.	15
3.3.2 ESFUERZOS PERMISIBLES.....	15
3.3.3 GRAVEDAD ESPECIFICA DEL LÍQUIDO A ALMACENAR (G).....	15
3.3.4 MATERIALES.....	16
3.3.4.1 Planchas.....	17
3.3.4.2 Especificaciones de la ASTM	18
3.3.4.3 Especificaciones ISO.....	19

3.3.4.4	Requerimientos Generales para la Entrega	20
3.3.4.5	Tratamientos Térmicos para las Planchas.	20
3.3.4.6	Temperatura mínima de diseño permisible del metal para materiales usados en el cuerpo del tanque de almacenamiento sin prueba de impacto.	21
3.3.4.7	Láminas.....	22
3.3.4.8	Perfiles Estructurales.-	22
3.3.4.9	Tuberías y Piezas Forjadas.....	24
3.3.4.10	Bridas.....	25
3.3.4.11	Pernos.....	25
3.3.4.12	Electrodos para soldadura	25
3.3.4.13	Diseño de uniones:	26
3.3.4.14	Restricciones:.....	28
3.4	ACCESORIOS DEL TANQUE.....	29
3.4.1	SELECCIÓN DE ESPESORES PARA MANHOLE Y BRIDAS.....	32
3.4.1.1	Boquilla, bridas en el casco.....	35
3.4.1.2	Sumidero de agua del fondo.	37
3.4.1.3	Puerta de Limpieza al ras.....	38
3.4.1.4	Manhole del techo.	40
3.4.1.5	Selección de boquillas y bridas del techo.....	41
3.5	DISEÑO DE TANQUES DE TECHO FLOTANTE.	43
3.5.1	Capacidad del tanque.....	43
3.6	CÁLCULO DE ESPESORES.....	44
3.6.1	MÉTODOS DE CÁLCULO.	45
3.6.1.1	Cálculo de espesores por el método de un pie.	45
3.6.1.2	Cálculo de espesores por el método del punto de diseño variable.....	46
3.6.1.3	Cálculo de espesores por análisis elástico.....	47
3.6.2	EJEMPLO DE CÁLCULO POR EL MÉTODO DE UN PIE.	47
3.7	ESPESORES PARA EL FONDO DEL TANQUE.....	49
3.8	ESPESORES DE PLANCHA DE FONDO ANULAR.	50
3.9	DISEÑO DE RIGIDIZADOR SUPERIOR Y DISEÑO DE VIGA INTERMEDIA DE VIENTO.....	52
3.9.1	DISEÑO DE RIGIDIZADOR SUPERIOR.....	52

3.9.2	DISEÑO DE VIGA INTERMEDIA DE RIGIDEZ.....	53
3.10	ESTABILIDAD AL VOLTEO POR CARGA DE VIENTO.....	55
3.11	DISEÑO POR CARGA DE SISMO.....	58
3.11.1	DATOS GEOMÉTRICOS DEL LUGAR PARA EL DISEÑO SÍSMICO. 59	
3.11.2	ESTABILIDAD AL VUELCO.	60
3.11.3	DISEÑO DE ACELERACIONES ESPECTRALES.....	61
3.11.4	PARÁMETROS REQUERIDOS PARA EL DISEÑO SÍSMICO.....	62
3.11.4.1	Periodo convectivo (chapoteo), T_c	62
3.11.4.2	Periodo de transición de dependencias regionales para un periodo más largo de movimiento de tierras. T_L	64
3.11.4.3	Factor de escala Q	64
3.11.4.4	Coeficiente de aceleración de sitio base (periodo de 0.2 seg.), F_a	64
3.11.4.5	Coeficiente de velocidad en sitio base (periodo 1.0 Seg.), F_v	65
3.11.4.6	Factores de respuesta de modificación de los métodos ASD, R_w	65
3.11.5	PESO EFECTIVO DEL PRODUCTO.	67
3.11.6	CENTRO DE ACCIÓN PARA LAS FUERZAS LATERALES EFECTIVAS.....	68
3.11.7	FUERZA DE CORTE EN LA BASE.	70
3.11.8	RESISTENCIA AL VOLTEO.....	71
3.11.8.1	Anclaje.	71
3.11.8.2	Requerimientos plancha anular.....	73
3.11.8.3	Compresión del cuerpo.	73
3.11.9	ALTURA LIBRE DE CHAPOTEO.	74
3.12	DISEÑO DE ANCLAJE.....	75
3.12.1	PERNOS DE ANCLAJE.	75
3.12.2	MATERIALES.....	76
3.13	DISEÑO TECHO FLOTANTE.	77
3.13.1	SELECCIÓN DEL TIPO DE TECHO FLOTANTE.....	77
3.13.2	DISEÑO DEL PONTÓN.....	78
3.13.3	CÁLCULOS DEL TECHO FLOTANTE.	79
3.13.3.1	Cálculo de las dimensiones del pontón.....	79

3.13.3.1.1	Condiciones de flotación.....	80
3.13.3.2	Cálculo hidráulico del techo bajo condiciones de lluvia y drenaje obstruido.....	81
3.13.3.3	Cálculo del techo con líquido de gravedad específica 0,7	81
3.13.3.4	Cálculo de estabilidad del techo por oleaje.....	82
3.13.3.5	Cálculo de la cantidad de compartimientos.....	83
3.13.3.6	Comprobación del pandeo de los mamparos.....	85
3.14	DISEÑO DE ACCESORIOS.....	86
3.15	SISTEMA DE SELLADO DEL TECHO.....	87
3.15.1	SELLOS PRIMARIOS.....	87
3.15.1.1	Sello mecánico tipo zapata.....	87
3.15.1.2	Sello no metálico junta elástica.....	88
3.15.2	SELLOS SECUNDARIOS.....	89
3.16	PATAS DE APOYO DE TECHO.....	89
3.17	SISTEMA DE VENTILACION.....	90
3.17.1	FUNCIONAMIENTO PURGA DE VENTILACIÓN.....	90
3.18	DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACION.....	93
3.18.1	VENTILACION DE VACIO (VACIADO).....	94
3.18.2	PRESIÓN DE VENTILACIÓN (LLENADO).....	94
3.19	SISTEMA DE DRENAJE DEL TECHO.....	96
3.19.1	SISTEMA DE TUBERÍA ARTICULADA.....	97
3.19.1.1	Ventajas.....	97
3.19.1.2	Desventajas.....	98
3.19.2	SISTEMA DE TUBERÍA FLEXIBLE.....	99
3.19.2.1	Ventajas.....	99
3.19.2.2	Desventajas.....	99
3.19.3	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE.....	100
3.19.4	DISEÑO TUBERÍA DE DRENAJE.....	100
3.20	Sistema contra incendios y pantalla de contención de espuma.....	102
CAPITULO 4		103
4.1	INTRODUCCIÓN.....	103
4.2	DISEÑO DEL CUERPO DEL TANQUE.....	103
4.3	DISEÑO FONDO DEL TANQUE Y FONDO ANULAR.....	106

4.4	DISEÑO VIGA DE RIGIDEZ.....	107
4.5	VIGA INTERMEDIA DE VIENTO.....	111
4.6	CÁLCULO CARGAS DE VIENTO.....	113
4.6.1	DATOS CARGA DE VIENTO.....	113
4.6.2	FUERZA DEL VIENTO SOBRE EL CUERPO DEL TANQUE.....	114
4.6.3	CÁLCULO DEL MOMENTO AL VOLTEO POR CARGA DE VIENTO.....	114
4.6.3.1	Determinación de los parámetros a utilizar.....	115
4.7	CÁLCULO POR CARGA DE SISMO.....	118
4.7.1	DATOS CARGA DE SISMO.....	118
4.7.2	DISEÑO DE RESPUESTAS DE ACELERACIONES ESPECTRALES. 119	
4.7.3	PERÍODO CONVECTIVO (CHAPOTEO), T_c	119
4.7.4	ESTABILIDAD CONTRA EL VUELCO POR CARGA SÍSMICA.....	120
4.7.5	CENTRO DE ACCIÓN PARA LAS FUERZAS LATERALES EFECTIVAS.....	120
4.7.6	ESTABILIDAD AL VUELCO.....	121
4.7.7	FUERZA DE CORTE EN LA BASE.....	121
4.7.8	RESISTENCIA AL VUELCO.....	121
4.7.9	RELACIÓN DE ANCLAJE.....	122
4.7.10	COMPRESIÓN EN EL CUERPO.....	123
4.7.10.1	Esfuerzo permisible máximo de compresión en el cuerpo.....	123
4.7.11	ALTURA LIBRE DE CHAPOTEO.....	124
4.7.12	ANCLAJE DEL TANQUE.....	124
4.8	DISEÑO TECHO FLOTANTE.....	126
4.8.1	DIÁMETRO DEL TECHO.....	126
4.8.2	CÁLCULO DE PESOS DEL TECHO.....	127
4.8.2.1	Cálculo del peso del techo.....	127
4.8.2.2	Bocas de visita.....	127
4.8.2.3	Peso deck central.....	128
4.8.2.4	Peso pontón.....	129
4.8.2.5	Peso aproximado accesorios del techo.....	132
4.8.3	CÁLCULO DE PESO PARA CONDICION DE AGUA LLUVIA ACUMULADA (10" DE H ₂ O).....	134

4.8.4	CÁLCULO DEL TAMAÑO DEL PONTON.	134
4.8.5	CONDICIÓN DE AGUA LLUVIA Y DRENAJE OBSTRUIDO 10´´ DE H2O EN 24 HORAS.....	136
4.8.6	DISEÑO DEL TECHO CON LIQUIDO DE GRAVEDAD ESPECIFICA 0,7	137
4.8.7	ESTABILIDAD DEL TECHO.....	138
4.8.7.1	Estabilidad por oleaje.	138
4.8.7.2	Centros de flotación del pontón.....	140
4.8.7.3	Centro de flotación Fd (Área sumergida desde el deck central hacia arriba)....	142
4.8.7.4	Centro de flotación total, F	142
4.8.8	CENTRO DE GRAVEDAD G1 Y G2 (PONTÓN).....	143
4.8.9	CENTRO DE GRAVEDAD DECK CENTRAL.....	144
4.8.10	CENTRO DE GRAVEDAD DEL CONJUNTO G.....	144
4.8.11	ESTABILIDAD DEL TECHO BAJO CONDICIÓN DE DOS COMPARTIMIENTOS ADYACENTES PERFORADOS.	145
4.9	CANTIDAD DE COMPARTIMIENTOS.....	147
4.9.1	CARGA SOBRE CADA MAMPARO.....	149
4.9.1.1	Carga distribuida sobre mamparo.	150
4.9.2	DISEÑO DE LOS SOPORTES DEL TECHO FLOTANTE.....	152
4.9.2.1	Carga viva uniforme.	153
4.9.2.2	Cargas muertas.....	153
4.9.2.3	Comprobación de los soportes del techo.	154
4.9.2.4	Diseño a compresión soportes techo.	155
4.9.3	DISEÑO DE VENTILACIÓN TECHO FLOTANTE.....	157
4.9.3.1	Ventilación de vaciado.....	157
4.9.4	DISEÑO DE DRENAJE DE TECHO.....	159
4.9.4.1	Cálculo de carga total.....	160
4.9.4.2	Perdidas en tubería de drenaje.	160
4.9.4.3	Velocidad de flujo.....	161
4.10	DISEÑO DE ESCALERAS Y PLATAFORMAS.	162
4.10.1	REQUERIMIENTO PARA PLATAFORMAS.....	162
4.10.2	REQUERIMIENTOS PARA ESCALERAS.....	163
4.10.3	REQUERIMIENTOS PARA ESCALERA FLOTANTE.	163

4.10.3.1	DISEÑO DE ESCALERA DEL TECHO:.....	164
4.11	SIMULACIÓN DEL TANQUE DE 100.000 BARRILES DE CAPACIDAD PARA ALMACENAMIENTO DE PETRÓLEO EN SAP 2000 V14.0.1.....	168
4.11.1	SIMULACIÓN	169
4.11.2	DEFINICIÓN DE MATERIALES.	169
4.11.3	DEFINICIÓN DE SECCIONES.....	171
4.11.4	DEFINICIÓN DE PATRONES DE CARGA.	175
4.11.5	DEFINICIÓN DE CASOS DE CARGA.....	176
4.11.6	DEFINICIÓN DE COMBINACIONES DE CARGA.....	178
4.11.7	ASIGNACIÓN DE CARGAS.....	180
4.11.7.1	Carga hidrostática.	180
4.11.7.2	Carga de viento.....	182
4.11.7.3	Carga de sismo.	184
4.11.7.4	Combinación de carga 1	186
CAPITULO 5	189
5.1	INTRODUCCIÓN.....	189
5.2	CIMENTACIÓN.	189
5.3	CENTRO.	191
5.4	ORIENTACIÓN Y EJES DEL TANQUE.	191
5.5	REVISIÓN DEL ANILLO DE CIMENTACIÓN.....	191
5.6	REQUERIMIENTOS DE HORIZONTALIDAD DE LA ENVOLENTE.	192
5.7	VERTICALIDAD.	192
5.8	REDONDEZ.	193
5.9	“PEAKING” (DISTORSIÓN VERTICAL).	193
5.10	“BANDING ” (DISTORSIÓN HORIZONTAL).	193
5.11	NIVELACIÓN DE LOS ANILLOS DEL CUERPO.	193
5.12	EQUIPOS DE MEDICIÓN Y MEDICIONES.	194
5.13	MONTAJE FONDO DEL TANQUE.....	195
5.13.3	MONTAJE DE FONDO Y SECUENCIA EN LA APLICACIÓN DE LA SOLDADURA.	195
5.13.3	TENDIDO DEL FONDO CON PLACAS TRASLAPADAS RECTANGULARES.....	197
5.13.3	SECUENCIA DE APLICACIÓN DE SOLDADURA EN EL FONDO CON PLACAS TRALAPADAS.	198

5.14	MONTAJE CUERPO TANQUE.	199
5.14.3	RECOMENDACIONES PREVIAS AL MONTAJE DEL PRIMER ANILLO.	200
5.14.3	NIVELACIÓN, VERTICALIDAD, REDONDEZ Y TOLERANCIAS. .	200
5.14.3	LEVANTAMIENTO DEL PRIMER ANILLO.	201
5.14.3	PLACAS CON PUERTAS DE LIMPIEZA.	203
5.14.3	UNIÓN Y SOLDEO DE JUNTAS VERTICALES.	204
5.14.3	AJUSTE DE JUNTAS VERTICALES.	204
5.14.3	SOLDADURA DE JUNTAS VERTICALES.	205
5.14.3	SOLDADURA EN LA JUNTA CIRCUNFERENCIAL FONDO-CUERPO.	205
5.14.3	MONTAJE DEL SEGUNDO Y DEMÁS ANILLOS DEL CUERPO. .	206
5.14.3	VARIACIÓN EN LA ABERTURA DE LA RAÍZ DE LA SOLDADURA. 208	
5.14.3	ÁNGULOS RIGIDIZADORES.	208
5.14.3	SOPORTES INFERIORES DE REFUERZO VIGA DE VIENTO.	208
5.14.3	REVISIÓN DEL CUERPO DEL TANQUE.	209
5.14.3	LIMPIEZA DEL TANQUE.	210
5.15	MONTAJE DEL TECHO FLOTANTE.	210
5.15.3	SECUENCIA DE MONTAJE DEL TECHO.	210
5.15.3	SUBEMSAMBLE Y MONTAJE DEL PONTÓN.	211
5.15.3	OBRA FALSA PARA APOYO Y ARMADO DEL TECHO.	213
5.15.3	ARREGLO Y TENDIDO DE LAS PLACAS DEL DIAFRAGMA DE TECHO (DECK).	213
5.15.3	SECUENCIA DE SOLDEO DEL DECK.	214
5.15.3	INSTALACIÓN DE SOPORTES DEFINITIVOS DE TECHO.	214
5.15.3	INSTALACIÓN DE ACCESORIOS.	216
5.16	PRUEBAS EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.	217
5.16.3	PRUEBAS EN EL FONDO DEL TANQUE.	217
5.16.2	PRUEBAS EN EL CUERPO DEL TANQUE.	219
5.16.2.1	Prueba gasoil.	219
5.16.2.2	Tintas penetrantes.	221
5.16.2.3	Inspección radiográfica.	227
5.16.2.4	Prueba hidrostática.	230

5.16.3	PRUEBAS EN EL TECHO FLOTANTE.....	233
5.16.3.1	Pruebas en el deck.....	233
5.16.3.2	Pruebas en el pontón.....	233
5.16.3.3	Prueba de hermeticidad en el pontón.....	233
5.16.3.4	Prueba de drenaje de techo.....	233
CAPITULO 6	234
6.1	INTRODUCCIÓN.....	234
6.2	COSTOS DE CONSTRUCCIÓN.....	234
6.2.1	COSTO DE MATERIALES.....	235
6.2.2	ALQUILER DE EQUIPOS.....	239
6.2.3	MATERIALES PARA SOLDADURAS.....	239
6.2.4	MANO DE OBRA DIRECTA.....	242
6.2.5	OTROS GASTOS.....	242
6.3	COSTOS TOTALES DEL PROYECTO.....	243
6.4	ANÁLISIS DE RENTABILIDAD.....	243
6.4.1	VALOR ACTUAL NETO. (VAN).....	246
6.4.2	CÁLCULO TIR.....	247
6.4.3	RELACIÓN COSTO BENEFICIO.....	249
CAPITULO 7	250
7.1	CONCLUSIONES.....	250
7.2	RECOMENDACIONES.....	253

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1 Grados aceptables de materiales para planchas.	12
Tabla 3. 2 Grupos de materiales, SI.	14
Tabla 3. 3 Distancias entre aberturas en el cuerpo del tanque.	23
Tabla 3. 4 Espesores tapa manhole brida emperrada.....	25
Tabla 3. 5 Diámetros de pernos para manhole	26
Tabla 3. 6 Resumen dimensiones para manhole de cuerpo.	27
Tabla 3. 7 Resumen dimensiones de boquillas cuerpo.	27
Tabla 3. 8 Dimensiones para sumidero.....	29
Tabla 3. 9 Dimensiones manhole de techo.	41
Tabla 3. 10 Dimensiones boquilla techo.....	42
Tabla 3. 11 Características Tanque.	43
Tabla 3. 12 Espesores mínimos para diámetros nominales de tanque.	45
Tabla 3. 13 Materiales permisibles de planchas y esfuerzos admisibles.	47
Tabla 3. 14 Resumen cálculo de espesores para prueba hidrostática y de diseño.	48
Tabla 3. 15 Espesores para planchas anulares de fondo en SI.	51
Tabla 3. 16 Espesores para planchas anulares de fondo en unidades Inglesas..	51
Tabla 3. 17 Mapeado máximo considerado para aceleraciones sísmicas en periodos cortos.....	64
Tabla 3. 18 Mapeado máximo considerado para aceleraciones sísmicas en periodos de 1 segundo.....	65
Tabla 3. 19 Factores de modificación de respuesta R_w	66
Tabla 3. 20 Resumen de parámetros.	66
Tabla 3. 21 Relación de anclaje.	72
Tabla 3. 22 Requerimientos básicos de accesorios	86
Tabla 4. 1 Características del tanque.....	103
Tabla 4. 2 Características acero ASTM A36	104
Tabla 4. 3 Espesores resultantes para el cuerpo del tanque.	105
Tabla 4. 4 Diseño fondo del tanque y fondo anular.....	106
Tabla 4. 5 Propiedades elemento A	109
Tabla 4. 6 Propiedades elemento B	110
Tabla 4. 7 Propiedades elemento C	110
Tabla 4. 8 Cálculo centros de inercia.	110
Tabla 4. 9 Cálculo de la envolvente transformada.	112
Tabla 4. 10 Datos carga de viento.....	113
Tabla 4. 11 Cargas por fuerza del viento.	114
Tabla 4. 12 Parámetros de carga de viento.....	115
Tabla 4. 13 Resultado para el criterio 1.....	116
Tabla 4. 14 Resultado para el criterio 2.....	117
Tabla 4. 15 Datos carga de sismo.....	118

Tabla 4. 16 Cálculo de peso efectivo impulsivo y convectivo.....	120
Tabla 4. 17 Cálculo del momento en la base del tanque.....	121
Tabla 4. 18 Cálculo Fuerza de corte en la base (V).....	121
Tabla 4. 19 Datos espesor plancha anular y anchura radial.....	121
Tabla 4. 20 Cálculo relación de anclaje.....	122
Tabla 4. 21 Cálculo compresión longitudinal.....	123
Tabla 4. 22 Esfuerzo permisible en el cuerpo.....	123
Tabla 4. 23 Altura requerida por chapoteo.....	124
Tabla 4. 24 Datos geométricos anclaje.....	124
Tabla 4. 25 Materiales y propiedades geométricas de anclaje.....	125
Tabla 4. 26 Resistencia mínima de anclaje.....	125
Tabla 4. 27 Resistencia mínima de anclaje.....	125
Tabla 4. 28 Datos preliminares techo flotante.....	126
Tabla 4. 29 Peso aproximado sello.....	127
Tabla 4. 30 Peso deck central.....	128
Tabla 4. 31 Peso anillo exterior.....	130
Tabla 4. 32 Peso anillo exterior.....	131
Tabla 4. 33 Peso superior pontón.....	131
Tabla 4. 34 Peso inferior pontón.....	131
Tabla 4. 35 Peso divisiones.....	132
Tabla 4. 36 Peso divisiones.....	132
Tabla 4. 37 Peso techo sin accesorios.....	132
Tabla 4. 38 Peso patas soporte de techo.....	133
Tabla 4. 39 Peso misceláneos.....	133
Tabla 4. 40 Peso total accesorios.....	133
Tabla 4. 41 Peso total del techo.....	133
Tabla 4. 42 Cálculo del peso de agua acumulada.....	134
Tabla 4. 43 Profundidad de flotación.....	135
Tabla 4. 44 Cálculo de ancho de pontón, (B).....	135
Tabla 4. 45 Resumen medidas pontón.....	136
Tabla 4. 46 Carga de lluvia.....	136
Tabla 4. 47 Resultado presión del agua.....	137
Tabla 4. 48 Datos gravedad específica.....	138
Tabla 4. 49 Resultado profundidad de flotación para $G=0,7$	138
Tabla 4. 50 Resultado estabilidad por oleaje.....	140
Tabla 4. 51 Resumen medidas arco pontón.....	148
Tabla 4. 52 Datos mamparo.....	149
Tabla 4. 53 Esfuerzo aplicado al mamparo.....	150
Tabla 4. 54 Datos diseño soportes techo.....	152
Tabla 4. 55 Sección soportada por los soportes.....	153
Tabla 4. 56 Carga viva uniforme.....	153
Tabla 4. 57 Carga muerta.....	153
Tabla 4. 58 Carga total sobre el techo.....	154

Tabla 4. 59 Datos soportes techo.....	154
Tabla 4. 60 Diseño a compresión.....	155
Tabla 4. 61 Datos geométricos sistema de ventilación.	157
Tabla 4. 62 Flujo de vaciado total.....	157
Tabla 4. 63 Flujo de llenado total	157
Tabla 4. 64 Dimensionamiento ventilación.....	158
Tabla 4. 65 Selección ventilación.....	158
Tabla 4. 66 Datos drenaje de techo.	159
Tabla 4. 67 Número de drenajes.....	159
Tabla 4. 68 Número de accesorios.....	159
Tabla 4. 69 Longitud equivalente de accesorios.	160
Tabla 4. 70 Longitud equivalente de tubería	161
Tabla 4. 71 Velocidad de flujo	161
Tabla 4. 72 Número mínimo de drenajes.	161
Tabla. 5. 1 Tolerancia de los radios del cuerpo del tanque.	193
Tabla. 5. 2 Diferencias admisibles de diámetros.....	194
Tabla. 5. 3 Aumento al radio por placa anular.....	196
Tabla. 5. 4 Procedimiento prueba de vacío.....	218
Tabla. 5. 5 Procedimiento prueba de vacío.....	220
Tabla. 5. 6 Procedimiento control tintas penetrantes.	222
Tabla. 5. 7 Procedimiento prueba hidrostática.	230
Tabla 6. 1 Costos pontón	235
Tabla 6. 2 Costos planchas.....	236
Tabla 6. 3 Costos viga de rigidez	236
Tabla 6. 4 Costos escalera helicoidal.....	237
Tabla 6. 5 Costos escalera flotante	237
Tabla 6. 6 Costos poste guía.....	237
Tabla 6. 7 Costos tubería drenaje	237
Tabla 6. 8 Costos sistemas contra incendios	238
Tabla 6. 9 Costos varios.....	238
Tabla 6. 10 Resumen costos materia prima.....	238
Tabla 6. 11 Cantidad de electrodos a utilizar para el fondo	239
Tabla 6. 12 Cantidad de electrodos a utilizar para el fondo	240
Tabla 6. 13 Cantidad de electrodos a utilizar para el cuerpo	240
Tabla 6. 14 Cantidad de electrodos a utilizar para el deck.....	240
Tabla 6. 15 Cantidad de electrodos a utilizar para el pontón	241
Tabla 6. 16 Cantidad de electrodos a utilizar para los accesorios.....	241
Tabla 6. 17 Costos de consumible de soldadura.....	241
Tabla 6. 18 Cantidad de electrodos a utilizar para los accesorios.....	242
Tabla 6. 19 Costos de otros gastos.....	242
Tabla 6. 20 Costos de otros gastos.....	243
Tabla 6. 21 Cobertura del préstamo.....	244
Tabla 6. 22 Cobertura del préstamo.....	245

Tabla 6. 23 Calculo del precio de venta.	246
Tabla 6. 24 Cálculo del valor actual neto.	247
Tabla 6. 25 Cálculo de VAN negativo.....	247
Tabla 6. 26 Resumen parámetros	248

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Tipos de tanques de almacenamiento.....	1
Figura 2.2. Tanque de almacenamiento tipo techo fijo.....	1
Figura 2.3. Tanque de almacenamiento tipo techo fijo tipo domo.	1
Figura 2.4. Tanque de almacenamiento tipo techo fijo tipo Cónico.	1
Figura 2.5. Tanque de almacenamiento Esférico.....	6
Figura 2.6. Tanque de almacenamiento cilíndrico horizontal.	6
Figura 2.7. Tanque de almacenamiento empernado.....	6
Figura 3.1. Cargas en el cuerpo del tanque.	8
Figura 3.2. Deformación del fondo debido a vertical bending.....	9
Figura 3.3. Deformaciones por tensiones en el cuerpo.....	10
Figura 3.4. Temperatura mínima permisible versus espesor de las planchas para Materiales usados en el tanque de almacenamiento.	12
Figura 3.5. Soldadura a tope doblemente soldada.....	16
Figura 3.6. Soldadura a tope simple con respaldo.....	17
Figura 3.7. Soldadura a traslapada doblemente soldada.....	18
Figura 3.8. Soldadura traslapada simple.....	19
Figura 3.9. Soldadura a tope.....	19
Figura 3.10. Soldadura de filete	20
Figura 3.11. Soldadura de filete completo.....	20
Figura 3.12. Soldadura provisional.....	21
Figura 3.13. Aberturas y separaciones necesarias entre aberturas de accesorios para tanques	22
Figura 3.14. Manhole de cuerpo.....	24
Figura 3.15. Brida tipo regular.....	26
Figura 3.16. Brida tipo baja.....	26
Figura 3.17. Brida tipo emperrada o roscada.....	27
Figura 3.18. Sumidero tanque.....	28
Figura 3.19. Puerta de limpieza.....	39
Figura 3.20. Manhole techo.....	40
Figura 3.21. Boquillas techo.....	41
Figura 3. 22 Secciones típicas de anillos de rigidez para tanques de almacenamiento	52
Figura 3. 23 Diagrama de cargas debido a la presión del viento sobre el tanque de techo flotante.....	55
Figura 3. 24 Diagrama sísmico para un techo flotante.....	58
Figura 3. 25 Respuesta espectral para el diseño de tanques de almacenamiento apoyados en tierra.....	62
Figura 3. 26 Coeficiente del periodo de chapoteo, K_s	63
Figura 3. 27 Peso efectivo de la proporción del líquido.....	68
Figura 3. 28 Centro de acción de fuerzas efectivas	69

Figura 3. 29 Cargas por sismo.	71
Figura 3. 30 Altura de chapoteo del líquido dentro del tanque	74
Figura 3. 31 Techo flotante tipo pontón	78
Figura 3. 32 Requerimientos mínimos para un techo flotante tipo pontón	79
Figura 3. 33 Dimensiones preliminares pontón	79
Figura 3. 34 Esquema carga de lluvia.	81
Figura 3. 35 Esquema estabilidad por oleaje.	82
Figura 3. 36 Angulo admisible.	84
Figura 3. 37 Accesorios típicos en un techo flotante	86
Figura 3. 38 Sellos primarios.....	88
Figura 3. 39 Sellos secundarios	89
Figura 3. 40 Ventilación de purga al inicio del vaciado.....	91
Figura 3. 41 Ventilación de purga durante el final del vaciado.	92
Figura 3. 42 Ventilación de purga al inicio del llenado	92
Figura 3. 43 Ventilación de purga al final del llenado	93
Figura 3. 44 Posiciones drenaje de techo	96
Figura 3. 45 Ensamble de tubería articulada.....	97
Figura 3. 46 Esquema típico de tubería articulada.....	98
Figura 3. 47 Esquema típico tubería flexible	99
Figura 3. 48 Detalle junta articulada.....	100
Figura 4. 1 Esquema viga de rigidez.	108
Figura 4. 2 Elemento A viga de rigidez.....	109
Figura 4. 3 Elemento B viga de rigidez.....	109
Figura 4. 4 Elemento C viga de rigidez	110
Figura 4. 5 Momento al volteo por carga de viento.	114
Figura 4. 6 Esquema techo flotante.....	126
Figura 4. 7 Medidas aproximadas techo flotante.....	126
Figura 4. 8 Partes techo flotante.	127
Figura 4. 9 Esquema techo flotante.....	128
Figura 4. 10 Esquema deck central.....	129
Figura 4. 11 Esquema Pontón.....	130
Figura 4. 12 Esquema dimensiones del pontón	134
Figura 4. 13 Dimensiones del pontón	136
Figura 4. 14 Área de contacto con el líquido.	137
Figura 4. 15 Altura metacentro.	139
Figura 4. 16 Centro de flotabilidad del pontón.....	141
Figura 4. 17 Centro de flotabilidad del deck central.	142
Figura 4. 18 Centro de flotación total.	142
Figura 4. 19 Centro de flotación pontón.	143
Figura 4. 20 Angulo admisible.....	146
Figura 4. 21 Cálculo del arco del comportamiento.	147
Figura 4. 22 Esquema arco comportamiento pontón.....	148
Figura 4. 23 Sección mamparo.	149

Figura 4. 24 Dimensiones mamparo.	149
Figura 4. 25 Coeficiente k para las condiciones de apoyo	151
Figura 4. 26 Esquema disposición soportes del techo.	152
Figura 4. 27 Posición extrema de la escalera del techo.	164
Figura 4. 28 a.- diagrama cuerpo libre; b.- diagrama de cuerpo libre simplificado	165
Figura 4. 29 Diagrama de fuerza cortante.	165
Figura 4. 30 Diagrama del momento flector.	166
Figura 4. 31 Modelado 3D en AUTOCAD 2012.....	168
Figura 4. 32 Asignación de materiales.	169
Figura 4. 33 Propiedades de los materiales.	170
Figura 4. 34 Coeficientes de los materiales.....	170
Figura 4. 35 Definición de secciones anillo 1.	171
Figura 4. 36 Definición de secciones anillo 2 y 3.....	172
Figura 4. 37 Definición de secciones anillo 4 y 5.....	173
Figura 4. 38 Definición de secciones anillo 6 y 7.....	174
Figura 4. 39 Definición casos de carga.	175
Figura 4. 40 Patrones de carga	175
Figura 4. 41 Casos de carga	176
Figura 4. 42 Carga muerta.	176
Figura 4. 43 Carga viento.	177
Figura 4. 44 Carga sismo.	177
Figura 4. 45 Carga hidrostática.	178
Figura 4. 46 Combinaciones de carga.....	179
Figura 4. 47 Combinaciones de carga comb1.	179
Figura 4. 48 Combinaciones de carga comb2.	180
Figura 4. 49 Presión sobre el cuerpo, producto de la prueba hidrostática.	181
Figura 4. 50 Deformación sobre el cuerpo, producto de la prueba hidrostática	182
Figura 4. 51 Deformación sobre el cuerpo, producto de la carga de viento.	183
Figura 4. 52 Carga sobre el cuerpo, producto de la carga de viento.....	184
Figura 4. 53 Carga sobre el cuerpo, producto de la carga de sismo.	185
Figura 4. 54 deformaciones del cuerpo, producto de la carga de sismo.	186
Figura 4. 55 Esfuerzo sobre el cuerpo por combinación de cargas 1.....	187
Figura 4. 56 Máximo valor de esfuerzo en el cuerpo del tanque.	187
Figura. 5.1 Cimentación tanque de almacenamiento.	190
Figura. 5. 2 Distribución planchas de fondo.	197
Figura. 5. 3 Traslape típico de planchas de fondo.....	198
Figura. 5. 4 Detalle montaje cuerpo dentro del tanque.....	200
Figura. 5. 5 Montaje de planchas usando grúa	200
Figura. 5. 6 Montaje primer anillo.	202
Figura. 5. 7 Uso de Buggys en el montaje de tanques.....	203
Figura. 5. 8 Montaje anillos tanque.	207
Figura. 5. 9 Soldadura pontones.	212

Figura. 5. 10 Pontones armados.	213
Figura. 5. 11 Obra falsa montaje deck.	214
Figura. 5. 12 Soportes techo flotante.	215
Figura. 5. 13 Soportes techo flotante	217
Figura. 5. 14 Esquema ubicación radiografías tanque.	229
Figura 6. 1 Diagrama de flujo de caja.....	246
Figura 6. 2 VAN vs. i	248

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1	ESFUERZO MÁXIMO PERMISIBLE
ANEXO 2	MATERIALES ACEPTADOS PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO
ANEXO 3	DISTANCIAS DE ABERTURAS DE CUERPO
ANEXO 4	ESPEORES PARA CUELLOS DE MANHOLE.
ANEXO 5	DIMENSIONES PARA BOQUILLAS DE CUERPO Y BRIDAS.
ANEXO 6	DIMENSIONES PUERTA DE LIMPIEZA.
ANEXO 7	DIAMETROS TÍPICOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO PARA CAPACIDADES NOMINALES EN BARRILES
ANEXO 8	ESPEORES TÍPICOS DE ANILLOS DEL CUERPO.
ANEXO 9	TABLAS DEL CEC PARA DETERMINAR CARGAS DE SISMO.
ANEXO 10	LONGITUDES EQUIVALENTES DE TUBERÍA.
ANEXO 11	MOMENTOS DE INERCIA AUTOCAD
ANEXO 12	LÍNEA DE CREDITO MULTISECTORIAL.
ANEXO 13	PROFORMAS
ANEXO 14	ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DEL PROYECTO (WPS)
ANEXO 15	PLANOS DEL PROYECTO

RESUMEN

En el Ecuador, la industria petrolera, en los últimos años ha tenido una gran expansión, requiriendo los servicios de profesionales y técnicos en diferentes áreas. Se hace necesaria la implementación de sistemas que permitan mejorar el trabajo dentro de esta industria.

La industria petrolera requiere de varios servicios para su buen funcionamiento, dentro de los cuales es el cálculo y diseño de tanques de almacenamiento de petróleo y sus derivados.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, en el capítulo 1 de la presente obra se da a conocer los objetivos, alcances, justificación del proyecto de manera que el lector pueda conocer sobre el tema a tratar

En capítulo 2 se establece una clasificación general de los tipos de tanques de almacenamiento así como su aplicación en la industria en general.

En el capítulo 3, se desarrollan todos los parámetros necesarios para el diseño de tanques de almacenamiento tipo techo flotante. En este capítulo se establecen los requerimientos funcionales a cumplir, así como también los fundamentos teóricos de la resistencia de materiales y el diseño estructural que sentarán la base en la cual nos fundamentaremos para el diseño del proyecto. En este capítulo se establecen también las normas nacionales e internacionales de referencia sobre las cuales apoyaremos la realización de nuestro diseño.

También se hace uso de matrices de selección ingenieril con el fin de dar solución a la selección de alternativas de diseño.

En el capítulo 4 se reúnen todas las características técnicas a cumplir en el diseño del tanque de almacenamiento tipo techo flotante, mediante el uso de fundamentos teóricos, se establecen las cargas de diseño aplicadas al tanque de almacenamiento, y se realiza la ingeniería básica y de detalle del proyecto.

En el capítulo 4 se valida el diseño mediante la simulación del tanque realizada en el SAP 2000, simulación que ayudara a verificar si los cálculos determinados y las dimensiones establecidas son correctas.

El capítulo 5 se propone una guía rápida para el montaje basada en la teoría estructural y la norma API 650.

Finalmente, en el capítulo 6 en base a recomendaciones de empresas estructurales y consultas realizadas a las casas comerciales de los elementos de la construcción en el país, se establece el análisis de costos para la implementación del proyecto.

PRESENTACIÓN

Los tanques de almacenamiento de petróleo y sus derivados han sido utilizados ampliamente en muchos procesos industriales en particular en las refinerías e instalaciones petroleras, la industria petroquímica donde son utilizados para almacenar una gran cantidad de productos como: petróleo, gasolina, aceite, agua de reinyección, etc.

Hay diferentes tipos de tanque como: tanques de techo fijo, tanques de techo abierto, tanque techo flotante, etc.

Hay varios códigos industriales, estándares y requisitos básicos para el diseño y construcción tanque de almacenamiento.

A pesar de la normativa vigente los códigos aplicables, no existe un procedimiento en el diseño del techo flotante, por lo que queda a criterio del diseñador, el aplicarlos conocimientos en materiales y diseño de estructuras metálicas, debería dar como resultado un diseño óptimo, económico y estructuralmente estable

La ingeniería en todo su espectro tiene la función primordial de facilitar la vida del ser humano en sociedad. Son los avances tecnológicos los que rigen el avance de la sociedad su entorno. Es entonces función primordial del ingeniero, implementar un mimetismo entre la tecnología y el entorno de vida del ser humano, de manera que se favorezca al desarrollo de la sociedad.

Las industrias de carácter ingenieril deben por tanto tratar siempre de estar al día con los requerimientos tecnológicos necesarios para su funcionamiento.

Es por esto que la presente tesis resume las consideraciones necesarias para el cálculo estructural en acero citando normas de amplio uso internacional y normas ecuatorianas que rigen la construcción.

El montaje también ha sido tomado en cuenta con el fin de proporcionar una guía la cual permita al diseñador tener un referente de construcción y el equipo adecuado para su armado.

Finalmente, el estudio no podría estar completo sin el respectivo desarrollo de los costos, los mismos que serán evaluados para la presente fecha y de esta manera presentar una cuantificación económica del proyecto.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

El Ecuador siendo un país dependiente del petróleo tiene la necesidad que la industria petrolera intervenga en él y con ello todas las empresas para ofrecer los servicios petroleros, como por ejemplo aquellas empresas que se dedican a la construcción de tanques de almacenamiento, construcción de oleoductos, poliductos entre otros.

El almacenamiento del petróleo y sus derivados está en continuo desarrollo, porque existe la respectiva demanda por lo tanto las empresas nacionales y extranjeras que se dedican al diseño, construcción y montaje de tanques de almacenamiento de petróleo y sus derivados se sujetan a una amplia competitividad; por lo tanto se ven obligados a cumplir la normativa respectiva

Para la realización del diseño de un tanque de almacenamiento de 100.000 barriles de capacidad nominal se fundamentara en la aplicación de las normas API 650, API 651, API 653, API 2000 y normas afines que nos permitan determinar los criterios y requerimientos para obtener el diseño de un tanque de almacenamiento tipo techo flotante.

Además en general un diseño estructural a más de cumplir con la normativa necesaria debe tener un costo adecuado para que entre en competitividad

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

En el Ecuador la industria petrolera ha tenido un realce importante en los últimos años por lo que se requiere de un aparato productivo que pueda satisfacer las necesidades de almacenamiento a gran escala.

TESCA INGENIERÍA DEL ECUADOR, en su crecimiento como empresa tiene la necesidad de implementar un diseño eficiente para tanques de almacenamiento tipo techo flotante, utilizado en la industria petrolera.

Por lo tanto, es fundamental el aporte que pueda brindar la universidad a la industria petrolera mediante el desarrollo del presente proyecto.

1.3 OBJETIVOS.

1.3.1 OBJETIVO GENERAL:

Diseñar un tanque de almacenamiento tipo techo flotante para satisfacer los requerimientos de la empresa TESCA Ingeniería del Ecuador.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- I. Presentar la ingeniería básica y de detalle para el montaje del tanque de almacenamiento de petróleo.
- II. Proporcionar una memoria de cálculo para tanques de almacenamiento de 100.000 barriles para almacenamiento de petróleo.
- III. Realizar la simulación del diseño del tanque de almacenamiento en el programa SAP 2000, para validar los diferentes parámetros de cálculo.
- IV. Establecer los procedimientos de ensayos no destructivos aplicados a tanques de almacenamiento según los requerimientos.

1.3.3 ALCANCE:

1. Se realizará un estudio de clasificación de tanques y recipientes a presión utilizados en la industria petrolera.
2. Se establecerán los parámetros y variables necesarias para el diseño, montaje y pruebas de tanques de almacenamiento de petróleo.
3. Se realizará el cálculo y diseño de un tanque de almacenamiento de petróleo tipo techo flotante que sirva de base para satisfacer las necesidades de almacenamiento de la industria petrolera.
4. Se aplicarán las normas y estándares nacionales e internacionales en el diseño, fabricación y montaje de tanques de almacenamiento con techo tipo flotante.
5. Se realizará un análisis financiero de los costos del proyecto

1.4 CONCEPTOS BÁSICOS.

De acuerdo a los requerimientos de la industria petrolera la empresa contratista debe cumplir una determinada normativa para ser aplicada en el diseño, construcción y operación de tanque de almacenamiento tipo techo flotante.

En nuestro proyecto, la normativa que rige el diseño, fabricación, montaje e inspección de tanques de almacenamiento para petróleo a presión atmosférica es API 650.

Norma API 650: Norma de la American Petroleum Institute, que rige el diseño de tanques de almacenamiento construidos 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).

Alcance.- Según “API 650 Addendum 2 Noviembre 2009”,

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.

En las secciones que la norma podemos mencionar los siguientes aspectos que son vitales en el diseño del tanque de almacenamiento:

Alcance.- alcance de la norma, limitaciones, responsabilidades del proyecto, formatos requeridos,

Referencias.- listado de normas y códigos a fines con la norma.

Definiciones.- Contiene conceptos básicos de la literatura usada.

Materiales.- opciones de materiales para: láminas, placas, piezas de forja, tubería, perfiles estructurales, bridas, pernos, juntas, electrodos.

Diseño.- de juntas soldadas, consideraciones de diseño y especiales, de placas de fondo, de placas anulares de fondo, casco, vigas de viento superior e interior, tejados, carga de viento.

Fabricación.- de juntas soldadas.

Montaje.- detalles de soldaduras, inspección, comprobación y reparaciones, restauración de soldaduras y tolerancias dimensionales.

Métodos de inspección e juntas.- método radiográfico, examen de partículas magnéticas, examen ultrasónico, examen de líquido penetrante, examen visual.

Procedimiento de soldadura y calificación del soldador.- Calificación de procedimientos de soldadura, calificación de soldadores, identificación de juntas soldadas.

Marcas.- marcas de placa, división de responsabilidades, certificación.

Además de la norma que corresponde a los tópicos mencionados anteriormente esta estandarización nos ayuda con sus apéndices donde podemos encontrar herramientas ingenieriles que nos ayudan en el diseño de las partes y las diferentes opciones de sus partes como mostraremos a continuación:

Apéndice A.- Diseño opcional para tanques pequeños.

Apéndice AL.- Tanques de almacenamiento de aluminio.

Apéndice B.- Recomendaciones para el diseño y construcción de cimentaciones de tanques cilíndricos verticales para almacenaje de petróleo.

Apéndice C.- Techos flotantes externos.

Apéndice D.- Consultas técnicas.

Apéndice E.- Diseño sísmico de tanques de almacenamiento.

Apéndice EC.- Comentarios del apéndice E.

Apéndice F.- Diseño de tanque para baja presión interna.

Apéndice G.- Soporte estructural de aluminio para techo tipo domo.

Apéndice H.- Techo flotante interiores.

Apéndice I.- Detección de filtración en el fondo del tanque y protección del cimientto.

Apéndice J.- Ensamble en taller de tanques de almacenamiento.

Apéndice K.- Ejemplo de aplicación del método del punto de diseño variable para determinar el espesor de la placa del casco.

Apéndice L.- Hoja de datos de la norma API 650 para tanque de almacenamiento.

Apéndice M.- Requerimientos para tanques que operan a elevadas temperaturas.

Apéndice N.- Uso de nuevos materiales que no están identificados.

Apéndice O.- Recomendaciones para las conexiones de bajo fondo.

Apéndice P.- Cargas permisibles externas para tanque de casco abierto.

Apéndice R.- Cargas combinadas.

Apéndice S.- Tanques de almacenamiento de acero inoxidable austenítico.

Apéndice SC.- Materiales para tanques de almacenamiento de acero inoxidable y al carbón mezclados.

Apéndice T.- Resumen de requerimientos NDE.

Apéndice U.- Examen de ultrasonido en vez de radiografía.

Apéndice V.- Diseño de tanque de almacenamiento para presión externa.

Apéndice W.- Recomendaciones comerciales y documentación.

Apéndice X.- Tanques de almacenamiento acero inoxidable doble.

Apéndice Y.- Monograma de la API.

Cabe señalar que la norma API 650, tiene relación con otras normas como por ejemplo: ANSI, ASTM, ASME, NACE, NFPA, AWS, ACI.

CAPITULO 2

CLASIFICACIÓN GENERAL DE TANQUES Y RECIPIENTES A PRESIÓN.

2.1 TIPOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

En la figura 2.1 se detallan varios tipos de tanques de almacenamiento comúnmente usado en la industria.

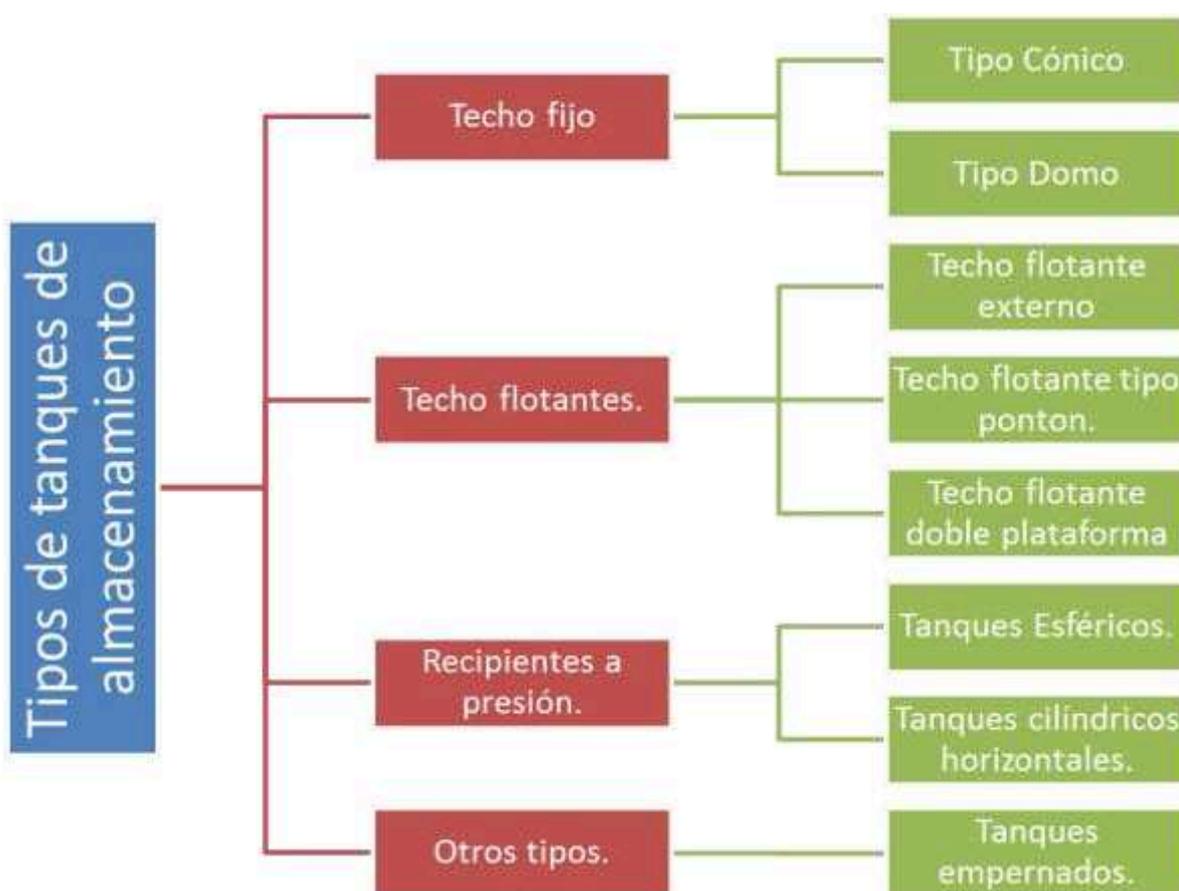


Figura 2.1. Tipos de tanques de almacenamiento.

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 la acumulación de gases en el interior del tanque que pueden producir incendio ó explosión de este, y por tanto la presión en el tanque no exceda la atmosférica. 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.¹

Pueden tener techo auto soportado o 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. (ver figura 2.2).

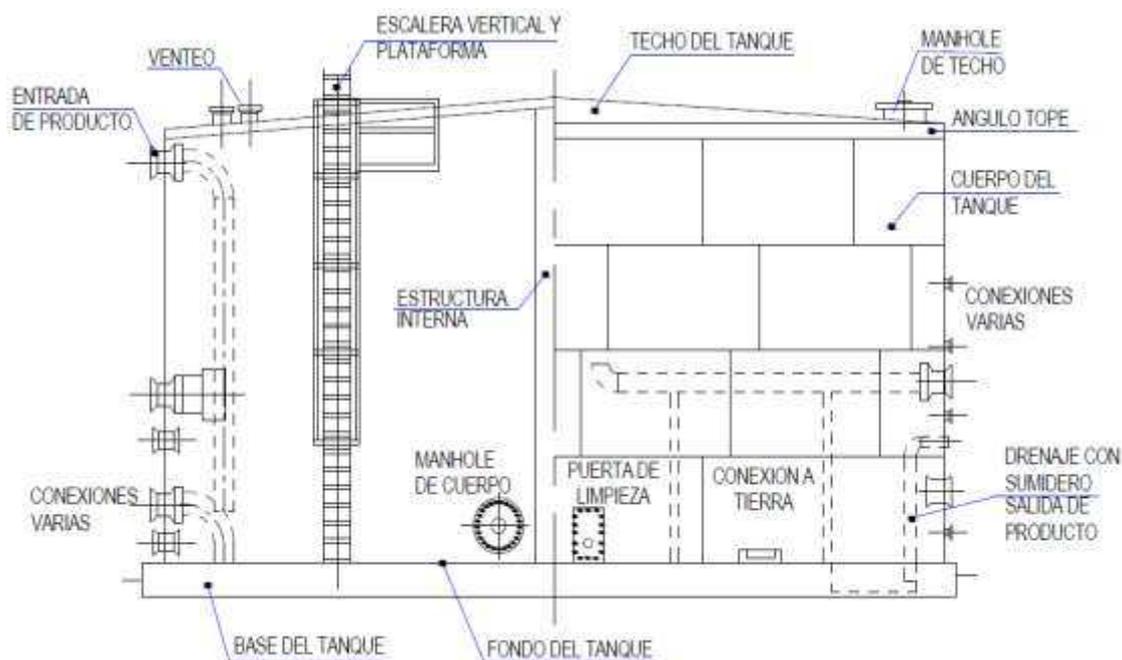


Figura 2.2. Tanque de almacenamiento tipo techo fijo.

¹www.tauniversity.org/tesis/Tesis_Ricardo_Castillo.doc



Figura 2.3. Tanque de almacenamiento tipo techo fijo tipo domo.²



Figura 2.4. Tanque de almacenamiento tipo techo fijo tipo Cónico.³

2.1.2 TANQUE DE ALMACENAMIENTO TECHO FLOTANTE.

2.1.2.1 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.

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.

²http://www.agnchile.cl/prontus_agm/site/artic/20081030/pags/20081030154017.html

³http://es.123rf.com/photo_5826422_tanques-de-almacenamiento-de-informacion-agricola.html

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

2.1.2.2 Techo flotante Tipo pontón.

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 los 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 licúan 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.

2.1.2.3 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 dispone el tanque.

Este tipo de techo, fue utilizado en épocas pasadas, ya que poseen dos laminas entre las cuales existe un espacio lleno de aire que produce un aislamiento

efectivo entre la superficie total del 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.

2.1.3 RECIPIENTES A PRESIÓN.

2.1.3.1 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.⁴



Figura 2.5. Tanque de almacenamiento Esférico.⁵

2.1.3.2 Tanques de almacenamiento Cilíndricos horizontales.

Posee un armazón cilíndrico con casquetes (esferoides) La presión de trabajo puede ser desde 15 Psig a 1000 Psig o mayor. Algunos de esos tanques tienen cabeza plana o hemisférica.

⁴<http://es.scribd.com/doc/19414750/Tanques-de-Almacenamiento-de-Hidrocarburos>

⁵http://es.123rf.com/photo_5826422_tanques-de-almacenamiento-de-informacion-agricola.html

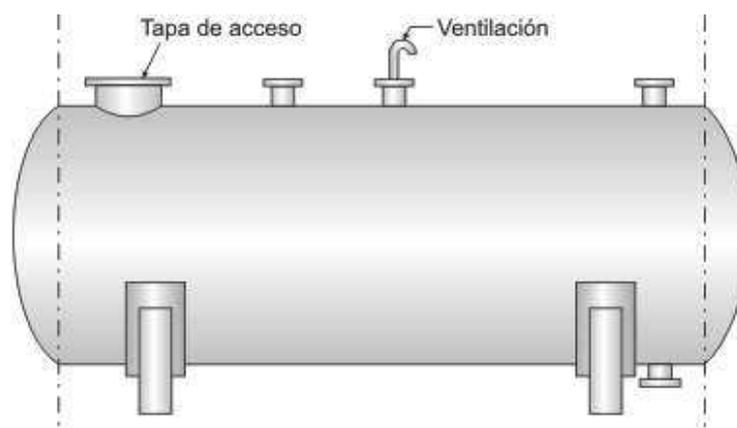


Figura 2.6. Tanque de almacenamiento cilíndrico horizontal.⁶

2.1.4 OTROS TIPOS.

2.1.4.1 Tanques de almacenamiento empernados.

Son diseñados y acondicionados como elementos segmentados 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 bls, 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.



Figura 2.7. Tanque de almacenamiento empernado.⁷

⁶http://es.123rf.com/photo_5826422_tanques-de-almacenamiento-de-informacion-agricola.html

⁷<http://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=4826&nombreactivo=>

CAPITULO 3

PARÁMETROS DE DISEÑO

3.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo 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.

Se tomará en cuenta las experiencias del área de ingeniería de TESCA INGENIERÍA DEL ECUADOR, en el diseño de tanques de almacenamiento.

Las suposiciones y consideraciones que se tomarán 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 capítulo se identificaran todos los factores que inciden en el diseño de un tanque de almacenamiento.

3.2 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO MECÁNICO

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 (Este factor no es aplicable a los tanques de techo flotante, ya que el techo se colocan directamente en el líquido, no hay espacio para el 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, escalera escaleras / y la plataforma.

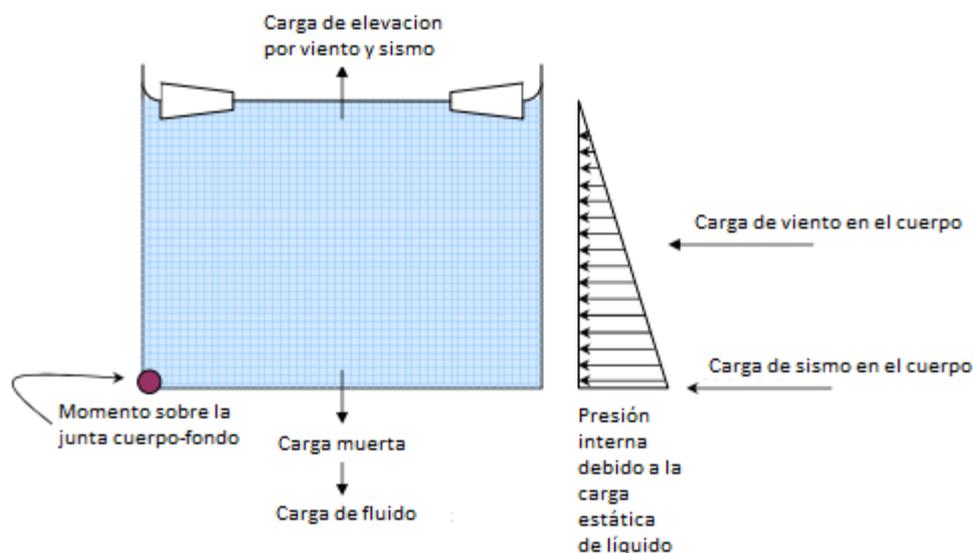


Figura 3.1. Cargas en el cuerpo del tanque.

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 del tanque y disminuye en 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 reacción 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, para el presente diseño no aplica porque no existe espacio entre el líquido y el techo.
- **Axial compression.** 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.
- **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.(ver Techo flotante Tipo pontón.)

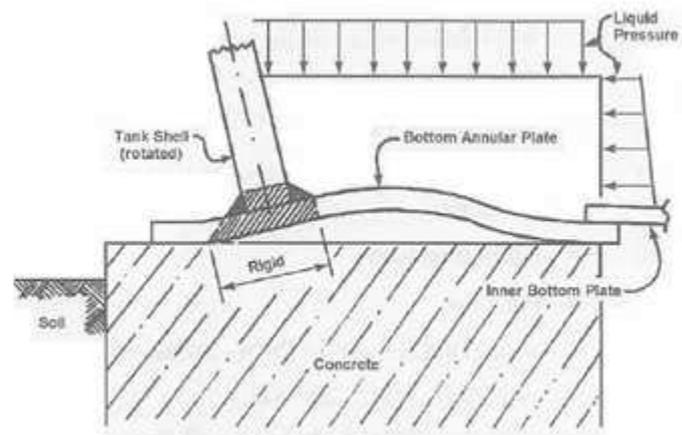


Figura 3.2. Deformación del fondo debido a vertical bending.

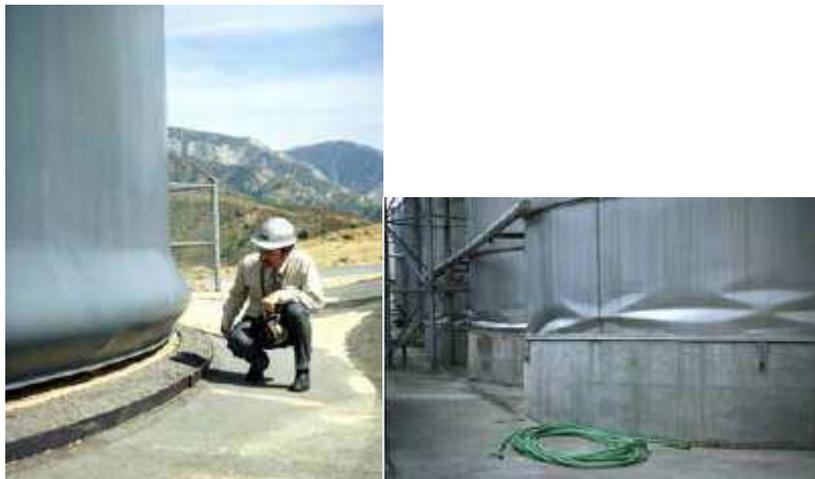


Figura 3.3. Deformaciones por tensiones en el cuerpo.

3.3 CONSIDERACIONES ESPECIALES DE DISEÑO.

3.3.1 TOLERANCIAS POR CORROSIÓN⁸.

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.

Por estos parámetros es necesario establecer una la 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 tomara 1/16 pulg. Por corrosión este valor se toma debido a las condiciones ambientales, y experiencia vista en otros tanques, un valor mayor por corrosión resultaría un sobredimensionamiento exagerado y por ende un gasto innecesario de dinero.

3.3.2 ESFUERZOS PERMISIBLES⁹.

El esfuerzo máximo permisible de diseño del producto (Sd), será tal como se muestra en el anexo 1. 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, Sd, deberá ser, dos o tres veces la resistencia de punto de fluencia, ó de dos a cinco veces la resistencia a tensión, cualquiera que sea menor.

Las planchas del cuerpo tendrán un ancho nominal mínimo de 1800 mm. (72 pulg.). Las planchas que serán soldadas a tope serán propiamente escuadradas, la longitud de las planchas pueden variar conforme el mercado nacional, para el presente caso se utilizaran planchas de 12 metros de largo debido a que es la longitud máxima que se puede transportar.

3.3.3 GRAVEDAD ESPECIFICA DEL LÍQUIDO A ALMACENAR (G).

El presente diseño se toma en cuenta la condición mas crítica que se da en la prueba hidrostática en la cual se almacenara agua por lo que se tomara el valor $G=1.0$.

⁸ API Standard 650, 11 Edition Junio 2001, addendum 2 , Par. 5.6.1.

⁹ API Standard 650, 11 Edition Junio 2001, addendum 2 , Par. 5.6.2.

3.3.4 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 y pase las pruebas del apéndice N.

Cuando el tanque se diseña para los requerimientos de esta norma, los materiales usados para las placas de acero son del Grupo I hasta los del Grupo IIIA, el fabricante de tanque es el responsable de alguna sugerencia de sustitución de cambio de materiales que estén en el Grupo IV hasta el Grupo VI, (ver anexo 2) pero se debe cumplir con lo siguiente:

- Mantener el criterio original de diseño en su totalidad para la reducción de esfuerzos de los materiales de Grupo I al Grupo III.
- Obtener la aprobación de la empresa contratante.
- Asegurarse que todo el diseño, fabricación, montaje e inspección requeridas para el material a sustituirse, se encuentren dentro de las especificaciones de lo materiales del Grupo I al Grupo III, incluyendo mas bajos esfuerzos, pero sin limitar:
 - 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.

- Incluir la información pertinente en los documentos proporcionados por el comprador, incluyendo el certificado que el material sustituido cumplirá totalmente con las especificaciones de los materiales del Grupo I al Grupo III, y proporcionar cualquier otro archivo que cubra los procedimientos de trabajo acerca del material como son: pruebas de impacto, procedimientos de soldadura, exámenes no destructivos y tratamientos térmicos.

3.3.4.1 Planchas.

Los materiales para la selección de las placas se los escoge de acuerdo a los requerimientos ASTM.¹⁰

- 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 0.01 pulgadas (0.3 mm).
- Todas la 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 usados 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 el cuerpo del tanque.

El espesor de las planchas del cuerpo están limitadas a un espesor de 45 mm (1.75 pulg). Planchas con espesores menores a 40mm (1.5 pulg.), deberán ser templadas y normalizadas, deberán hacerse pruebas de grano fino e impacto.

¹⁰ API Standard 650, 11 Edition Junio 2001, addendum 2 , Par. 4.2.2. pag.4-2

3.3.4.2 Especificaciones de la ASTM

Planchas según la ASTM serán aceptadas siempre que cumplan las siguientes especificaciones y se encuentren dentro de los límites.

- A. ASTM A 36M/A 36 planchas para un espesor máximo de 40mm (1.5 pulg).
- B. ASTM A 131M/A 131, Grado A, para planchas de un espesor máximo de 12.5mm (0.5 pulg). Grado B, planchas de un máximo espesor de 25mm (1 pulg). Grado CS, planchas con un máximo espesor de 40mm (1.5 pulg) [(incluidas planchas y bridas de un máximo espesor de 50mm (2 pulg)]. Grado EH36 para placas de un espesor máximo de 45 mm (1.75 pulg) [incluidas planchas y bridas de un máximo espesor de 50mm (2 pulg)].
- C. ASTM A 283M/A 283, Grado C, para planchas de un espesor máximo de 25mm (1pulg).
- D. ASTM A 285M/A 285, Grado C, para planchas de un espesor máximo de 25mm (1pulg).
- E. ASTM A 516M, Grado 380, 415, 450, 485/A 516, Grado 55, 60, 65 y 70, para planchas de un espesor máximo de 40mm (1.5 pulg) [(incluidas planchas y bridas de un máximo espesor de 100mm (4 pulg)].
- F. ASTM A 537M/A 537, Clase 1 y Clase 2, para planchas de un espesor máximo de 45mm (1.75 pulg) [(incluidas planchas y bridas de un máximo espesor de 100mm (4 pulg)].
- G. ASTM A 573M, Grados 400, 450, 485/A 573, Grado 58, 65 y 70, para planchas de un espesor máximo de 40mm (1.5 pulg).
- H. ASTM A 633M/A 633, Grado C y D, para planchas de un espesor máximo de 45mm (1.75pulg) [incluyendo a planchas de un espesor máximo de 100mm (4pulg)].
- I. ASTM A 622M/A 622, Grado B y C, para un espesor máximo de 40mm (1.5pulg)
- J. ASTM A 678M/A 678, Grado A para espesores de plancha máximos de 40mm (1.5pulg) [incluyendo planchas con un espesor máximo de 65mm (2.5puld)] y Grado B para planchas de un espesor máximo de 45mm (1.75pulg) [incluyendo placas de un espesor máximo de 65mm (2.5pulg)].

- K. ASTM A737M/A 737, Grado B, para planchas de un espesor máximo de 40mm (1.5pulg).
- L. ASTM A 851M/A 841 Grado A, Clase 1 y Grado B, Clase 2 para planchas de espesor máximo de 40mm (1.5pulg) [incluido planchas de espesor máximo de 64mm (2.5pulg)]

3.3.4.3 Especificaciones ISO

Planchas proporcionada para ISO 630 Grados E 275 y E 355 es aceptable dentro de los límites siguientes.

- A. Grado E 275 en calidades C y D para planchas de un espesor máximo de 40 mm (1,5 pulgadas), y con un contenido de manganeso máximo del 1,5% (el calor).
- B. Grado E 355 en calidades C y D para planchas de un espesor máximo de 45 mm (1,75 pulgadas) (incluidas las placas con un grosor máximo de 50 mm [2 pulg]).

Tabla 3. 1 Grados aceptables de materiales para planchas.

Grade ^b	Propiedades Mecánicas								Composición Química			
	Resistencia a la Tensión ^a				Mínima Resistencia a la fluencia ^c	Máximo Espesor		Máximo porcentaje de carbono		Máximo porcentaje de Fosforo y Azufre		
	Mínimo ^c		Máximo									
Mpa	ksi	Mpa	Ksi	Mpa	ksi	mm	in	Calor	Producto	Calor	Producto	
235	360	52	510	74	235	34	20	0.75	0.2	0.24	0.04	0.05
250	400	68	530	77	250	36	40	1.5	0.23	0.27	0.04	0.05
275	430	62	560	81	275	40	40	1.5	0.25	0.29	0.04	0.05

NOTAS:

^a La ubicación y número de la muestra, pruebas de tensión y flexión, y los criterios de aceptación deben estar de acuerdo con la correspondiente norma nacional, norma ISO, o la especificación ASTM.

^b Acero de calidad semi o totalmente calmados, como rolados, controlado el rolado o TMCP (20mm [0.75 in] máximo cuando controlados y laminados o TMCP son usados en lugar de los normalizados) o normalizados.

^c Límite a la fluencia ÷ Resistencia a la tensión ≤ 0.75, basado en el rendimiento específico y resistencia a la tensión a menos que los valores reales de prueba requeridos por el comprador.

3.3.4.4 Requerimientos Generales para la Entrega

El material suministrado deberá ajustarse a los requisitos aplicables de las especificaciones en los requerimientos anteriores pero no se limita a respecto a la ubicación del lugar de fabricación.

Este material está destinado a ser adecuado para la soldadura por fusión. Técnica de soldadura es de fundamental importancia, y los procedimientos de soldadura deben proporcionar soldaduras cuya fuerza y resistencia son consistentes con el material de la plancha que se unen. Todas las soldaduras se realizan para reparar defectos de la superficie con electrodos de bajo hidrógeno que sean compatibles en lo químico, resistencia y calidad con el material de la plancha.

Cuando se especifique las planchas por el comprador, el acero debe estar totalmente calmado.

3.3.4.5 Tratamientos Térmicos para las Planchas.

Cuando se especifique, las placas totalmente calmadas deben ser tratados térmicamente para tener un grano fino, ya sea normalizado o térmicamente uniformizado para el conformado en caliente. Si el tratamiento es necesario que se obtengan en relación con el conformado en caliente, la temperatura a la que las placas se calientan durante el conformado en caliente deberá ser equivalente y no se superan significativamente la temperatura de la normalización. Si el tratamiento de las placas no se especifica que hacer en la planta del productor de la placa, la prueba se llevará a cabo de acuerdo al siguiente párrafo.

Cuando el comprador elige la planchas para llevar a cabo la normalización requerida o fabrica por conformado en caliente, las placas serán aceptados según la base de las pruebas de fábrica realizado el tratamiento térmico de todo el espesor de la muestras de acuerdo con la orden del comprador. Si los tratamientos térmicos no están indicados en el contrato, las muestras deberán ser sometidas a tratamiento térmico en condiciones consideradas apropiadas para el refinamiento del grano y para cumplir las pruebas requeridas. El productor de la plancha deberá informar al comprador de las planchas del procedimiento seguido en el tratamiento de las muestras en la fábrica.

En la orden de compra, el comprador deberá indicar si las planchas producidas se han realizado el tratamiento térmico de estas

Cada planchas rolada controlada termo-mecánicamente debe realizarse ensayos de dureza, de impacto (ensayo Charpy),

Las pruebas de tracción deberán ser realizadas en cada plancha tratada térmicamente.

3.3.4.6 Temperatura mínima de diseño permisible del metal para materiales usados en el cuerpo del tanque de almacenamiento sin prueba de impacto.

Para esta parte del diseño la temperatura mínima permisible del metal para materiales usados en el cuerpo del tanque de almacenamiento sin prueba de impacto, debemos asumir una temperatura mínima a la que el tanque va a estar sometida, esta temperatura mínima dependerá de la región del país y de acuerdo a la altura sobre el nivel del mar donde vamos a montar nuestro tanque, suponiendo el peor de los casos; según el INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) que es el encargado de dar el procesamiento de los datos meteorológicos nos muestra que las temperaturas más bajas promedio en Ecuador como referencia es de 10°C en la región sierra de nuestro Ecuador.

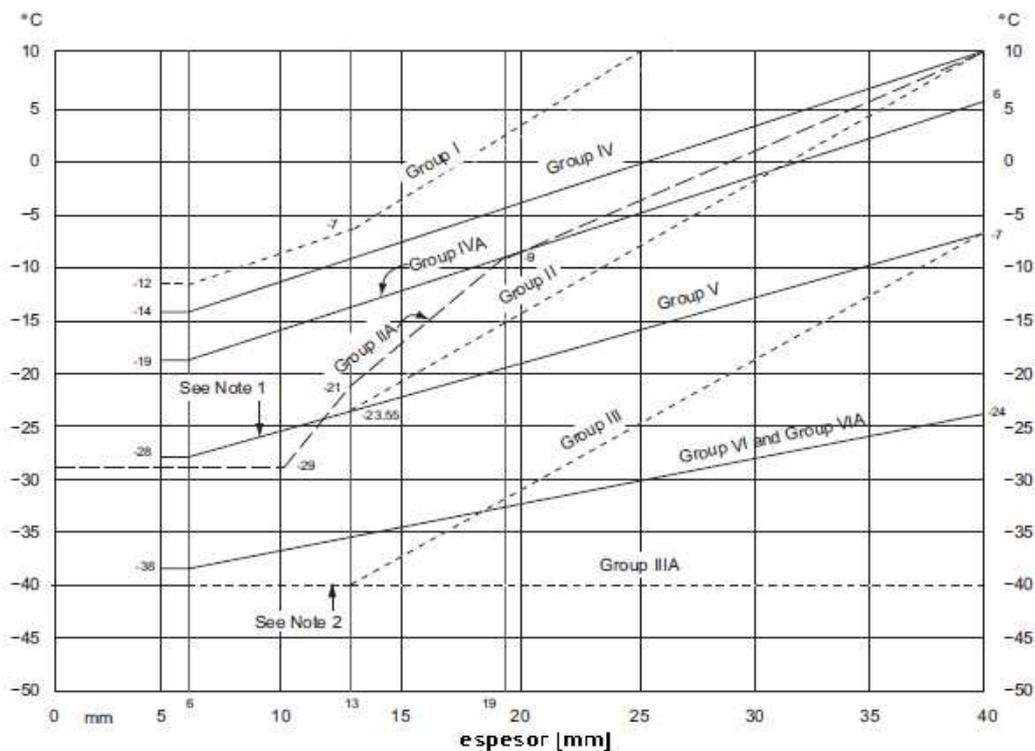


Figura 3.4. Temperatura mínima permisible versus espesor de las planchas para Materiales usados en el tanque de almacenamiento.

Notas:

- 1.- las líneas del Grupo II y grupo V coinciden con los espesores menores que 12.5 mm (0.5pulg).
- 2.- las líneas del grupo III y grupo IIIA coinciden con los espesores, menores que 12.5mm (0.5pulg).
- 3.- Los materiales en cada grupo son listados en la Figura 3.2
- 4.- Esta gráfica no es aplicable a las planchas de rolado controlado.
- 5.- use las curvas del Grupo IIA y el Grupo VIA para bridas y tuberías.

Según lo indicado en la Figura 3.2 ingresamos con los 10 °C y nos da como resultado materiales del Grupo I para planchas no menores a 25 mm (1 pulg); materiales del Grupo IV Grupo II y Grupo IIA, para espesores de planchas que no sean mayores a 40 mm (1.5 pulg). Para el uso de bridas y tuberías se recomienda el uso de materiales del Grupo IIA y Grupo VIA.

3.3.4.7 Láminas

Para las láminas usadas en techos flotantes y fijos deberán ajustarse para el material según norma ASTM A1011M, grado 33. Las láminas serán hechas por los procesos en horno abierto o proceso de oxígeno básico. El acero al cobre será usado si se especifica en la orden de compra. Las láminas pueden ser ordenadas sobre un peso o espesor base, sobre a opción del fabricante del tanque.

3.3.4.8 Perfiles Estructurales¹¹.-

Los perfiles estructurales deberán ajustarse a los siguientes materiales:

- a. ASTM A36M/ A36
- b. ASTM A 131M/A 131.
- c. ASTM A 992M/ A 992.
- d. Aceros Estructurales listados en las especificaciones AISC para la construcción con aceros estructurales, diseños de esfuerzos admisibles.
- e. CSA, G40 21, Grado 260W(38W), 300W (44W), 350W (50W), 260WT (38WT), 300WT (44WT) y 350WT (50WT). Los grados de la unidad imperial equivalente en CSA especificaciones G40.21 también son aceptables.
- f. ISO 630, Grado 275, calidades B, C y D..

¹¹ Todos los aceros estructurales deberán ser hechos por procesos en horno de arco eléctrico, u oxígeno básico

Tabla 3. 2 Grupos de materiales, SI.

Grupo I rolados semi calmados		Grupo II rolados semi calmados o calmados		Grupo III rolados, calmados con practica de grano fino		Grupo IIIA normalizados con práctica grano fino	
Material	Notas	Material	Notas	Material	Notas	Material	Notas
A 283 C	2	A 131 B	7	A 573M-400		A 131 CS	
A 285 C	2	A 36	2.6	A 516M-380		A 573M-400	10
A 131 A	2	G 40.21-260W		A 516M-415		A 516M-380	10
A 36	2.3	Grado 250	5.8	G 40.21-260W	9	A 516M-415	10
Grado 235	3.5			Grado 250	5.9	G 40.21-260W	9, 10
Grado 250	6					Grado 250	5, 9, 10

Grupo IV rolado, calmado prácticca grano fino		Grupo IVA rolados, calmados prácticca de grano fino		Grupo V normalizados, calmados práctica de grano fino		Grupo VI normalizados, templados clamado, práctica de grano fino	
Material	Notas	Material	Notas	Material	Notas	Material	Notas
A 573M-450		A 662M C		A 573M-485	10	A 131M EH 36	
A 573M-485		A573M-485	11	A 516M-450	10	A 633M C	
A 516M-450		G40.21-300W	9, 11	A 516M-485	10	A 633M D	
A 516M-485		G40.21-350W	9, 11	G40.21-300W	9, 10	A 537M clase 1	
A 662M B				G40.21-350W	9, 10	A 537M clase 2	
G40.21-300W	9					A 678M A	
G40.21-350W	9					A 678M B	
E 275	4, 9					A 737M B	
E 355	9					A 841M, Grado A, Clase 1	12, 13, 13
Grado275	5, 9					A 841M, Grado B, Clase 2	12, 13, 14

Notas:

1.- La mayor parte de los números de especificación de materiales listados hacen referencia a la norma ASTM (incluyendo grado o clase); están allí, sin embargo algunas excepciones G40.21 (incluido Grado) esta en las especificaciones CSA, Grado E 275 y E355 (incluido la calidad) están contenidos en la ISO 630, grado 235, 250, 275 están en las normativa nacional de los Estados Unidos.

2.- Mayor parte es semicalmado o calmado.

3.- Espesores \leq 20mm.

4.- Máximo contenido de magnesio de 1.5%.

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

6.- El contenido de magnesio será 0.80-1.2% de análisis de calor para espesores mayores de 20mm, excepto que para cada reducción de 0.01% por debajo del máximo carbón específico, un incremento de 0.06% de magnesio por en máximo especificado será permitido el máximo de

1.35%, espesores $\leq 12.5\text{mm}$ tendrán un contenido de magnesio de 0.8-1.2% por un análisis de calor

7.- Espesores $\leq 25\text{mm}$

8.- La mayoría es calmado.

9.- La mayoría es calmado y hecho para la práctica de grano fino.

10.- La mayoría es normalizado

11.- La mayoría tienen químicos (calor) un contenido máximo de 0.02% y un contenido máximo de magnesio de 1.6%.

12.- Producido por el proceso de control termo mecánico.

3.3.4.9 Tuberías y Piezas Forjadas

A menos que una norma diga lo contrario, las tuberías, acople de tuberías y piezas forjadas, deberán adecuarse a los materiales de la Figura 3.2 o normas nacionales equivalentes.

Las especificaciones siguientes son aceptables para tubería y acoplamiento de tubería:

- A. API Spec. 5L, grado A, B y X42.
- B. ASTM A53M/ A 53, Grado A y B.
- C. ASTM A106M/ A 106, grado A y B.
- D. ASTM A 234M/ A234, Grado WPB.
- E. ASTM A 333M/ A 333, Grado 6.
- F. ASTM A 334M/A 334, Grado 1 y 6.
- G. ASTM A 420M/ A 420, Grado WPL6
- H. ASTM A 524, Grado I y II.
- I. ASTM A 671.

Las siguientes especificaciones son aceptadas para las piezas forjadas.

- a. ASTM A 105M/ A 105.
- b. ASTM A181M/A 105
- c. ASTM A 350M/ A 350, Grado LF1 y LF2.

3.3.4.10 Bridas

Bridas de cuello soldado, cubos, conexiones soldadas serán adecuadas a los requisitos de materiales de ASTM B 16.5 para bridas de acero al carbón forjado. El material de las planchas usadas para bridas de boquilla tendrá mejores propiedades físicas o iguales que las requeridas por ASME B16.5.

Para tamaños nominales de tubería mayores que NPS24, bridas que se adecuen a ASME B 16.47, serie B, pueden usarse sujetas a la orden del comprador.

3.3.4.11 Pernos

Los pernos se adecuan para ASTM A 307 o A 193M/A 193, A325M/A 325 solo pueden usarse para propósitos estructurales. El comprador debe especificar en la orden que forma de cabeza de perno y tuerca deseada y si dimensiones pesadas o regulares son adecuadas.

3.3.4.12 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 E70XX en AWS A 5.1y según API 650 7.2.1.10 (2007 Adeendum 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 E80XXCX en AWS A 5.5.

Según la AWS la nomenclatura es:

E- UXYZ

Donde:

E: es una 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.

3.3.4.13 Diseño de uniones:

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

Uniones a tope doblemente soldadas: una unión entre dos partes terminales que se encuentran en el mismo plano y son soldadas por ambos lados.

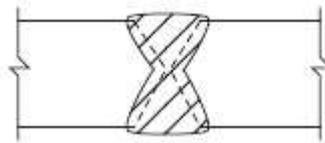


Figura 3.5. Soldadura a tope doblemente soldada.

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.

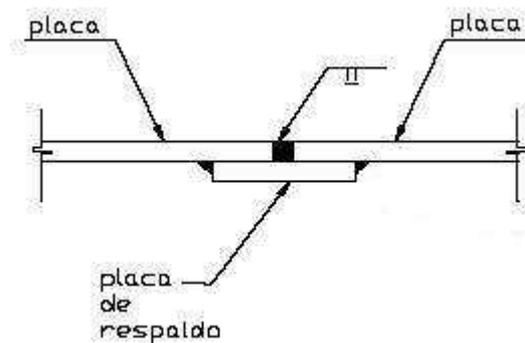


Figura 3.6. Soldadura a tope simple con respaldo.

Uniones traslapadas doblemente soldadas: una unión 2 piezas superpuestas en la los bordes superpuestos de ambos miembros son soldadas con soldadura de filete.



Figura 3.7. Soldadura a traslapada doblemente soldada.

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 3.8. Soldadura traslapada simple.

Soldadura a tope: una soldadura localizada en una ranura entre los extremos de 2 elementos, donde la junta puede ser cuadrada, con bisel, en V (simple o doble), U (simple o doble) o de simple o doble bisel.

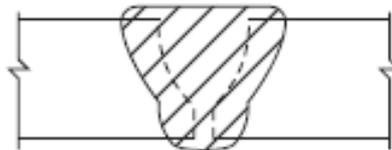


Figura 3.9. Soldadura a tope.

Soldadura de filete: soldadura de una sección aproximadamente recta triangular, uniendo 2 superficies que se encuentran en casi en unión con ángulo recto, como en una unión de traslape, unión T o junta de esquina.

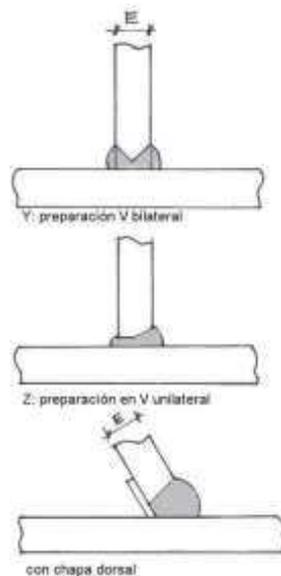


Figura 3.10. Soldadura de filete

Soldadura de filete completo: una soldadura de filete cuyo tamaño es igual al espesor de la plancha mas delgada que se está uniendo.

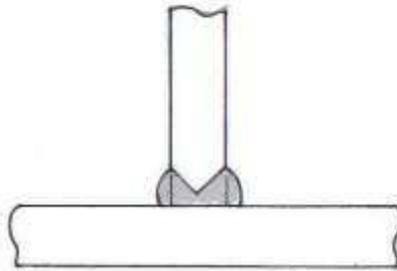


Figura 3.11. Soldadura de filete completo.

Soldadura por puntos o provisional: una soldadura efectuada para sujetar las partes de un elemento soldado hasta que se realice la soldadura final.



Figura 3.12. Soldadura provisional

3.3.4.14 Restricciones:

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 mas 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 mas 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).

3.4 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 serán las 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.

Puertas de limpieza a nivel.- Es un ingreso que facilita la evacuación de residuos en el fondo del tanque, como pueden ser desechos impuros densos, lodo, agua etc.

Sumidero o tina de lodos.- es una abertura acoplada a una tubería que ayuda la evacuación de agua, lodo o residuos que estas en la parte baja del tanque.

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 se toma en cuenta las distancias que deben tener entre aberturas del casco, entre las aberturas y los cordones de soldadura, y a la altura que estos se los debe ubicar.

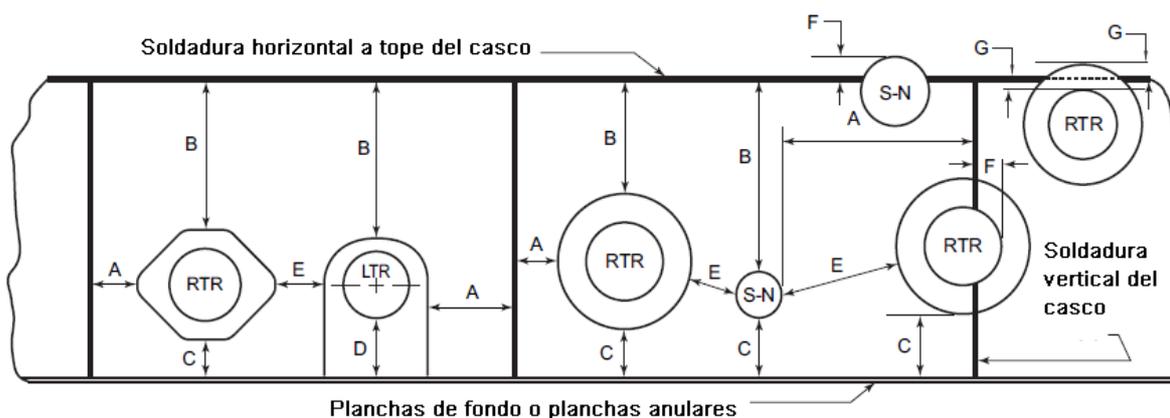


Figura 3.13. Aberturas y separaciones necesarias entre aberturas de accesorios para tanques¹²

Notas:

RTR: Abertura regular con refuerzo (manhole o boquilla) forma de diamante o circular que no se extienda hasta el fondo.

LTR: Abertura baja con refuerzo (manhole o boquilla) llega hasta el fondo.

S-N: Abertura del casco sin refuerzo (para aberturas que no necesiten refuerzo)

¹² API Standard 650, 11 Edition Junio 2001, addendum 2 , pag 5-19.

Tabla 3. 3 Distancias entre aberturas en el cuerpo del tanque.¹³

Variable		Mínimas dimensiones entre los cordones de soldadura y las aberturas						
Esesor casco t	Condición	A	B	C	D	E	F	G
t ≤ 12.5 mm (t ≤ 0.5pulg)	Soldada o empernada	150mm (6pulg)	75mm (3pulg) o 2.5t	75mm (3pulg) o 2.5t 75mm (3pulg) para S-N	Ver tabla 5.6a y tabla 5-6b(anexo 3)	75mm (3pulg) o 2.5t	8t o 0.5r	8t
t > 12.5mm (t > 0.5pulg)	Soldada	8W o 250mm (10pulg)	8W o 250mm (10pulg)	8W o 250mm (10pulg) 75mm (3pulg) para S-N	Ver tabla 5.6a y tabla 5-6b(anexo 3)	8W o 150mm (6pulg)	8t o 0.5r	8t
t > 12.5mm (t > 0.5pulg)	Empernada	150mm (6pulg)	75mm (3pulg) o 2.5t	75mm (3pulg) o 2.5t 75mm (3pulg) para S-N	Ver tabla 5.6a y tabla 5-6b(anexo 3)	75mm (3pulg) o 2.5t	8t o 0.5r	8t

Notas:

- 1.- Si dos requerimientos son dados, la mínima dimensión es el mayor valor a excepción de la dimensión dada por la nota F.
- 2.- t = espesor de la plancha del casco del primer anillo, 8W = 8 veces mas grande el tamaño de la soldadura de la placa de refuerzo insertada en la periferia de la placa soldada a tope.
- 3.- D = Distancia establecida para la mínima para las placas de refuerzo bajas, ver la tabla 5-6a y 5-6ab.
- 4.- El comprador tiene la opción de colocar aberturas en soldaduras verticales a tope, de acuerdo a la figura 5-9 de la pagina 5-37 de la API 650 11^a edición, donde t = espesor de los anillos, r = radio de la abertura. Mínimo espacio para la dimensión F es la establecida 8t o 0.5r.

¹³ API Standard 650, 11 Edition Junio 2001, addendum 2, fig. 5-6, pag 5-19

3.4.1 SELECCIÓN DE ESPEORES PARA MANHOLE Y BRIDAS.

El manhole mas 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.

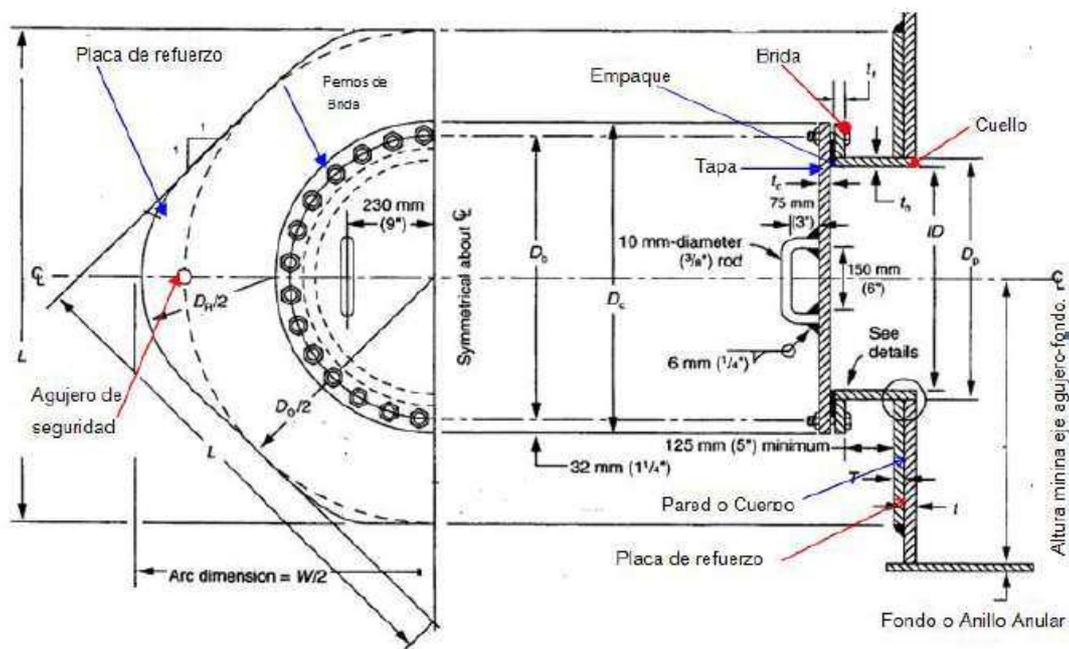


Figura 3.14. Manhole de cuerpo.

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 dela placa de refuerzo.

D_R = Diámetro interior de la placa de refuerzo.

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 Bridas

Tabla 3. 4 Espesores tapa manhole brida empernada¹⁴

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7	Columna 8	Columna 9	Columna 10
Máximo nivel del Líq (pie) H	Presión Equiv. psi	Mínimo espesor de la plancha de la tapa tc				Mínimo espesor de la brida empernada tf			
		20 pulg Manhole	24 pulg Manhole	30 pulg Manhole	36 pulg Manhole	20 pulg Manhole	24 pulg Manhole	30 pulg Manhole	36 pulg Manhole
17.1	7.4	5/16	3/8	7/16	1/2	1/4	1/4	5/16	3/8
21.9	9.5	3/8	7/16	1/2	9/16	1/4	5/16	3/8	7/16
26.1	11.3	3/8	7/16	9/16	5/8	1/4	5/16	7/16	1/2
32.6	14.1	7/16	1/2	5/8	11/16	5/16	3/8	1/2	9/16
36.5	15.8	1/2	9/16	5/8	3/4	3/8	7/16	1/2	5/8
43.9	19	1/2	9/16	11/16	13/16	3/8	7/16	9/16	11/16
52.9	22.9	9/16	5/8	3/4	7/8	7/16	1/2	5/8	3/4
61	26.4	5/16	11/16	13/16	15/16	1/2	9/16	11/16	13/16
75.1	32.5	11/16	3/4	15/16	1	1/2	9/16	11/16	15/16

De la Bridas se obtiene los siguientes:

Diámetro del Manhole ID = 30 pulg.

Mínimo espesor de la plancha de la tapa del manhole tc = 3/4 pulg.

Mínimo espesor de la brida empernada tf = 5/8 pulg.

Una vez determinados los espesores a utilizar en las bridas y manholes se procede a seleccionar los espesores para el cuello de los manholes para ello se basara en el ANEXO 4.

En la cual se ingresan los espesores antes calculados y el diámetro del tanque, con lo que se obtiene los espesores del cuello a utilizar.

Con el espesor del primer anillo del tanque que es de $t = T = 13/16$ pulg, y el diámetro de 30 pulg del manhole tenemos un mínimo espesor del cuello de $t_n = 5/16$ 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 harán

¹⁴ API Standard 650, 11 Edition Junio 2001, addendum 2, tabla 5.3b. pag 5-20

en las placas. Estas medidas serán tomadas de la Electroodos para soldadura , donde necesitamos nuestro diámetro del manhole para poder escoger el diámetro de los pernos y orificios.

Con el diámetro del manhole seleccionado anteriormente, se ubica en la columna 2 de la Electroodos para soldadura el diámetro del círculos de los agujeros a realizar y en la columna 3 el diámetro de la cubierta de la tapa del manhole

Tabla 3. 5 Diámetros de pernos para manhole

Columna 1	Columna 2	Columna 3
Diámetro del Manhole (pulg)	Diámetro circular de los pernos D_b (pulg)	Diámetro tapa manhole D_c (pulg)
20	26 1/4	28 3/4
24	30 1/4	32 3/4
30	36 1/4	38 3/4
36	42 1/4	44 3/4

De lo que se obtiene:

- Diámetro circular de agujeros, $D_b = 36 \frac{1}{4}$ in.
- Diámetro de la tapa manhole, $D_c = 38 \frac{3}{4}$ in.

En el ANEXO 5 se determinarán las dimensiones de las boquillas, y las dimensiones restantes del manhole,

No se debe confundir el espesor del cuello t_n con el espesor de la boquilla t_n , el primero se utiliza en el manhole, mientras que la segunda propiamente en la construcción de boquillas, cabe notar que la Norma API 650 utiliza la misma nomenclatura para los dos espesores t_n , son similares elementos, pero tienen diferentes espesores y longitudes.

3.4.1.1 Boquilla, bridas 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 emperrada.

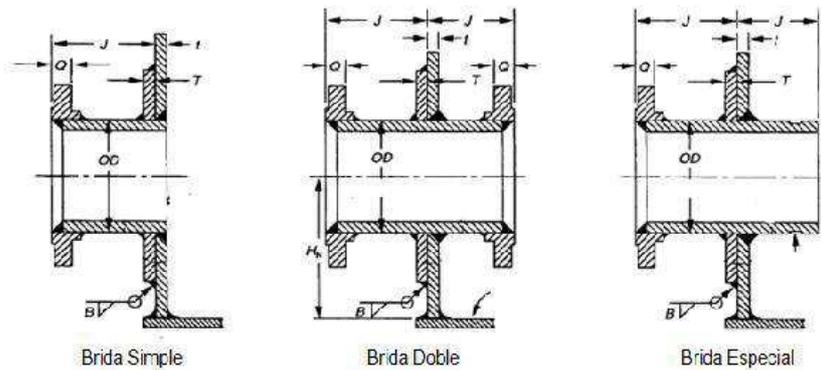


Figura 3.15. Brida tipo regular.

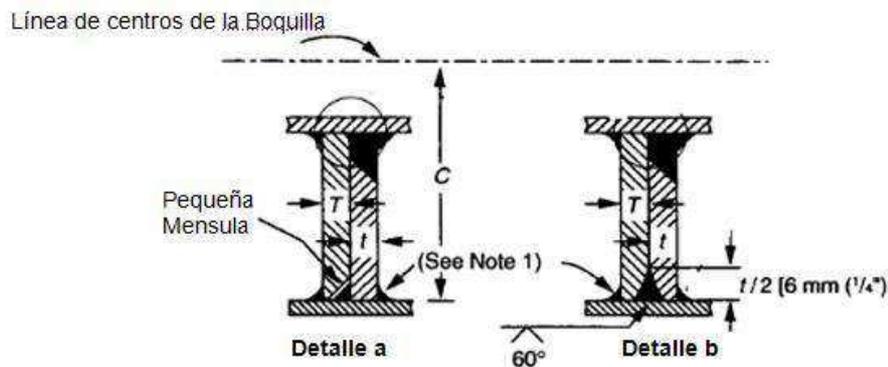


Figura 3.16. Brida tipo baja.

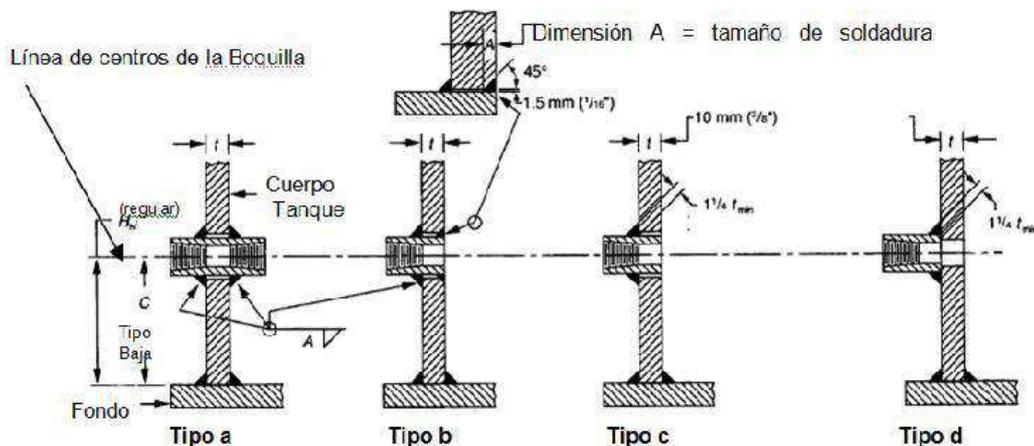


Figura 3.17. Brida tipo emperrada o roscada.

Tabla 3. 6 Resumen dimensiones para manhole de cuerpo.

Parámetro		Dimensiones	
		pulgadas	mm
ID	Diámetro Manhole	30	750
Dp	Diámetro exterior de la boquilla	30 1/8	766
Dc	Diámetro de la tapa	38 1/4	984
Db	Diámetro centro de los pernos	36 1/6	921
L = Do	Diámetro exterior de la placa de refuerzos	60 3/4	1545
T	Espesor de la placa de refuerzo	13/16	20.6
W	Ancho placa refuerzo	30 1/8	1865
tc	Espesor de la tapa	3/4	19
tf	Espesor de la brida	5/8	16
tn	Espesor del cuello	5/16	8

Se escogieron 4 boquillas según la normativa API 650, a continuación se detallan las medidas de todas ellas en la siguiente tabla:

Tabla 3. 7 Resumen dimensiones de boquillas cuerpo.

BOQUILLAS				
PARÁMETROS	COMBUSTIBLE		DE DRENAJE	
	ENTRADA	SALIDA	EVACUACIÓN TECHO	EVACUACIÓN FONDO
NPS (tamaño de la boquilla)	10	10	4	4
OD (Diámetro exterior del tubo)	273	273	114.3	114.3
tn (espesor de la pared del brida)	12.7	12.7	8.56	8.56
DR (Diámetro de la placa de refuerzo)	276	276	117	117

L=Do (Largo o diámetro de la placa de refuerzo)	585	585	305	305
W (Ancho de la placa de refuerzo)	720	720	385	385
J (Mínima distancia del casco a la brida)	225	225	175	175
Hn (Mínima distancia fondo-centro de la brida)	399	399	259	259

3.4.1.2 Sumidero de agua del fondo.

El sumidero del agua del fondo del tanque esta especificado según la Figura 3.12.

Soldadura provisional

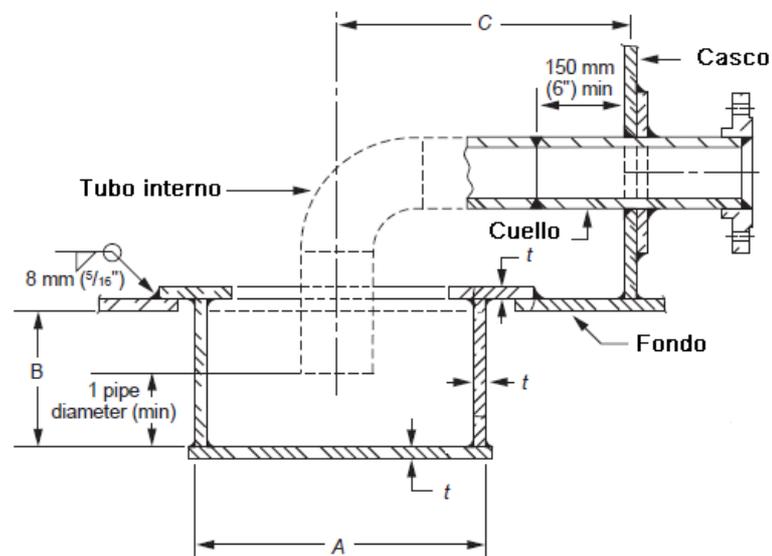


Figura 3.18. Sumidero tanque.¹⁵

¹⁵ API Standard 650, 11 Edition Junio 2001, addendum 2, Figura 5.21. pag 5-58

Tabla 3. 8 Dimensiones para sumidero.¹⁶

NPS	Diámetro del sumidero (mm)	Profundidad sumidero (mm)	Distancia centro tubo al casco (m)	Espesor de placas del sumidero	Mínimo espesor del tubo (mm)	Mínimo espesor del cuello (mm)
2	610	300	1.1	8	5.54	5.54
3	910	450	1.5	10	6.35	7.62
4	1220	600	2.1	10	6.35	8.56
6	1520	900	2.6	11	6.35	10.97

3.4.1.3 Puerta de Limpieza al ras.

Este tipo de aberturas se las utiliza para el ingreso de personal así como de equipo adecuado para el mantenimiento del tanque de almacenamiento, los accesorios debe cumplir con los requerimientos mencionados en la norma API 650.

El tamaño de la abertura del tanque no deberá ser mayor que los tamaños mencionados en las respectivas tablas.

Las aberturas son rectangulares, con excepción de las esquinas superiores que tienen un radio igual a un medio de la altura más grande de la abertura de la puerta de limpieza.

Ya que el material del que está diseñado nuestro tanque pertenece al Grupo I de materiales; entonces la altura y el ancho de la puerta de limpieza no debe exceder los 1200mm (48pulg).

El área de la sección transversal de refuerzo deberá ser calculada como en condiciones de diseño como para pruebas hidrostáticas.

Para la selección de las características o parámetros de la puerta de limpieza debemos ir al ANEXO 6, donde podremos escoger como principal parámetro la altura de la abertura "h" y el ancho de la misma "b". con estos parámetros la tabla 5-9a (API 650). Da los demás valores que serán utilizados para la fabricación del accesorio.

¹⁶ API Standard 650, 11 Edition Junio 2001, addendum 2, Tabla 5-16. pag 5-59

Luego se revisara el ANEXO 6 para poder verificar la altura de nivel máxima del líquido “H” y las dimensiones de altura y ancho de la planchas; para tomar los respectivos valores del espesor de la brida de pernos y placa de cubierta “ t_c ”, y espesor de la placa de refuerzo del fondo “ t_b ”.

De acuerdo a esta selección de las características de la puerta de limpieza tenemos los siguientes resultados:

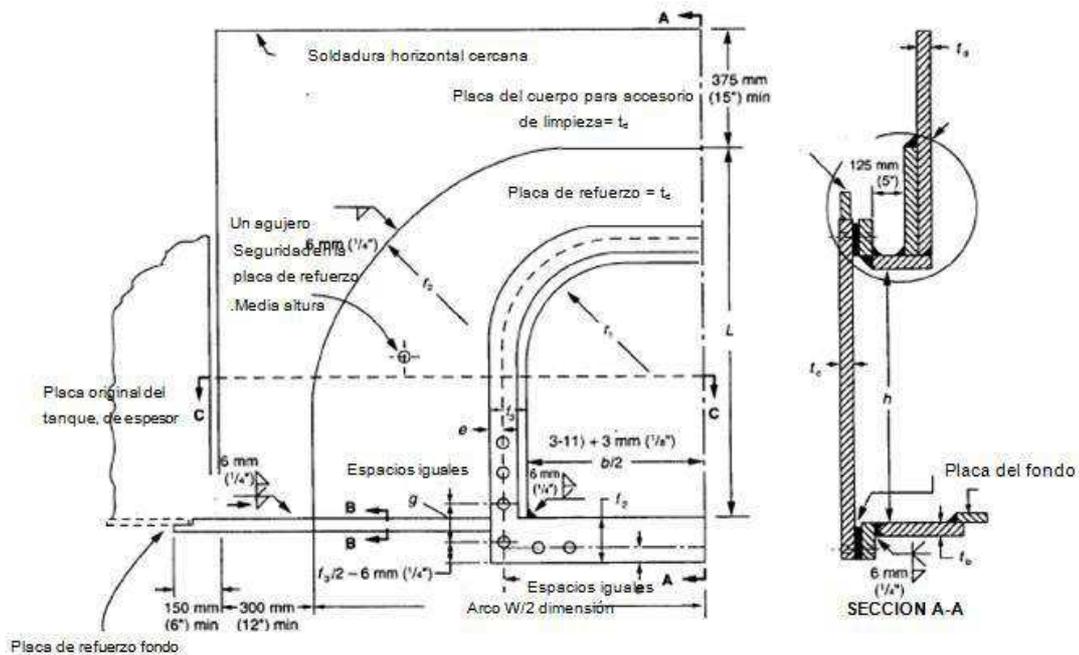


Figura 3.19. Puerta de limpieza.

- Altura vertical de la abertura de limpieza $h = 914$ mm
- Ancho de la abertura de limpieza $b = 1219$ mm
- Ancho del arco del cuerpo de la placa de refuerzo $W = 2700$ mm
- Radio de la esquina superior de la abertura $r1 = 450$ mm
- Radio de la esquina superior de la placa de refuerzo $r2 = 1040$ mm
- Distancia del borde al centro del perno $e = 38$ mm
- Ancho de la brida (excepto el fondo) $f_3 = 114$ mm
- Ancho de la brida o borde del fondo $f_2 = 121$ mm
- Espaciamiento entre pernos $g = 108$ mm
- Número de pernos = 46
- Diámetro de los pernos = 25 mm.
- Altura de la placa de refuerzo $L = 1372$ mm.

- Espesor de la brida de pernos o placa de cubierta $t_c = 25\text{mm}$
- Espesor de la placa de refuerzo del fondo $t_b = 33\text{mm}$

3.4.1.4 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 la Figura 3.20 y según la Tabla 3.9 donde 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.

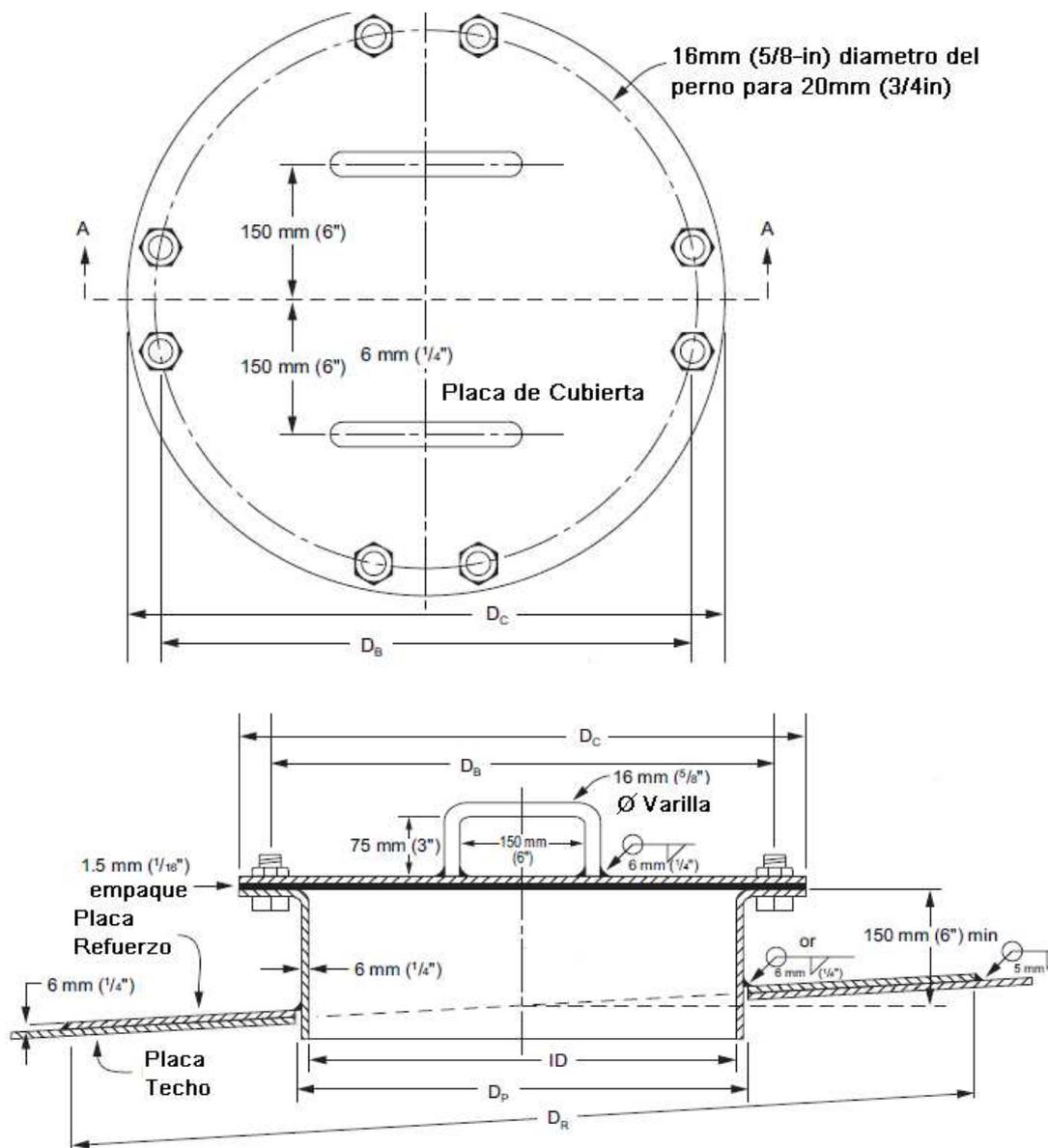


Figura 3.20. Manhole techo.

Tabla 3. 9 Dimensiones manhole de techo.

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7	Columna 8	Columna 9
Tamaño del Manhole	Diámetro del cuello ID	Diámetro de la placa de cubierta	Diámetro del círculo de pernos D_b	Número de pernos	Diámetro del empaque		Diámetro de agujeros en la placa de refuerzo D_p	Diámetro exterior de la placa de refuerzo D_r
					Interior	Exterior		
500	500	660	597	16	500	660	524	1050
600	600	762	699	20	600	762	625	1150

3.4.1.5 Selección de boquillas y bridas del techo.

Boquillas bridadas en el techo deberán ser conformadas según la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y la Tabla 3. 10. bridas y soldaduras del cuello de la boquilla deberán cumplir con los requerimientos de ASME B16.5 clase 150

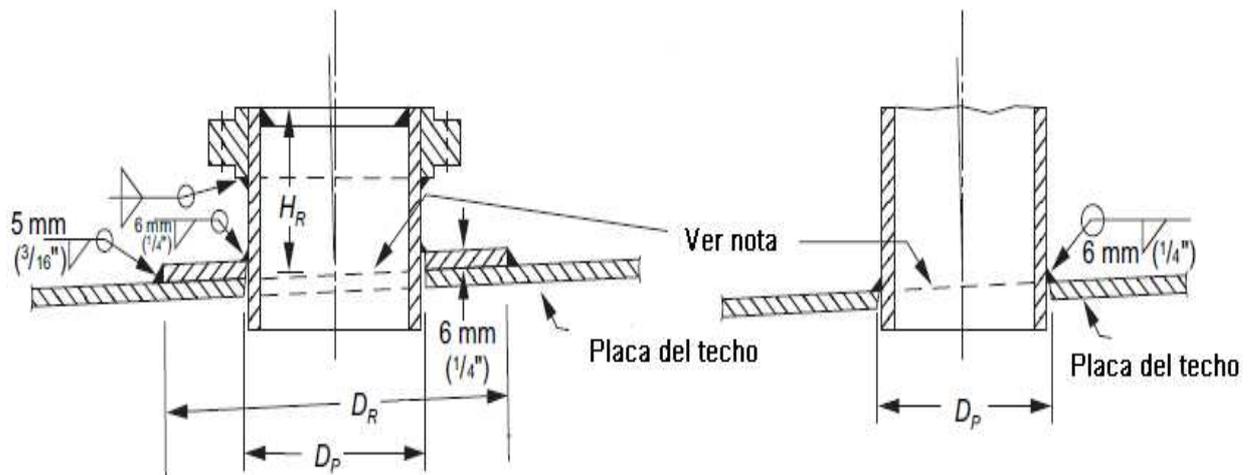


Figura 3.21. Boquillas techo.

Nota: Cuando las boquillas son usadas para ventilación, el cuello deberá ser recortado al ras con la línea del techo

Tabla 3. 10 Dimensiones boquilla techo

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5
Boquilla NPS	Diámetro exterior del tubo del cuello	Diámetro del agujero en el techo o placa de refuerzo Dp	Mínima altura de la boquilla Hr	Diámetro exterior de la placa de refuerzo Hr
1 1/2	48.3	50	150	125
2	60.3	65	150	175
3	88.9	92	150	225
4	114.3	120	150	275
6	168.3	170	150	375
8	219.1	225	150	450
10	273.0	280	200	550
12	323.8	330	200	600

Nota: Placas reforzadas no son requeridas en bridas NPS de 6 (ver tabla Tabla 3. 10 o menores que esta, pero pueden ser usadas si se desea.

De acuerdo a los requerimientos del diseño de la manguera del drenaje del techo, se usará una boquilla NPS 4”.

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 (Dp): 120mm
- Mínima altura de la boquilla (Hr): 150mm
- Diámetro exterior de la placa de refuerzo (Dr): 275mm

3.5 DISEÑO DE TANQUES DE TECHO FLOTANTE.

3.5.1 Capacidad del tanque.

El diseño preliminar para el tanque de techo flotante provee la utilización de un tanque de 100.000 barriles de capacidad operativa.

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

Capacidad operativa: 100.000 barriles

Capacidad nominal: 110.000 barriles

Una vez determinada la capacidad nominal del tanque se procede se verificar la tabla 3.1 (Ver anexo 7), en la cual se toma el valor más próximo a la capacidad nominal establecida, en nuestro caso es 112.800 barriles aproximadamente un 12% más que la capacidad operativa.

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

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 tomaran láminas de 8 pies de ancho por 40 pies de largo, esta medida se considera debido a los requerimientos del cliente y también debido a factores de transportación (trailers)

Tabla 3. 11 Características Tanque.

RESUMEN CARACTERISTICAS TANQUE	
Diámetro:	120 pies
Altura:	56 pies
Numero de anillos:	7
Capacidad:	112,800 barriles

3.6 CÁLCULO DE ESPESORES.

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 el apéndice A de 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 tabulados en la Tabla 24 de la Norma API 650 1999 (Ver ANEXO 8). 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 tabla 24 (ver ANEXO 7) de 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.

3.6.1 MÉTODOS DE CÁLCULO.

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 que los valores siguientes:

Tabla 3. 12 Espesores mínimos para diámetros nominales de tanque. ¹⁷

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 inclu.	8	5/16
>60	> 200	10	3/8

3.6.1.1 Cálculo 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. ¹⁸

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

$$t_d = \frac{4.9 * D * (H - 0.3) * G}{S_d} + CA \quad \text{Ec.3. 1}$$

$$t_t = \frac{4.9 * D * (H - 0.3)}{S_t} \quad \text{Ec.3. 2}$$

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 especifica de diseño del líquido ha almacenar

¹⁷ API Standard 650, 11 Edition Junio 2001, addendum 2 , Par. 5.6.1.1, pag 5-11.

¹⁸ API Standard 650, 11 Edition Junio 2001, addendum 2 , Par. 5.6.3.1, pag 5-14.

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.

3.6.1.2 Cálculo 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:

$$t_{pd} = t_d.$$

$$t_{pt} = t_t.$$

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.

$$\frac{L}{H} \leq \frac{1000}{6} \quad \text{Ec.3. 3}^{19}$$

Donde:

$$L = (500 * D * t)^{0.5}, \text{ (mm).}^{20}$$

H = altura del tanque, (m).

¹⁹ API Standard 650, 11 Edition Junio 2001, addendum 2, Par. 5.6.4.1, pag 5-15.

²⁰ Relación que traducen en los esfuerzos calculados a tensiones circunferenciales reales. API 650. Pag 5-15

D= Diámetro del tanque, (m).

t= espesor del tanque calculado mediante el método de un pie, (mm).

3.6.1.3 Cálculo 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 muestran 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.

3.6.2 EJEMPLO DE CÁLCULO POR EL MÉTODO DE UN PIE.

En base a la norma API 650 literal 5.6.3.2 se determinará el espesor del primer anillo para lo que se recurrirá a las ecuaciones Ec.3. 1 y Ec.3. 2.

El requerimiento mínimo de espesor de plancha para el diseño y construcción del tanque, será el mayor calculado con las fórmulas mencionadas, en base al literal 5.6.3.2 de la norma API 650²¹

Para el cálculo de los espesores del cuerpo se necesita conocer las características del tanque como altura, diámetro, y capacidad a almacenar, detallados en la Tabla 3. 11 Características Tanque.

Se calculará el espesor de diseño considerando un acero ASTM A36 el más comercial del mercado.

Tabla 3. 13 Materiales permisibles de planchas y esfuerzos admisibles²².

Especificación	Mínimo esfuerzo a la fluencia. (Mpa)	Mínimo esfuerzo a la tensión. (Mpa).	Esfuerzo de diseño (Mpa).(Sd)	Esfuerzo de prueba hidrostática (Mpa).(St)
A 283 gr. C	205	380	137	154
ASTM A 36	250	400	160	171

²¹ API Standard 650, 11 Edition Junio 2001, addendum 2 , Par. 5.6.3, pag 5-14

²² API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2, 2009, Tabla 5-2a, pag 5-12.

En la Tabla 3. 13, Se toma un extracto de los materiales típicos a utilizar para realizar una comparación de la mejor opción en materiales de tanques de almacenamiento.

Por lo que se toma el acero ASTM A36 por poseer mejores propiedades y ser más comercial en el mercado.

- **ACERO ASTM A36.**

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

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

Cálculo del espesor de diseño para el primer anillo.

$$t_d = \frac{4.9 * 36,576 * (16,459 - 0.3) * 1.0}{160} + 1,58$$

$$t_d = 19,68 \text{ mm.}$$

Cálculo del espesor para prueba hidrostática para el primer anillo.

$$t_t = \frac{4.9 * 36,576 * (16,459 - 0.3)}{171}$$

$$t_t = 16,94 \text{ mm.}$$

Tabla 3. 14 Resumen cálculo de espesores para prueba hidrostática y de diseño.

Acero A36; Sd= 23.000 Psi, St= 24.900 Psi.									
G=1.0									
Anillo N°	Ancho planchas	altura de anillos	altura de anillos	Espesores de diseño Td		Espesores prueba hidrostática Tt		Espesor usado*	
1	96	56,00	17,07	0,81	20,54	0,69	17,50	13/16	22
2	96	48,00	14,63	0,70	17,78	0,59	14,96	11/16	18
3	96	40,00	12,19	0,59	15,03	0,49	12,41	9/16	15
4	96	32,00	9,75	0,48	12,27	0,39	9,87	1/2	13
5	96	24,00	7,32	0,37	9,51	0,29	7,32	3/8	10
6	96	16,00	4,88	0,27	6,76	0,19	4,77	5/16	8
7	96	8,00	2,44	0,16	4,00	0,09	2,23	5/16	8
	pulg.	pies	metros	pulg.	mm.	pulg.	mm.	pulg.	mm.
*Espesor comercial.									

Una vez calculado el espesor por las ecuaciones Ec.3. 1 Ec.3. 2, se selecciona el valor mayor es decir el espesor mayor, esto para el primer anillo, para los siguientes anillos el valor a variar es la altura H, entonces para el segundo anillo se considerará $H_2 = H_1 - \text{ancho de la plancha}$.

Las planchas a utilizar serán de 96" de ancho por 480" de largo, se ha tomado estas planchas debido a que se nota un menor desperdicio del material en el momento de la construcción.

3.7 ESPESORES PARA EL FONDO DEL TANQUE.²³

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 tomara 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:

$$e_{\text{fondo}} = \frac{1''}{4} + \frac{1''}{8} = \frac{3''}{8}$$

²³ API Standard 650, 11 Edition Junio 2001, addendum 2 , Par. 5.4.1, pag 5-8

3.8 ESPEORES DE PLANCHA DE FONDO ANULAR.²⁴

Si el anillo inferior del tanque es diseñado usando esfuerzos admisibles de los materiales de los grupos IV, IVA, V, O VI, se soldara a tope con el fondo del tanque una placa anular.

Cuando el anillo de fondo del cuerpo es de un material en el grupos IV, IVA, V, O VI, y el esfuerzo máximo para el primer cordón es menor igual que 160 Mpa. (23.200 psi) o la tensión máxima de prueba hidrostática es menor o igual a 172 Mpa. (24.900 psi), las planchas serán soldada a tope.

Las planchas de fondo anular tendrán una anchura radial tal que sea por lo menos de 600 mm. (24 pulg.) entre el interior del cuerpo y cualquier unión soldada a solapa en el resto del fondo y por lo menos 50 mm (2 pulg.) salientes fuera del cuerpo.

Cuando un mayor espesor radial de plancha anular es requerido se calcula, usando la siguiente fórmula:

$$\frac{215 * t_b}{(H * G)^{0.5}} \quad \text{Ec.3. 4}^{25}$$

Donde:

t_b = espesor de la plancha anular, en mm.

H= diseño máximo del nivel de liquido, en m.

G= Gravedad específica del liquido a ser almacenado.

Los espesores de las planchas del fondo anulares no deben ser menores que los espesores de las tablas 3.9 y 3.10. mas una corrosión específica permitida.

En lugar de las planchas anulares, el fondo entero puede estar soldado a tope con la condición que los requisitos para el espesor, soldadura, materiales, e inspección reúnan la distancia anular especificada anteriormente.

²⁴ API Standard 650, 11 Edition Junio 2001, addendum 2 , Par. 5.5., pag 5-9.

²⁵ API Standard 650, 11 Edition Junio 2001, addendum 2 , Par. 5.5.2, pag 5-9.

Tabla 3. 15 Espesores para planchas anulares de fondo en SI.²⁶

Espesor nominal del primer anillo. (mm).	Esfuerzos de prueba hidrostática en el primer anillo (Mpa)			
	≤ 190	≤210	≤220	≤ 250
t ≤ 19	6	6	7	9
19 ≤ t ≤ 25	6	7	10	11
25 ≤ t ≤ 32	6	9	12	14
32 ≤ t ≤ 38	8	11	14	17
38 ≤ t ≤ 45	9	13	16	19

Tabla 3. 16 Espesores para planchas anulares de fondo en unidades Inglesas.²⁷

Espesor nominal del primer anillo. (in).	Esfuerzos de prueba hidrostática en el primer anillo (Psi)			
	≤ 27000	≤30000	≤33000	≤ 36000
t ≤ 0.75	1/4	1/4	9/32	11/32
0.75 ≤ t ≤ 1.0	1/4	9/32	3/8	7/16
1.0 ≤ t ≤ 1.25	1/4	11/32	15/32	9/16
1.25 ≤ t ≤ 1.50	5/16	7/16	9/16	11/16
1.50 ≤ t ≤ 1.75	11/32	1/2	5/8	3/4

Del espesor para el primer anillo calculado (0,81 pulg.) Tabla 3. 14 . y el esfuerzo de prueba hidrostática para el acero A36 (24900 psi). Tabla 3. 13.

Se procede a verificar en la Tabla 3. 16. Lo cual se obtiene ¼ in. de espesor.

Valor con el cual se considerara para el diseño de las planchas anulares.

²⁶ API Standard 650, 11 Edition Junio 2001, addendum 2 , Tabla 5-1a, pag 5-10.

²⁷ API Standard 650, 11 Edition Junio 2001, addendum 2 , Tabla 5-1b, pag 5-10.

3.9 DISEÑO DE RIGIDIZADOR SUPERIOR Y DISEÑO DE VIGA INTERMEDIA DE VIENTO.

3.9.1 DISEÑO DE RIGIDIZADOR SUPERIOR.

La viga de rigidez ubicada en el anillo superior deben ser proporcionados 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.

La viga también se puede utilizar como una plataforma de pasadizo peatonal, acceso y mantenimiento.

Según API 650 [figura 5-24, pag. 5-63], describe cinco diferentes tipos de vigas típicas de refuerzo.

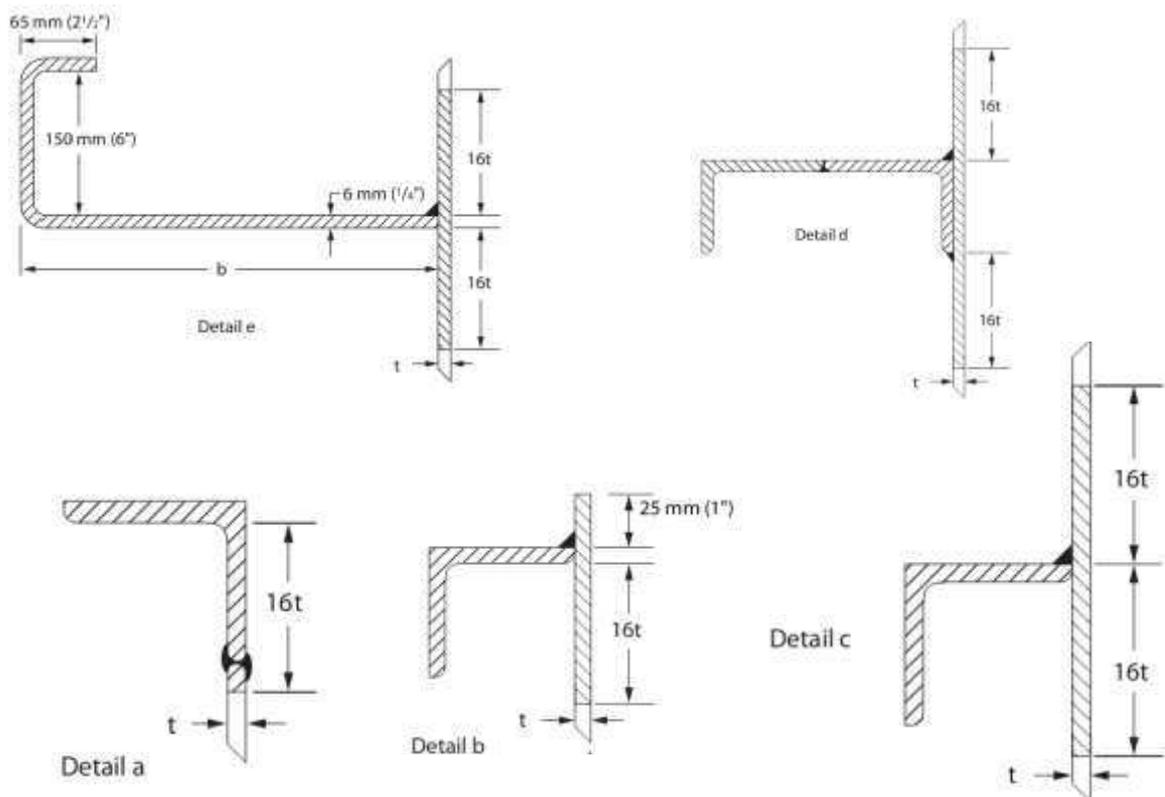


Figura 3. 22 Secciones típicas de anillos de rigidez para tanques de almacenamiento

Si el anillo rigidizador está localizado a mas 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 ½ x 2 ½ x 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 x 3 x ¼ pulg.) Para cuerpos con espesores mayores a 5 mm. (3/16 pulg.), o para otros miembros de modulo de sección equivalentes.²⁸

La viga de viento superior está diseñada según la ecuación para los módulos de la sección mínima requerida.²⁹

$$Z = \frac{D^2 * H_1}{17} \left(\frac{V}{190} \right)^2 \quad \text{Ec.3. 5}^{30}$$

Donde:

Z= Módulo de sección mínima requerida, cm³

D= Diámetro nominal tanque, m

H₂= Altura total del tanque, m.

V= Velocidad de diseño (con una ráfaga de 3 seg.)³¹

3.9.2 DISEÑO DE VIGA INTERMEDIA DE RIGIDEZ³²

Para diseñar la viga intermedia se necesita conocer la altura a la que se debe ubicar la viga de rigidez la cual viene dada por:

$$H_1 = 9,47 * \sqrt{\left(\frac{t}{D} \right)^3 * \left(\frac{190}{V} \right)^2} \quad \text{Ec.3. 6}^{33}$$

²⁸ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Part. 5.9.3.2, pag 5-61.

²⁹ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Part. 5.9.7.6, pag 5-68.

³⁰ API Standard 650, 11 Edition Junio 2001, addendum 2 , Par. 5.9.6.1, pag 5-62.

³¹ API Standard 650, 11 Edition Junio 2001, addendum 2 , Par. 5.2.1.k, pag 5-5.

³² API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Part. 5.9.7. pag 5-68

³³ API Standard 650, 11 Edition Junio 2001, addendum 2 , Par. 5.9.7.1, pag 5-67.

Donde:

H_1 = Distancia vertical en m. Entre la viga intermedia de viento y la borde superior del tanque.

t = Espesor del último anillo en mm.

D = Diámetro nominal del tanque.

V = Velocidad del viento, Km/h.

Una vez calculado la máxima altura del cuerpo sin rigidizar, se procede a calcular la altura de un cuerpo equivalente.

En que todos los anillos tengan el mismo espesor uniforme que el último anillo (más delgado).

Para esto hay que calcular el nuevo valor de las alturas para cada uno de los anillos con lo que se conseguirá un cuerpo con altura diferente de anillos pero con el mismo espesor.

Para esto se utilizara la siguiente formula:

$$W_{tr} = W * \sqrt{\left(\frac{t_{unifor}}{t_{actual}}\right)^5} \quad \text{Ec.3. 7}^{34}$$

Donde:

W_{tr} = Altura equivalente de cada anillo en el tanque. mm (in).

W = Altura actual de cada anillo, en mm. (in).

t_{unifor} = Espesor del último anillo. En mm. (in).

t_{actual} = Espesor actual de cada anillo en mm. (in).

³⁴ API Standard 650, 11 Edition Junio 2001, addendum 2 , Par. 5.9.7.2, pag 5-68.

$$\sum W_{tr} = H_{equiva.} \quad \text{Ec.3. 8}$$

Si la altura equivalente $H_{equiva.}$ del tanque transformado es menor que la altura requerida H_1 , **NO ES NECESARIO RIGIDIZAR EL TANQUE REAL.**

3.10 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 $0,86 \text{ Kpa } (V/190)^2$, $[18 \text{ lbf/ft}^2][V/120]^2$ en vertical de las áreas proyectadas sobre las superficies cilíndricas, y $1,44 \text{ Kpa } (V/190)^2$, $[30 \text{ lbf/ft}^2] [V/120]^2$, levantamiento en horizontal de áreas proyectadas cónicas³⁵.

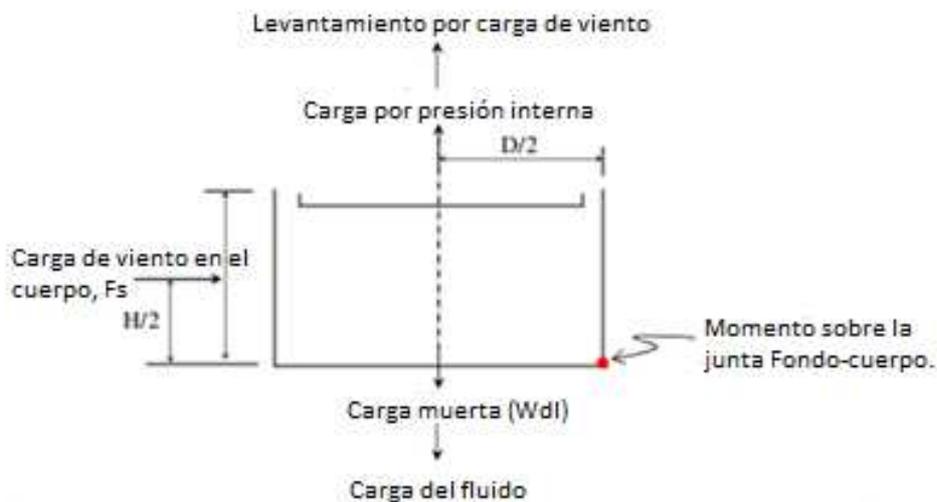


Figura 3. 23 Diagrama de cargas debido a la presión del viento sobre el tanque de techo flotante.

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

³⁵ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Part. 5.2.1.k pag 5-6

La carga del viento (F_r) proyectada en el techo será cero ya que el techo estará flotando en el líquido en el tanque, donde no habrá ningún área proyectada para el techo.

Tanques sin anclaje, deberá cumplir los siguientes requisitos:³⁶

$$0.6 * M_w + M_{pi} < \frac{M_{DL}}{1.5} \quad \text{Ec.3. 9}$$

$$M_w + 0.4 * M_{pi} < \frac{M_{DL} + M_F}{2} \quad \text{Ec.3. 10}$$

Donde:

M_{pi} = Momento sobre la junta fondo – cuerpo por presión interna. Y puede ser calculada por:

$$M_{pi} = \left(\frac{1}{4} \pi * D^2 * P_i \right) * \frac{1}{2} D \quad \text{Ec.3. 11}$$

M_w = Momento de vuelco sobre la junta fondo – cuerpo desde la horizontal más la presión de la carga de viento, y es igual a:

$$F_r * L_r + F_s * L_s$$

Siendo:

F_r = Carga de viento sobre el techo.

F_s = Carga de viento sobre el cuerpo.

L_r = Altura desde el fondo hasta el techo.

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

M_{DL} = Momento sobre la junta fondo cuerpo por peso del cuerpo y techo, y se calcula:

$$M_{DL} = 0.5 * D * W_{DL} \quad \text{Ec.3. 12}$$

³⁶ API Standard 650, 11 Edition Junio 2001, addendum 2 , Par. 5.11.2, pag 5-77.

El peso del techo es cero debido a que se trata de un techo flotante el cual no se soporta en el cuerpo del tanque.

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

$$M_F = \left(\frac{w_a * \pi * D}{1000} \right) * \frac{D}{2} \quad \text{Ec.3. 13}$$

El peso del liquido (w_a) es el peso correspondiente a la cantidad de liquido en un anillo con gravedad especifica 0.7, y una altura correspondiente a la mitad del liquido de diseño H.

W_a debe ser menor que:

$$0.90 * H * D \text{ ó } 59 * t_b * \sqrt{F_{by} * H} \quad \text{Ec.3. 14}$$

F_{by} = Es el mínimo esfuerzo de fluencia para el fondo del cuerpo, y t_b Es el espesor de las placas del fondo del tanque.

3.11 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 calculara el momento de vuelco y se verificaran los pernos de anclaje según los requerimientos. El número, el tamaño de los pernos de anclaje y su resistencia se determinaran 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.

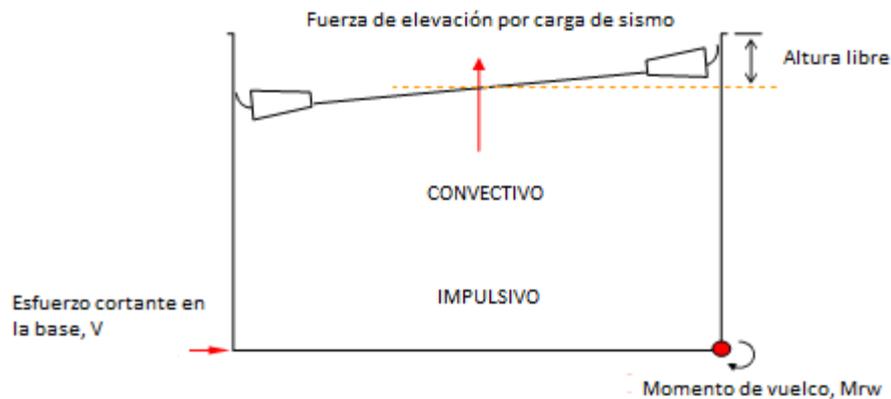


Figura 3. 24 Diagrama sísmico para un techo flotante.

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.

3.11.1 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:³⁷

- Aceleración sísmica pico en la tierra. $S_p = 0,230 \text{ g}$
- Factor de importancia, $I = 1,50$.
- Site class. C
- Grupo Sísmico. II.

La normativa API 650 no establece una región para ECUADOR por lo que se debe tomar una sustitución para poder continuar con los cálculos. (Ver anexo 9)

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

$$S_s = 2.5 S_p \quad \text{Ec.3. 15}^{38}$$

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

$$S_1 = 1.25 S_p \quad \text{Ec.3. 16}^{39}$$

³⁷ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Part. E.4.2.1. pag E-6.

³⁸ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Part. E.4.3-1. pag E-7.

³⁹ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Part. E.4.3-2. pag E-7.

3.11.2 ESTABILIDAD AL VUELCO.

Para tanques apoyados en un anillo de concreto (ring Wall), la ecuación que rige el momento en el anillo es:⁴⁰

$$M_{rw} = \sqrt{[A_i(W_i * X_i + W_s * X_s + W_r * X_r)]^2 + [A_c(W_c * X_c)]^2} \quad \text{Ec.3. 17}$$

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 liquido, N.

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

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

Wc = Peso del liquido 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 liquido 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 liquido 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.

⁴⁰ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Part. E.6.1.5. pag E-16.

3.11.3 DISEÑO DE ACELERACIONES ESPECTRALES.⁴¹

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

- Aceleración espectral impulsiva, A_i .⁴²

$$A_i = 2.5 * Q * Fa * So * \frac{I}{Rwi} \quad \text{Ec.3. 18}$$

Pero $A_i \geq 0.007$

Solo para sitios sísmicos clases E y F:

$$A_i = 0.5 * S_1 \left(\frac{I}{Rwi} \right) = 0.875 * Sp * \frac{I}{Rwi} \quad \text{Ec.3. 19}$$

- Aceleración espectral convectiva, A_c .⁴³

Para $T_c \leq T_L$,

$$A_c = KS_{D1} * \left(\frac{1}{T_c} \right) \left(\frac{I}{Rwc} \right) = 2.5 * K * Q * Fa * So * \left(\frac{T_s}{T_c} \right) \left(\frac{I}{Rwc} \right) \quad \text{Ec.3. 20}$$

Para $T_c > T_L$,

$$A_c = KS_{D1} * \left(\frac{T_L}{T_c^2} \right) \left(\frac{I}{Rwc} \right) = 2.5 * K * Q * Fa * So * \left(\frac{T_s * T_L}{T_c^2} \right) \left(\frac{I}{Rwc} \right)$$

$$A_c = 2.5 * K * Q * Fa * So * \left(\frac{T_s * T_L}{T_c^2} \right) \left(\frac{I}{Rwc} \right) \quad \text{Ec.3. 21}$$

⁴¹ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Part. E.4.6.1. pag E-11.

⁴² API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Ec. E.4.6.1-1; E.4.6.1-2. pag E-11

⁴³ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Ec. E.4.6.1-4; E.4.6.1-5. pag E-11

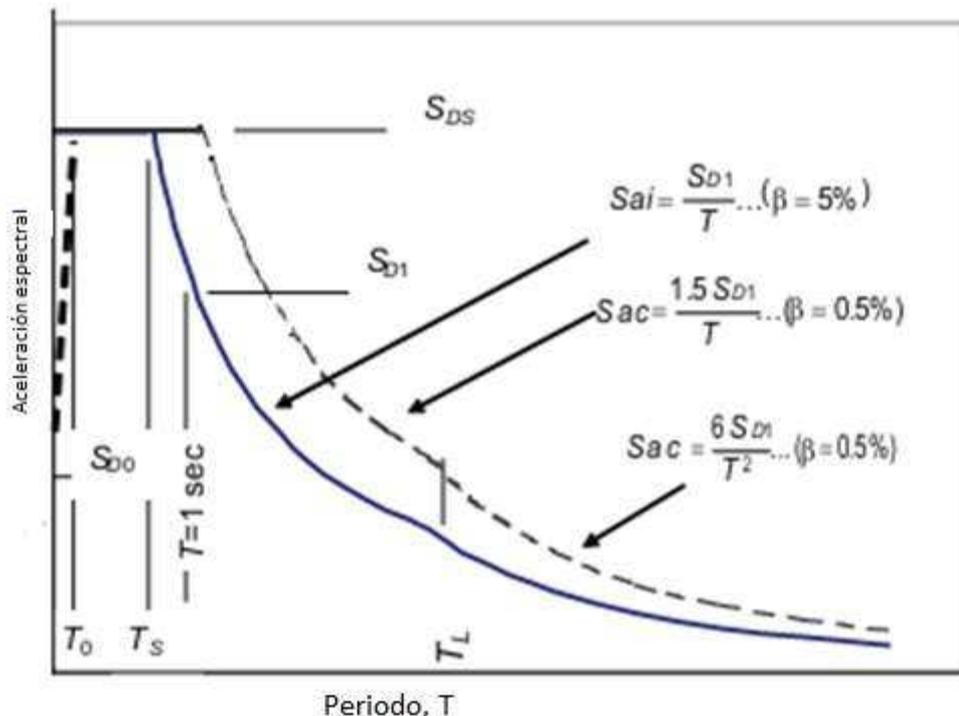


Figura 3. 25 Respuesta espectral para el diseño de tanques de almacenamiento apoyados en tierra.

3.11.4 PARÁMETROS REQUERIDOS PARA EL DISEÑO SÍSMICO.

3.11.4.1 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), provocando que el techo flotante tome la misma frecuencia de oleaje.

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

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

Ec.3. 22⁴⁴

Donde:

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

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

Ec.3. 23⁴⁵

O también puede ser calculado por el siguiente grafico:

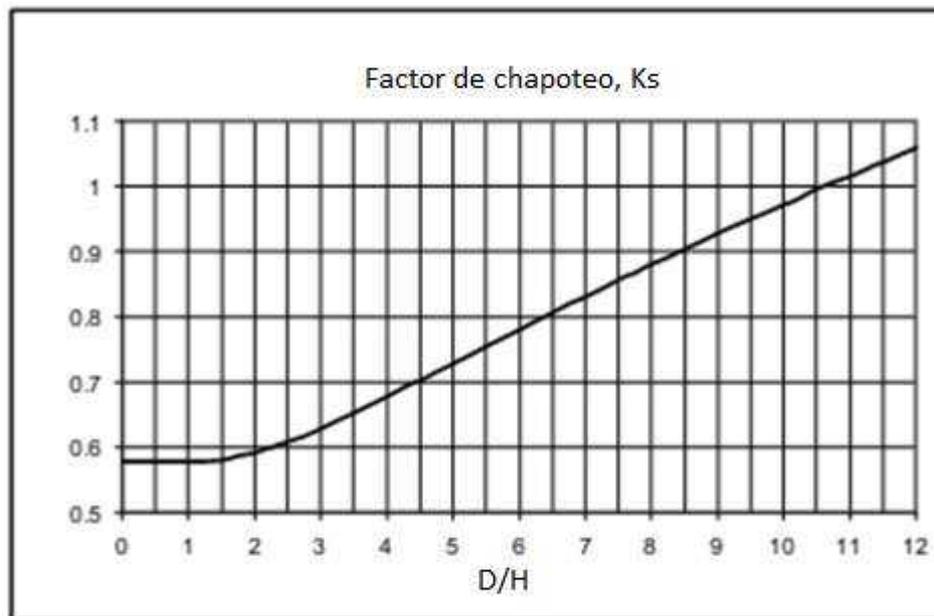


Figura 3. 26 Coeficiente del periodo de chapoteo, Ks

⁴⁴ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Ec. E.4.5.2.a. pag E-11

⁴⁵ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Ec. E.4.5.2.c. pag E-11

3.11.4.2 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.⁴⁶

3.11.4.3 Factor de escala Q.

Se tomará como factor $Q = 1$ debido a que la región es fuera de USA.⁴⁷

3.11.4.4 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 determinado rápidamente por la Tabla 3. 17.

Tabla 3. 17 Mapeado máximo considerado para aceleraciones sísmicas en periodos cortos.⁴⁸

clase de sitio	Mapeado Máximo Considerado aceleraciones sísmicas de respuesta espectral en periodos cortos, F_a				
	$S_s < 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s > 1.25$
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	1.2	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.

Para el presente cálculo se tomará como clase de sitio C y un $S_p = 0.230$. (Ver sección 3.11.4)

Si el

$$S_s = 2.5 S_p \quad \text{Ec.3. 24}$$

$$S_s = 0,575.$$

Para encontrar el valor de F_a se debe interpolar entre $S_s = 0.50$ y $S_s = 0.75$.

De lo que se obtiene: **$F_a = 1.17$** .

⁴⁶ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2, Part. E.4.6.1. pag E-11.

⁴⁷ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2, Part. EC.4.6.1. pag EC-6

⁴⁸ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2, Tabla. E-1. pag E-7

3.11.4.5 Coeficiente de velocidad en sitio base (periodo 1.0 Seg.), Fv.

El coeficiente de velocidad en sitio, Fv, es determinado directamente por la Tabla 3. 18

Tabla 3. 18 Mapeado máximo considerado para aceleraciones sísmicas en periodos de 1 segundo⁴⁹.

clase de sitio	Mapeado Máximo Considerado aceleraciones sísmicas de respuesta espectral en periodos de 1 seg. Fv				
	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.

Para el presente cálculo se tomó como clase de sitio C y un Sp = 0.230. (Ver sección 3.11.4)

Si el

$$S_1 = 2.5 S_p \quad \text{Ec.3. 25}$$

$$S_1 = 0,2875.$$

Fa debe ser interpolado entre los valores correspondientes a S₁= 0.2 y S₁= 0.3.

De lo que se obtiene:

$$\mathbf{Fv = 1.5125.}$$

3.11.4.6 Factores de respuesta de modificación de los métodos ASD, Rw.

El factor de modificación de respuesta en tanques de almacenamiento será diseñado y detallado según estas disposiciones podrá ser inferior o igual a los valores mostrados en la Tabla 3. 19.⁵⁰

⁴⁹ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Tabla. E-2. pag E-7

⁵⁰ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Part. E-5.1.1. pag E-12

Tabla 3. 19 Factores de modificación de respuesta R_w ⁵¹

Sistema de anclaje	R_{wi} (Impulsivo)	R_{wc} (Convectivo)
Auto anclaje	3.5	2
Anclaje mecánico	4	2

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

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

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

Tabla 3. 20 Resumen de parámetros.

		Impulsivo	Convectivo
Part. E.4.6.1	Q	1	
Tabla. E-1	Fa	1,17	
Tabla. E-2	Fv		1,5125
Dato.	I	1,25	
Tabla. E-4	Rw	4	2
Part. E.4.5.2	Tc	6,33	
Part. E.4.6.1	Tl	4	
Dato.	Sp	0,23	
Part. E.4.6.1	So	0,23	
	Sds	0,673	
Part. 2.2	K	1,5	

Con los datos obtenidos se procede a calcular la aceleración espectral impulsiva, A_i , y la aceleración espectral convectiva, A_c . Basado en las ecuaciones Ec.3. 18 y Ec.3. 20.

De lo que se obtiene:

- **Aceleración espectral impulsiva, A_i .**

$$A_i = 2.5 * Q * Fa * So * \frac{I}{R_{wi}}$$

$$A_i = 2.5 * 1 * 1.17 * 0.230 * \frac{1.25}{4}$$

$$A_i = 0.21\%$$

⁵¹ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Part. E-5.1.1. pag E-12

- **Aceleración espectral convectiva, A_c .**

Para $T_c > T_L$,

$$A_c = K S_{D1} * \left(\frac{T_L}{T_c^2} \right) \left(\frac{I}{R_{WC}} \right) = 2.5 * K * Q * F_a * S_o * \left(\frac{T_s * T_L}{T_c^2} \right) \left(\frac{I}{R_{WC}} \right)$$

$$A_c = 2.5 * 1.5 * 1 * 1.17 * 0.23 * \left(\frac{0.646 * 4}{6.33^2} \right) \left(\frac{1.25}{2} \right)$$

$$A_c = 0.0406\%$$

3.11.5 PESO EFECTIVO DEL PRODUCTO.⁵²

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

$$W_i = \frac{\tanh\left(0.866 * \frac{D}{H}\right)}{0.866 * \frac{D}{H}} * W_p \quad \text{Ec.3. 26}$$

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

$$W_i = \left[1.0 - 0.218 * \frac{D}{H} \right] * W_p \quad \text{Ec.3. 27}$$

⁵² API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2, Part. E.6.1.1. pag E-13

El peso efectivo convectivo es:

$$W_c = 0.230 * \frac{D}{H} * \tanh\left(\frac{3.67 * H}{D}\right) * W_p \quad \text{Ec.3. 28}$$

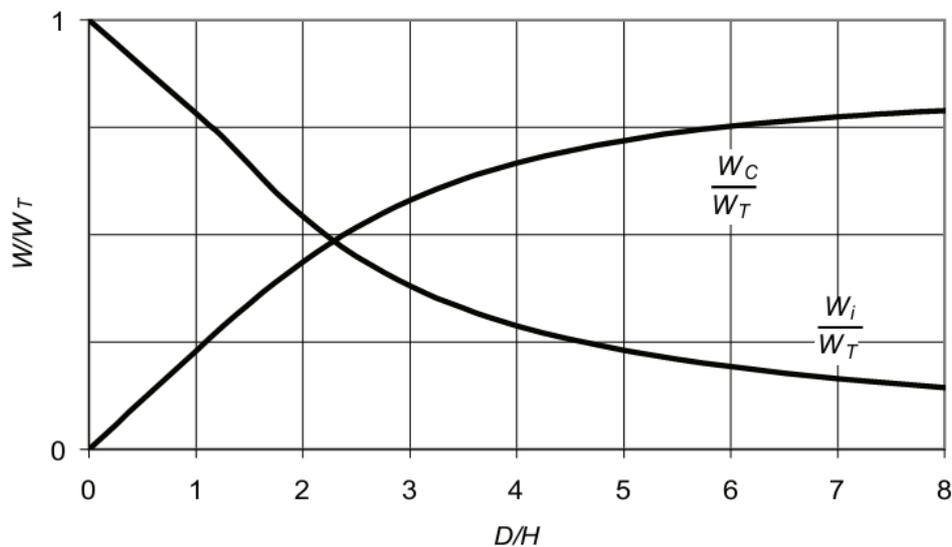


Figura 3. 27 Peso efectivo de la proporción del líquido.

3.11.6 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 y X_c , correspondientes a los pesos efectivos se determinaran 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 se determinan según las ecuaciones siguientes:⁵³

- Para fuerzas impulsivas.

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

$$X_i = 0.375 * H \quad \text{Ec.3. 29}$$

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

$$X_i = \left[0.5 - 0.094 * \frac{D}{H} \right] * H \quad \text{Ec.3. 30}$$

- Para fuerzas convectivas.

$$X_c = \left[1.0 - \frac{\cosh\left(\frac{3.67 * H}{D}\right) - 1}{\frac{3.67 * H}{D} * \sinh\left(\frac{3.67 * H}{D}\right)} \right] * H \quad \text{Ec.3. 31}$$

Las relaciones antes mencionadas también pueden ser ilustradas gráficamente.

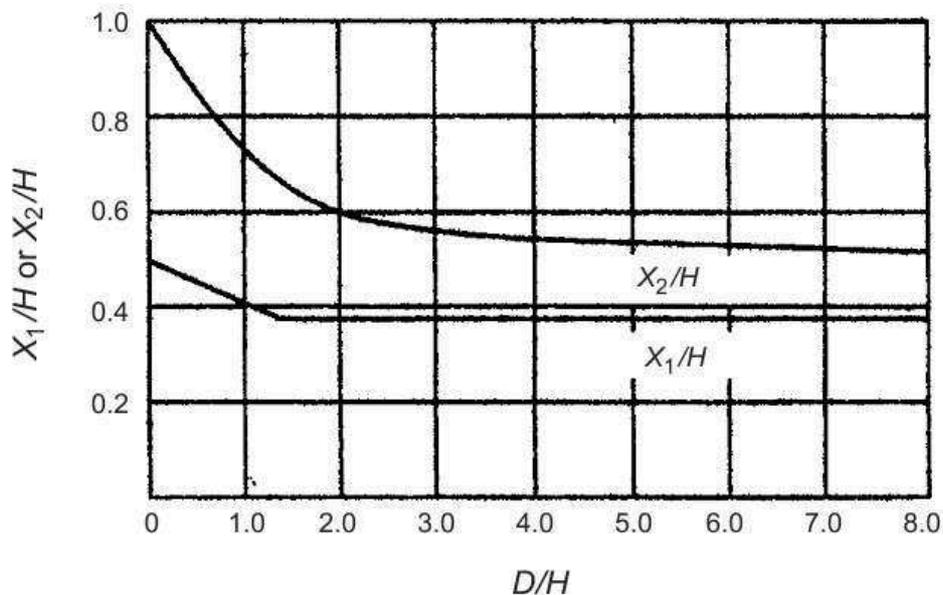


Figura 3. 28 Centro de acción de fuerzas efectivas

⁵³ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Ec. 6.1.2.1-1; Ec. 6.1.2.1-2; Ec. 6.1.2.1-3 . pag E-15,E-16

3.11.7 FUERZA DE CORTE EN LA BASE.⁵⁴

La fuerza de corte en la base viene definida por:

$$V = \sqrt{V_i^2 + V_c^2} \quad \text{Ec.3. 32}$$

Donde

V_i = Fuerza impulsiva y es definida por:

$$V_i = A_i * (W_s + W_r + W_f + W_i) \quad \text{Ec.3. 33}$$

W_i = Impulso efectivo por peso del liquido, N.

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

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

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

W_f = Peso total del fondo del tanque, N.

V_c = Fuerza convectiva y es definida por:

$$V_c = A_c * W_c \quad \text{Ec.3. 34}$$

Al ser un tanque tipo techo flotante se tiene $W_r = 0$, esto sucede ya que el peso del techo debe ser añadido al contenido del tanque, porque el techo flota sobre el liquido.

⁵⁴ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Ec. 6.1-1 . pag E-13

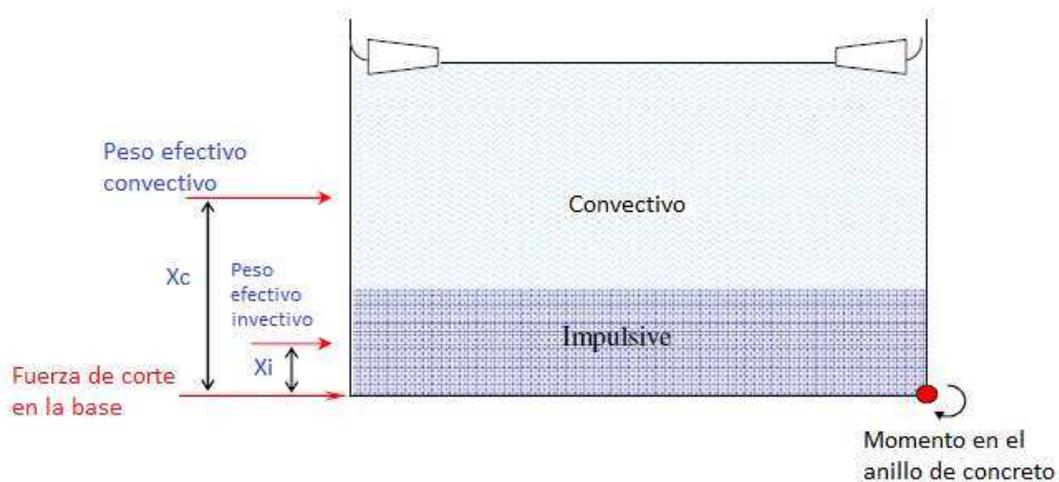


Figura 3. 29 Cargas por sismo.

3.11.8 RESISTENCIA AL VOLTEO.⁵⁵

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

3.11.8.1 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 determinado por la ecuación Ec.3. 35. Para determinar si son autos anclados o anclados mecánicamente.

⁵⁵ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2, E. 6.1.5. pag E-16

Tabla 3. 21 Relación de anclaje.⁵⁶

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 provistos 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.

La relación de anclaje viene dada por:

$$J = \frac{M_{rw}}{D^2 [wt * (1 - 0.4 Av) + wa - 0.4w_{int}]} \quad \text{Ec.3. 35}$$

Donde

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

$$wt = \frac{W_s}{\pi * D} + wrs \quad \text{Ec.3. 36}$$

wa = Fuerza de resistencia del anillo viene dado por:

$$wa = 99 * ta * \sqrt{Fy * H * Ge} \leq 201.1 * H * D * Ge \quad \text{Ec.3. 37}^{57}$$

Donde

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

H = Altura máxima de diseño del liquido, m.

⁵⁶ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Tabla E-6. pag E-18

⁵⁷ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Part. E6.2.1.1. Ecu. E6.2.1.1-1a pag E-18

t_a = espesor de la plancha.

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

$$G_e = G \cdot (1 - 0.4 \cdot A_v) \quad G=1; \text{ Gravedad específica.}$$

A_v = Coeficiente de aceleración vertical para terremotos.

$$A_v = 0.7$$

W_{int} = Elevación debido a la presión del producto.

$$W_{int} = 0. \text{ (por techo flotante)}$$

w_{rs} = Carga sobre el techo que actúan sobre el cuerpo, incluyendo el 10% de la carga de nieve.

$$w_{rs} = 0 \text{ (por techo flotante).}$$

3.11.8.2 Requerimientos plancha anular⁵⁸.

Antes de verificar la estabilidad por sismo es importante asegurar que el ancho de la plancha anular sea la correcta.

Para el espesor de la plancha anular (t_a) que está ubicada bajo el cuerpo del tanque para esto se recurre a la siguiente fórmula:

$$L = 0.01723 * t_a * \sqrt{\frac{F_y}{H * G_s}} \quad 450 \text{ mm.} \leq L \leq 0.035 * D \quad \text{Ec.3. 38}^{59}$$

3.11.8.3 Compresión del cuerpo⁶⁰.

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.

$$\sigma_c = \left(w_t (1 + 0.4 A_v) + \frac{1.273 * M_{rw}}{D^2} \right) * \frac{1}{1000 * t_s} \quad \text{Ec.3. 39}$$

Para el cálculo, el máximo esfuerzo de compresión tiene que ser menor que el esfuerzo permisible F_c , la cual de determina por⁶¹:

⁵⁸ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Part E.6.2.1.1.2 pag E-18

⁵⁹ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 . Ecu. E6.2.1.1-1a pag E-18

⁶⁰ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Part E.6.2.2.1. pag E-19

Cuando:

$$\frac{G * H * D^2}{t^2} \geq 44 \quad Fc = \frac{83 * ts}{D} \quad \text{Ec.3. 40}$$

Cuando:

$$\frac{G * H * D^2}{t^2} < 44 \quad Fc = \frac{83 * ts}{2.5 * D} + 7.5 * \sqrt{G * H} \quad \text{Ec.3. 41}$$

Y

$$Fc < 0.5 Fty \quad \text{Ec.3. 42}$$

3.11.9 ALTURA LIBRE DE CHAPOTEO.⁶²

La altura libre de chapoteo mínimo exigido por la norma, por encima de la capacidad máxima, se determinara considerando el chapote de líquido dentro del tanque.

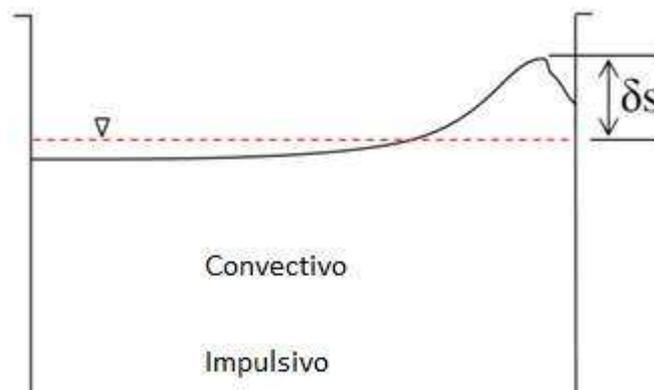


Figura 3. 30 Altura de chapoteo del líquido dentro del tanque

⁶¹ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Part E.6.2.2.1. pag E-19

⁶² API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Part E.7.2. pag E-22

La altura libre de chapoteo es estimada por la siguiente ecuación:

$$\delta_s = 0,5 * D * A_f \quad \text{Ec.3. 43}$$

Para $T_c > T_L$ En grupos sísmicos SUG III.

$$A_f = 2,5 * K * Q * Fa * S * \left(\frac{T_s * T_L}{T_c^2} \right) \quad \text{Ec.3. 44}$$

El valor encontrado de A_f es 0,065, por lo tanto el valor de δ_s será de 1190,8, de acuerdo a la normativa la altura libre de chapoteo será igual a la altura máxima de oleaje (δ_s)

3.12 DISEÑO DE ANCLAJE.⁶³

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 esta dimensionados para proporcionar la resistencia minina de anclaje, la carga de diseño por volteo debido a carga sísmica.

Y es determinada por:

$$w_{AB} = \left(\frac{1,273 * M_{rw}}{D^2} - w_t * (1 - 0,4 * A_v) \right) + w_{int} \quad \text{Ec.3. 45}$$

3.12.1 PERNOS 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 (S_y).
- El diámetro mínimo de los pernos de anclaje es 1 in.

⁶³ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Part E.6.2.1.2. pag E-19

3.12.2 MATERIALES.⁶⁴

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 2 in, ASTM A 193M B7, se obtienen:

$$S_{ut} = 125 \text{ Ksi}$$

Y un esfuerzo de fluencia

$$S_y = 105 \text{ Ksi} ; 723,94 \text{ N/mm}^2$$

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 la 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 dando un total de 38 pernos de anclaje, con un diámetro de 2 in con estos valores preseleccionados para el diseño, este valor se toma como referencia para cálculos posteriores utilizando las formulas correspondientes se verificara si la suposición hecha es la correcta. El valor de diámetro por lo tanto el esfuerzo a la tensión de cada perno de anclaje puede ser determinado por.

⁶⁴ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Part. 4.7. Pag. 4-15.

$$\sigma_b = \frac{W_{AB}}{N * A_b}$$

Ec.3. 46

Donde:

W_{ab} = Resistencia mínima de anclaje

N = número de pernos

A_b = Sección transversal del perno.

3.13 DISEÑO TECHO FLOTANTE.

No hay un procedimiento limitado y normas establecidas para el diseño de techo flotante, como la mayoría de los componentes, particularmente la instalación y los accesorios en el techo flotante son exclusivos de cada diseñador.

El diseño del techo se compone de:

- La selección del tipo de techo flotante a emplear.
- El diseño de la flotabilidad,
- Tensiones del techo
- Montaje y
- Accesorios.

El apéndice C de la API 650 TECHOS FLOTANTES EXTERNOS, especifican los requerimientos mínimos sobre techos flotantes.

3.13.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE TECHO FLOTANTE.

Diferentes tipos de techo flotante se había discutido en el capítulo 2. Por lo tanto, se darán realce a los puntos más importantes de cada tipo.

- **El tipo pontón:** Este tipo se utiliza normalmente para el diámetro del tanque a menos de 65 m debido a la flexibilidad de la placa de la cubierta,
- **Tipo doublé deck:** Se utiliza para tanques de mayor diámetro (> 65 m) al tener doble plataforma es más rígido y estable.

En vista de que el diámetro del tanque es de 120 pies (36m), y su uso es muy común en el diseño de tanques se diseñara un tanque tipo pontón.

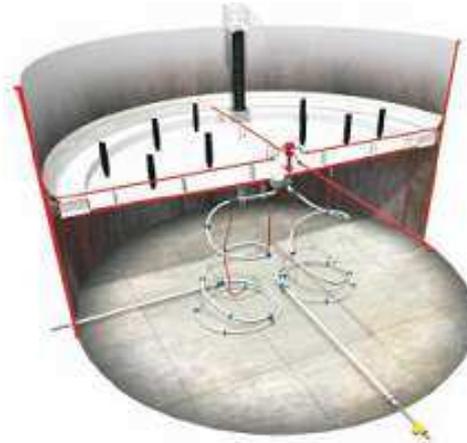


Figura 3. 31 Techo flotante tipo pontón

3.13.2 DISEÑO DEL PONTÓN.

La normativa API 650 exige que toda plancha de plataforma deba tener un espesor mínimo nominal de 5 mm (3/16") para bases de órdenes permisibles de plancha 37,4 Kg/m², 7,65 lbf/pie², plancha de 0,180 pulg, o lamina calibre 7).

Las planchas de la plataforma serán unidas por soldadura de filete completo y continuo sobre el lado superior. En lados inferiores, donde la flexión puede ser próximamente anticipada para vigas, brazos de soporte, u otros miembros relativamente rígidos.

Cualquier soldadura de filete completa no deberá ser menor que 50 mm. (2") de largo en 250 mm (10") de longitud la cual será usada sobre cualquier plancha traslapada que se encuentre dentro de 300 mm. (12 plg) de cualquier miembro semejante.

El diseño del techo flotante deberá tener una presión suficiente hacia arriba para flotar en un líquido con una gravedad específica de 0,7 y con drenajes inoperativos para las siguientes condiciones:⁶⁵

- 250 mm (10") de carga de lluvia en 24 horas de periodo con los techos intactos.
- El volumen mínimo del pontón será suficiente para mantener el techo en flotación, sobre un líquido cuya densidad relativa no exceda de 0,7 kg/l, cuando la cubierta y dos compartimentos (pontones), cualesquiera se

⁶⁵ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Part. C.3.4. Pag. C-2.

encuentran perforados y el drenaje primario del techo se encuentra fuera de funcionamiento.

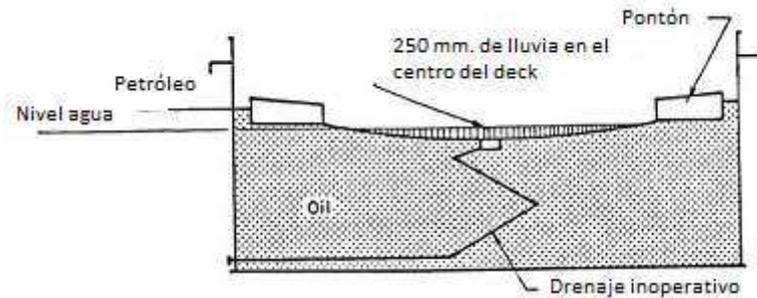


Figura 3. 32 Requerimientos mínimos para un techo flotante tipo pontón

3.13.3 CÁLCULOS DEL TECHO FLOTANTE.

Para el diseño de los techos flotantes tipo pontón se deben considerar los siguientes parámetros:

- Cálculo de las dimensiones del pontón.
- Cálculo del techo bajo condiciones de lluvia y drenaje obstruido.
- Cálculo del techo con líquido de gravedad específica, $G= 0,7$
- Cálculo del techo a la estabilidad por oleaje
- Cálculo de la cantidad de compartimentos del pontón.
- Comprobación del pandeo de los mamparos.
- Comprobación del deck central al esfuerzo de corte.

3.13.3.1 Cálculo de las dimensiones del pontón.

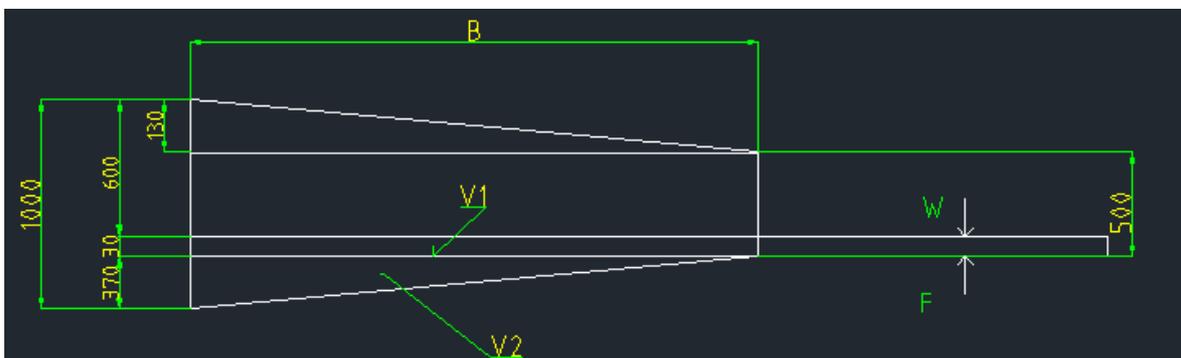


Figura 3. 33 Dimensiones preliminares pontón

Para el cálculo de las dimensiones del pontón se toman algunos criterios para facilitar el cálculo del mismo.

- Se toma como tamaño del anillo exterior a un metro de altura para facilitar la colocación del sello y tener una profundidad de flotación.
- El anillo exterior se fija en 50 cm.
- Se fija la profundidad de flotación en 40 cm
- Se ubica el deck central 3 cm por debajo de la línea de flotación de para reducir el área del pontón.

3.13.3.1.1 Condiciones de flotación.

$$W = F$$

$$F = \rho * (V_1 + V_2)$$

$$F = \rho * \left[C_1 * \frac{B^2}{2} * \left(\frac{D}{B} - 1 \right) + C_2 * \frac{\pi * D^2}{4} \right] \quad \text{Ec.3. 47}^{66}$$

$$C_1 = \frac{2 * \left(\frac{W}{\rho} - C_2 * \frac{\pi * D^2}{4} \right)}{\left[\pi * B^2 * \left(\frac{D}{B} - 1 \right) \right]} \quad \text{Ec.3. 48}$$

Donde:

C_1 = Valor de profundidad de flotación elegido por el diseñador, (mm.)

C_2 = Valor de profundidad de flotación elegido por el diseñador, (mm.)

D = Diámetro del tanque en metros.

W = peso del techo con sus accesorios.

B = Se Obtiene por tanteo.

⁶⁶ PDVSA CIED (Centro Internacional de Educacion y Desarrollo). (1995, Febrero) ;TANQUES DE ALMACENAMIENTO PARA DERIVADOS DEL PETROLEO, PDVSA. Venezuela.

3.13.3.2 Cálculo hidráulico del techo bajo condiciones de lluvia y drenaje obstruido.



Figura 3. 34 Esquema carga de lluvia.

El techo flotante deberá mantenerse a flote, en un líquido con gravedad específica de 0,7 con su sistema de drenaje primario inoperante bajo la siguiente condición:

- 10'' de agua lluvia, durante un periodo de 24 horas con el techo intacto.

Para el cálculo se desarrollará de la siguiente manera:

- Se considera que la cubierta mantiene diez pulgadas (10'') de agua lluvia.
- Se considera que el centro de la cubierta tiene forma específica bajo la carga de lluvia.

La carga de agua es 10'' H₂O = 250 Kg/m²

La presión generada se distribuye alrededor del deck central por lo que se define por:

$$P = 250 \frac{Kg}{m^2} * \frac{Area superior inundada}{Area inferior del techo} \quad \text{Ec.3. 49}$$

3.13.3.3 Cálculo del techo con líquido de gravedad específica 0,7

Una vez definido el tamaño de B (ancho del pontón) se verifica que el techo actúe correctamente para un líquido de gravedad específica 0,7. Con esto calcularemos la profundidad de flotación.

$$C = \frac{2 * \left(\frac{W}{\rho} - C_2 * \frac{\pi * D^2}{4} \right)}{\pi * B^2 * \left(\frac{D}{B} - 1 \right)}$$

Ec.3. 50

Donde la densidad especifica es = 700 Kg/m³

El aumento de la profundidad de flotación no debe sobre pasar la altura del anillo interior.

3.13.3.4 Cálculo de estabilidad del techo por oleaje.

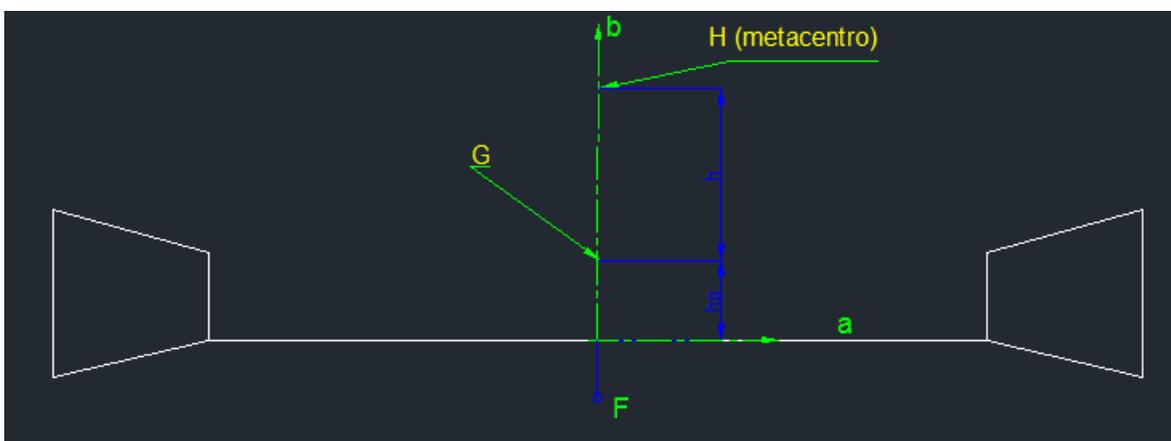


Figura 3. 35 Esquema estabilidad por oleaje.

El oleaje puede producirse en la etapa de llenado del tanque por lo que se debe verificar:

$$h = \frac{I_z}{V_o - h_o} > 0$$

Ec.3. 51

Donde:

h = Altura metacéntrica (distancia entre el metacentro y el centro de gravedad del techo)

I_z = Momento de inercia alrededor del eje en el cual se tiene la rotación.

V_o = Volumen desplazado del techo.

h_o = Distancia desde el centro de gravedad al centro de flotación del techo.

La condición $h > 0$ garantiza que el techo regrese a la posición después de ser sometido a una excitación externa.

3.13.3.5 Cálculo de la cantidad de compartimientos.

La cantidad de compartimientos del pontón se calcula con base en la condición de dos compartimientos del pontón adyacentes perforados.

Esta condición es obligatoria para el cálculo de las cantidades de compartimientos necesarios.

Para efectos de cálculo de la cantidad de compartimientos se limitara la profundidad de flotación en 50 cm en la zona de compartimientos perforados, a fin de que el sello funcione por lo tanto:

$$C_1 + C_2 + \Delta C_1 + \Delta C_2 = 50 \text{ cm.} \quad \text{Ec.3. 52}$$

Donde:

C_1 = Valor de profundidad de flotación elegido por el diseñador, (mm.)

C_2 = Valor de profundidad de flotación elegido por el diseñador, (mm.)

ΔC_1 = Incremento de profundidad de flotación por volumen adicional que será desplazado por el pontón por efecto de perforación del deck central.

$$\Delta C_1 = \frac{d^2 * C_2}{D^2 - d^2} \quad \text{Ec.3. 53}$$

D = Diámetro externo del techo.

d = Diámetro interno del techo.

ΔC_2 = Incremento en la profundidad de flotación en el área de pontones por inclinación del techo.

$$\Delta C_2 = 50 \text{ cm} - (C_1 + C_2 + \Delta C_1) \quad \text{Ec.3. 54}$$

El ángulo admisible de inclinación del techo será:

$$\theta = \frac{\Delta C_2 * 360}{D * \pi} \quad \text{Ec.3. 55}$$

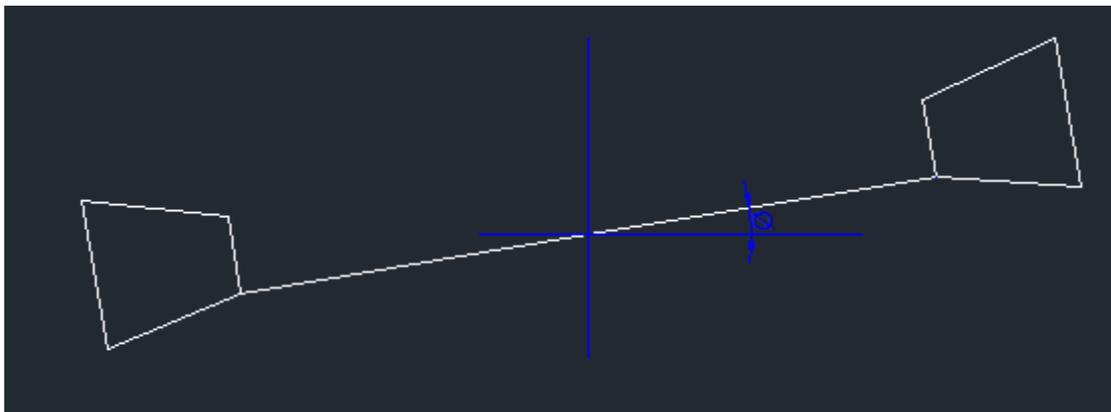


Figura 3. 36 Angulo admisible.

Al permanecer el techo estable aún con los compartimientos averiados debe existir un equilibrio de momentos, por lo que aplicando la siguiente ecuación se llega a que las longitudes máximas de los compartimientos deben ser:

$$l_{max} = \frac{\pi * D * h * \text{sen } \theta}{D - 0,88 * B} + (2 * h * \text{sen } \theta) \quad \text{Ec.3. 56}$$

Donde:

h = Altura metacéntrica.

B = Ancho del pontón.

l_{max} = Longitud máxima.

3.13.3.6 Comprobación del pandeo de los mamparos.

Los mamparos o divisiones de cada compartimiento están sometidos a compresión debido al peso de las láminas superiores del pontón

El peso de la lámina superior es:

$$P = d * t * A$$

Ec.3. 57

Donde:

A = Area de la lamina.(m²)

T = espesor de la lamina. (m.)

d = densidad del acero en (Kg/m³)

Carga distribuida sobre el mamparo:

$$\text{Carga distribuida sobre el mamparo} = \frac{P}{L_{\text{mamparo}}}$$

$$\text{Esfuerzo de compresion} = \frac{E * P}{L_{\text{mamparo}}}$$

La carga crítica al pandeo se considera para extremos fijos, por lo tanto:

$$C_{\text{crit}} = \frac{\pi^2 * E}{\left(k * \frac{L}{r}\right)^2}$$

Ec.3. 58⁶⁷

Donde:

L = Longitud efectiva de la columna.

r = radio de giro sección transversal columna

k = coeficiente para las condiciones de apoyo.

E = modulo de Young acero.

⁶⁷ <http://es.wikipedia.org/wiki/Pandeo>

3.14 DISEÑO DE ACCESORIOS.

En la Figura 3. 37. Indica los típicos accesorios de un techo flotante, para una operación básica del mismo.

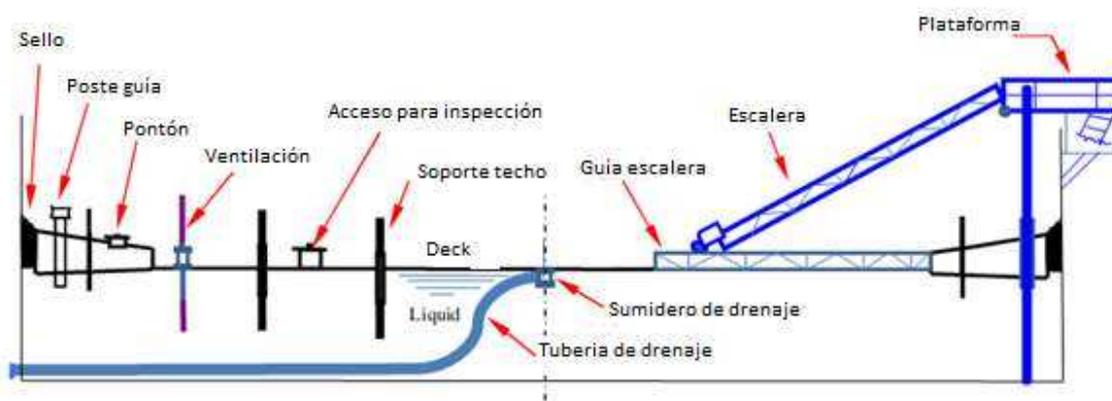


Figura 3. 37 Accesorios típicos en un techo flotante

Cada uno de los accesorios posee una importancia clave, por lo que una mala función de estos accesorios podría causar problemas en la operación normal del tanque, los requerimientos mínimos en accesorios son:

Tabla 3. 22 Requerimientos básicos de accesorios

Descripción	Numero requerido
Tubería de drenaje de techo	1
Sumidero	1
Puesta a Tierra	1
Sello de techo	Un juego dependiendo del proveedor
Escalera	1
Entrada de hombre	1
Drenaje de emergencia	1
Ventilación anillo	especificado por proveedor
Ventilación techo	2
Medidor de altura	1
Soportes de techo	Juego especificado por diseñador

3.15 SISTEMA DE SELLADO DEL TECHO.

Para el sistema de sellado del techo flotante se ha estimado una separación de al menos 200 mm. entre el techo flotante y el cuerpo del tanque. El propósito principal de los sellos de techos sirve para cerrar la distancia entre el pontón y el cuerpo del tanque, por lo tanto ayuda a prevenir el escape de vapor desde el interior del tanque y a la vez sellar la cantidad de lluvia y contaminantes que pueden ingresar.

Normalmente existen 2 tipos de sellos que deben ser instalados en tanques techo flotante.

- Sellos Primarios
- Sellos Secundarios

3.15.1 SELLOS PRIMARIOS.

Las funciones del sello primario es minimizar la pérdida de vapor, centralizar el techo flotante, el cierre primario podría ser en metálico (sello mecánico tipo zapata) o no de tipo metálico (junta elástica de relleno).

3.15.1.1 Sello mecánico tipo zapata.

Los requisitos adicionales se aplican a los sellos tipo zapata mecánica, y que puede ser utilizado como primario o secundario

La banda de metal (zapato) se forma típicamente como una serie de hojas que se solapan o se unieron entre sí para formar un anillo que se lleva a cabo contra la carcasa por una serie de dispositivos mecánicos. Para techos flotantes exteriores solamente, los sellos mecánicos tipo zapata, extenderá al menos 610 mm (24 pulgadas) por encima y por lo menos 100 mm (4 pulgadas) en el líquido en el nivel de flotación de proyecto, salvo cuando este tipo de cierre es el cierre hermético secundario, instalado por encima de una junta primaria. El "nivel de diseño de flotación" se define como la posición del techo (bajo carga muerta condiciones) para el rango de un líquido con peso específico de 0,7.

3.15.1.2 Sello no metálico junta elástica.

En el relleno sello elástico, la fuerza mecánica se obtiene tomando un material de espuma compresible introduciéndolo en una funda de neopreno e insertándolo entre el borde del techo flotante y el cuerpo del tanque. La resistencia a la acción de raspar las placas rugosas del cuerpo del tanque se consigue envolviendo la espuma elástica en una envoltura de lámina de plástico reforzado o lámina de caucho. La espuma y la envoltura pueden ser montadas en un número de variantes, donde la parte inferior de la junta toca el líquido almacenado.

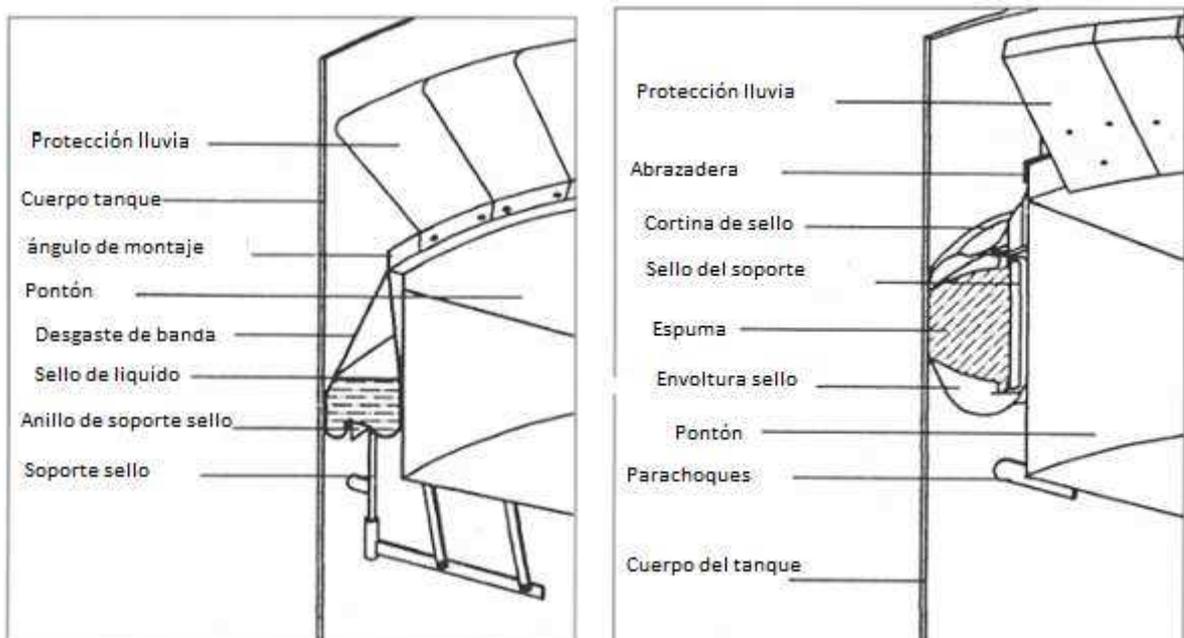


Figura 3. 38 Sellos primarios.

3.15.2 SELLOS SECUNDARIOS.

El sello secundario va montado sobre el sello primario y protege de efectos ambientales tales como lluvia, ceniza, granizo, sedimentos externos, etc.

Consta de placas de acero adheridas a la pared del tanque y alrededor del techo flotante como se muestra en la Figura 3. 39

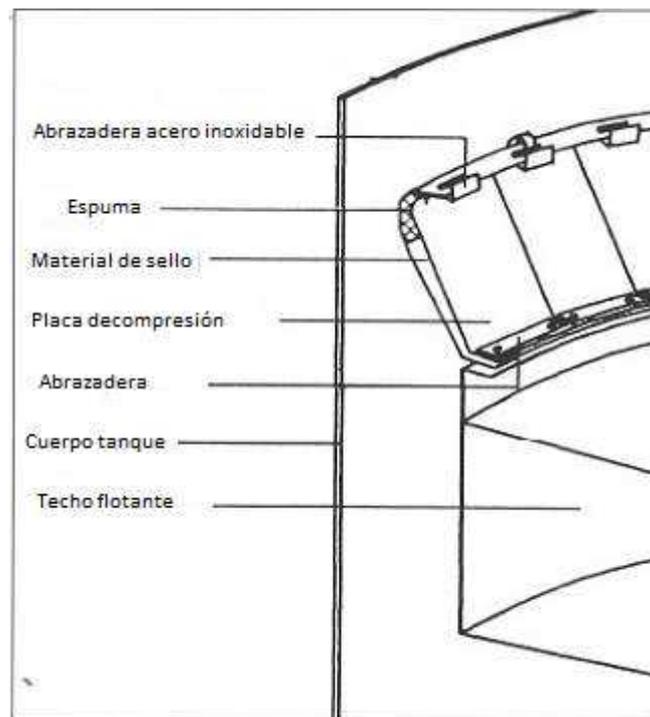


Figura 3. 39 Sellos secundarios

3.16 PATAS DE APOYO DE TECHO.

Las patas de soporte del techo son proporcionadas para mantener el techo a una cierta altura para que no interfiera con cualquier dependencia del tanque, tales como entrada y salida del producto almacenado, manholes, mezcladores, sistemas de drenajes etc.

Las patas de apoyo posee un ajuste de altura para proporcionar una posición baja de operación y una posición alta para limpieza o mantenimiento de cierto sector del techo.

Los apoyos se deben diseñar para soportar el peso del techo con una carga viva uniforme de 1,2 KN, (25 lbf/ft²)⁶⁸, Sin tomar en cuenta la carga de lluvia por lo que es importante asegurarse que se drene toda el agua acumulada antes de aterrizar el techo completamente.

El esfuerzo de compresión en cada pata de apoyo se comprueba con la tensión admisible según AISC estándar con la relación de esbeltez.

Se muestra que las tensiones reales de todas las patas son menores que la tensión admisible por tanto demostrando que el número de pre-seleccionado y el tamaño de las patas de apoyo son suficientes.

3.17 SISTEMA DE VENTILACION.⁶⁹

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 vacié 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.

3.17.1 FUNCIONAMIENTO PURGA DE VENTILACIÓN.

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.

⁶⁸ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Part C.3.10.1. pag C-4

⁶⁹ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Part C.3.9. pag C-4

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.

El funcionamiento de la ventilación de purga automático puede explicarse por las Figura 3. 40 y

Figura 3. 41 para el vaciado, y las Figura 3. 42 y Figura 3. 43 para el llenado del tanque.

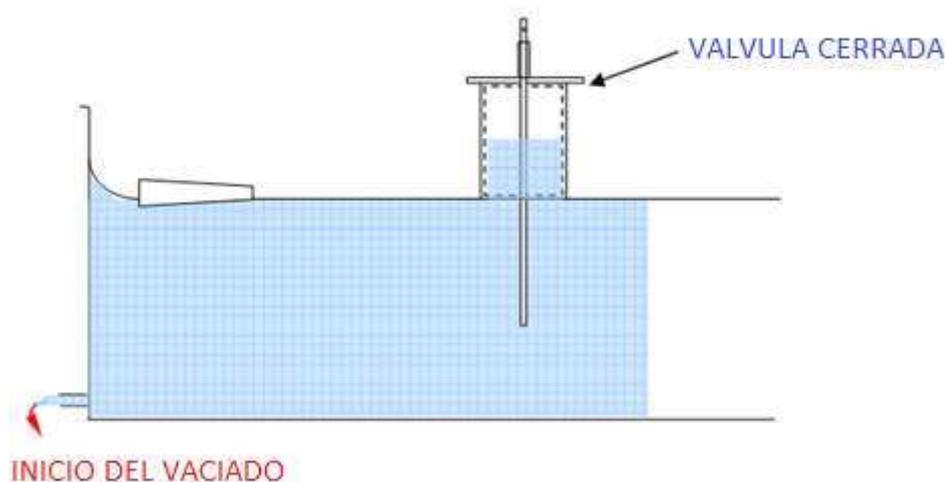


Figura 3. 40 Ventilación de purga al inicio del vaciado

En el caso de vaciado, el techo está flotando en 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 toca en el fondo del tanque antes de las patas de soporte llegue al fondo, empujando la válvula, esta se abre dejando que el aire fluya libremente, ventilando el espacio debajo de la cubierta.

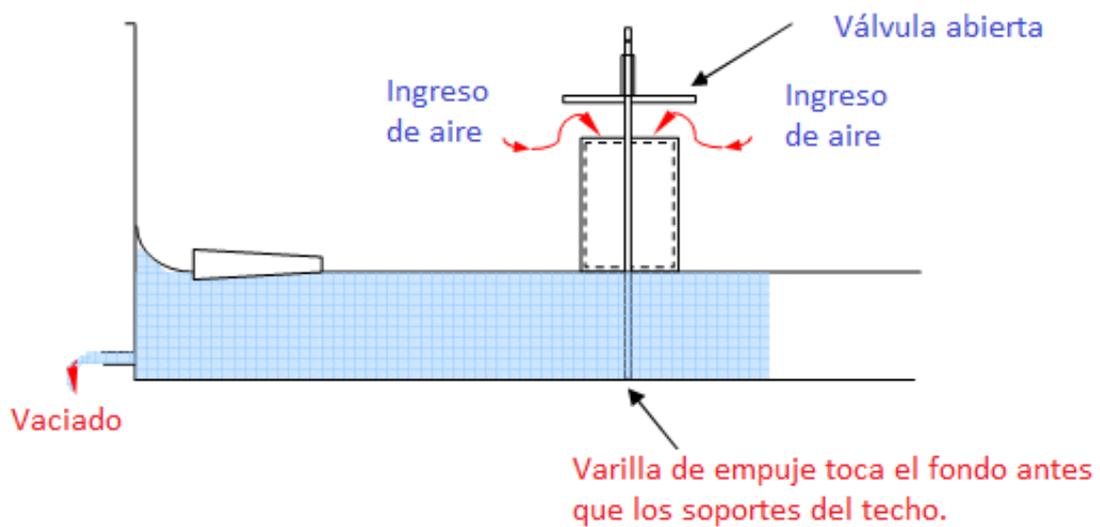


Figura 3. 41 Ventilación de purga durante el final del vaciado.

En el caso de llenado, el techo está descansando sobre las patas de soporte y la válvula de purga abierta. 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 y el techo empieza a flotar con el producto.

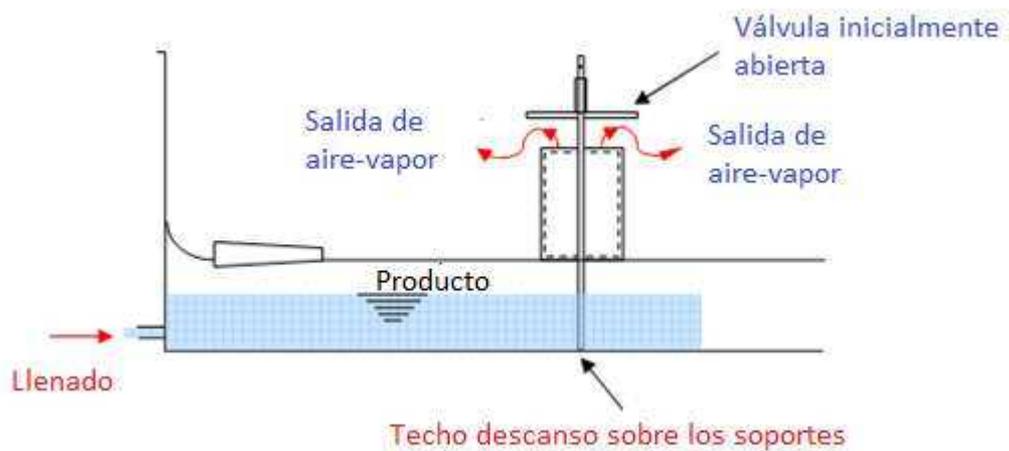


Figura 3. 42 Ventilación de purga al inicio del llenado

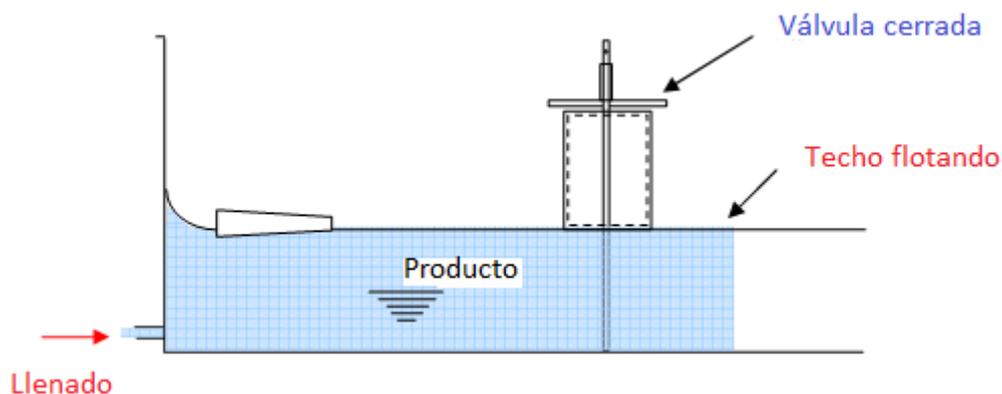


Figura 3. 43 Ventilación de purga al final del llenado

3.18 DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACION.

El sistema de ventilación se diseñara 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 [API 2000, 1998].

Datos de diseño para la ventilación.

Capacidad nominal = 100.000 bls, 16000 m³

Punto de inflamación = 67° C

Diseño de tasa de llenado, $V_i = 320 \text{ m}^3/\text{h}$

Diseño de tasa de vaciado, $V_o = 875 \text{ m}^3/\text{h}$

Los valores de diseño de tasa de llenado y vaciado son proporcionados debido a la experiencia del área de ingeniería de TESCA INGENIERIA DEL ECUADOR.

La capacidad de ventilación, tanto para el vaciado (ventilación de vacío) y el llenado (ventilación de presión) tiene que ser determinada según API 2000 (1998) 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

3.18.1 VENTILACION DE VACIO (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.⁷⁰

Caudal de aire libre para el movimiento del líquido

$$V_{v1} = \frac{V_o}{15,9} * 15,86 \quad \text{Ec.3. 59}$$

La ventilación térmica no se considera para un techo flotante, por lo tanto:

Tasa de aire por ventilación térmica, $V_{v2} = 0 \text{ m}^3/\text{h}$

El flujo de vacío total será :

$$V_V = V_{V1} + V_{V2} \quad \text{Ec.3. 60}$$

3.18.2 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.⁷¹

Caudal de aire libre para el movimiento de aire líquido.

$$V_{P1} = \frac{V_i}{15,9} * 17 \quad \text{Ec.3. 61}$$

La ventilación térmica no se considera para un techo flotante, por lo tanto:

Tasa de aire por ventilación térmica, $V_{P2} = 0 \text{ m}^3/\text{h}$

El flujo de la presión requerida será:

$$V_P = V_{P1} + V_{P2} \quad \text{Ec.3. 62}$$

⁷⁰ API Standard 2000, 5 Edition April 1998, Table 2A. Pag. 5

⁷¹ API Standard 2000, 5 Edition April 1998, Tabla 2B. Pag. 5

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

$$Q = K * A * \sqrt{2 * g * H} \quad \text{Ec.3. 63}$$

Donde:

H = Altura de descarga.

$$H = \frac{\Delta P}{\gamma} ; \quad \frac{\Delta P = \text{Diferencia de presiones}}{\gamma = \text{Peso específico del aire.}} \quad \text{Ec.3. 64}$$

g = Gravedad, 9,81 m/s²

A = Área de ventilación.

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

Despejando el área (A) de la ecuación Ec.3. 63 se tiene.

$$A = \frac{Q}{K} * \sqrt{\frac{\gamma}{2 * g * \Delta P}} \quad \text{Ec.3. 65}$$

Un tamaño de ventilación de 8 " fue pre-seleccionado⁷² y el área disponible de la sección transversal es de 32429,3mm².

Por tanto, el número mínimo de ventilación de purga necesaria para el tamaño de pre-seleccionado se determinan como:

$$N_{vent} = \frac{A_{v_req}}{A_v} \quad \text{Ec.3. 66}$$

Donde:

A_{v_req} = Área de ventilación requerida

A_v = Área de ventilación preseleccionada.

⁷² <http://www.mycheme.com/technicaldata/standard-pipe-sizes.html>

En el caso de que el número mínimo sea de 1 se podrán instalar 2 ventilaciones en caso de que un dejara de operar o tenga un mal funcionamiento esto se decidirá en la ingeniería de detalle.

3.19 SISTEMA DE DRENAJE DEL TECHO.

El sistema de drenaje del techo flotante que se va a instalar servirá para drenar eficazmente el agua lluvia desde el techo flotante, sin causar el ingreso de agua y la contaminación al producto contenido.

La precipitación acumulada en la superficie del techo flotante, se drenará al colector central que se establece en el punto más bajo de la cubierta del techo, parte central.

El sumidero se drena a través de una tubería cerrada que opera con el tanque. Hay una válvula check montada a la entrada del colector de aceite, el objetivo es evitar que el producto se inunde en caso de fallo del sistema. El tubo de drenaje tiene que ser desmontable para fines de mantenimiento, si es necesario.

Debido a que el techo flotante se mueve a través de la altura del producto es necesario que el drenaje sea flexible para acomodarse con el movimiento, ver Figura 3. 44, la cual indica el movimiento del techo flotante.

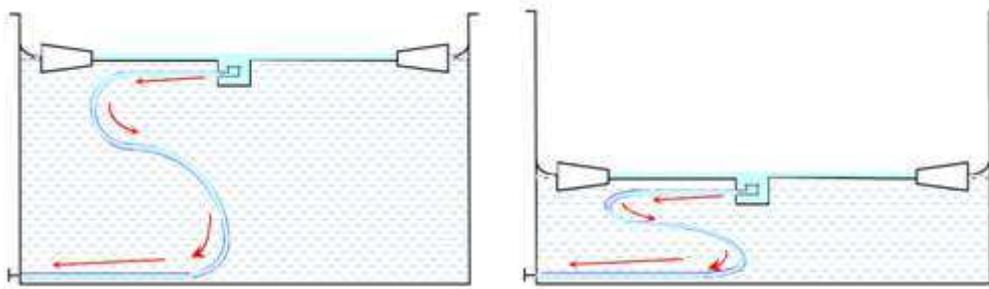


Figura 3. 44 Posiciones drenaje de techo

Hay varios sistemas de drenaje disponibles, tales como el Sistema de Tuberías articulado, flexible, blindado, helicoidal o el sistema de tuberías.

Manguera de goma están estrictamente prohibidos para ser utilizados en tanques de petróleo o sus derivados.

Los dos sistemas comúnmente utilizados en las industrias petroleras son el sistema de tuberías articulados y sistema de tubería flexible para drenaje de tuberías. Por tanto, estos dos sistemas se seleccionaron para el estudio evaluando sus ventajas y desventajas.

3.19.1 SISTEMA DE TUBERÍA ARTICULADA.

Este sistema de drenaje utiliza tubería de acero con una serie de articulaciones giratorias que permiten el movimiento así como también una tubería flexible en las uniones.

También requiere de cadenas, grilletes, y pasadores dentro del tanque, la Figura 3. 45. Indica el típico ensamble de un sistema de tubería articulada.

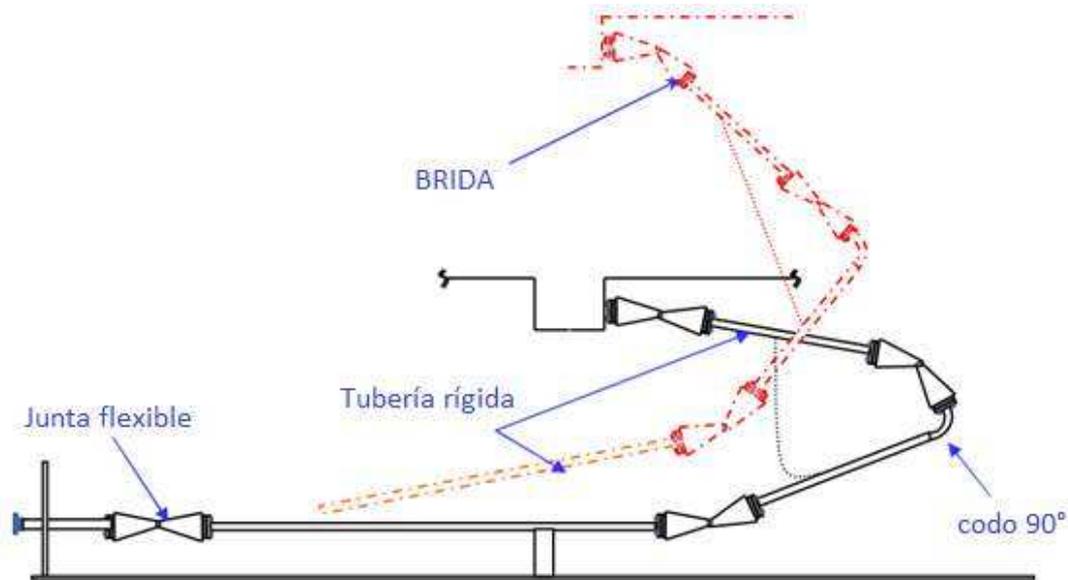


Figura 3. 45 Ensamble de tubería articulada

3.19.1.1 Ventajas.⁷³

- Se requiere mínimo trabajo de soldadura para la instalación del sistema
- No se necesita de tubería en la parte inferior del techo flotante
- No se requiere tubería adicional de soporte en la parte de inferior del techo externo flotante
- No se necesita guía de operación

⁷³ <http://www.focatanques.com/cms/Default.asp?Page=11>

- No existe la necesidad de medir la ubicación de las patas de soporte y otras componentes internos antes del diseño
- Campo mínimo de montaje para su almacenamiento e instalación
- No almacena sedimentos ya que siempre mantiene una inclinación.
- Resistente en operación con alta presión
- No sufre de aplastamiento o golpes que lo destruyan
- No hay contacto con el fondo u otros elementos del tanque evitando fricción, daños o desgaste
- Su instalación se realiza en la posición de reparación del tanque por lo que no produce ningún daño o interferencia al tanque

3.19.1.2 Desventajas.

- El peso del sistema puede estresar y distorsionar la plancha de la cubierta del techo flotante.
- Puede causar fuerzas horizontales en el techo que puede conducir a desgaste de la junta del techo.
- En la posición más baja existe un codo de 90° por lo que pudiera acumular material extraño bloqueando el drenaje.
- Las juntas no son de fácil acceso por lo que dificultaría el mantenimiento.

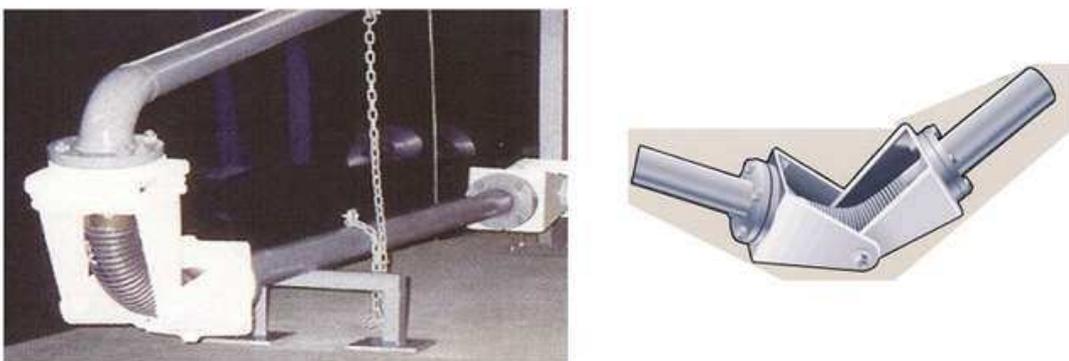


Figura 3. 46 Esquema típico de tubería articulada.

3.19.2 SISTEMA DE TUBERÍA FLEXIBLE.

El sistema de drenaje flexible consistirá únicamente un solo tubo continuo que se expande y se contrae con la subida y la bajada del techo flotante. De longitud completa del tubo es flexible y uniforme sin ninguna articulación. La Figura 3. 47 Esquema típico tubería flexible muestra la disposición típica del sistema de drenaje flexible en el interior del tanque de techo flotante

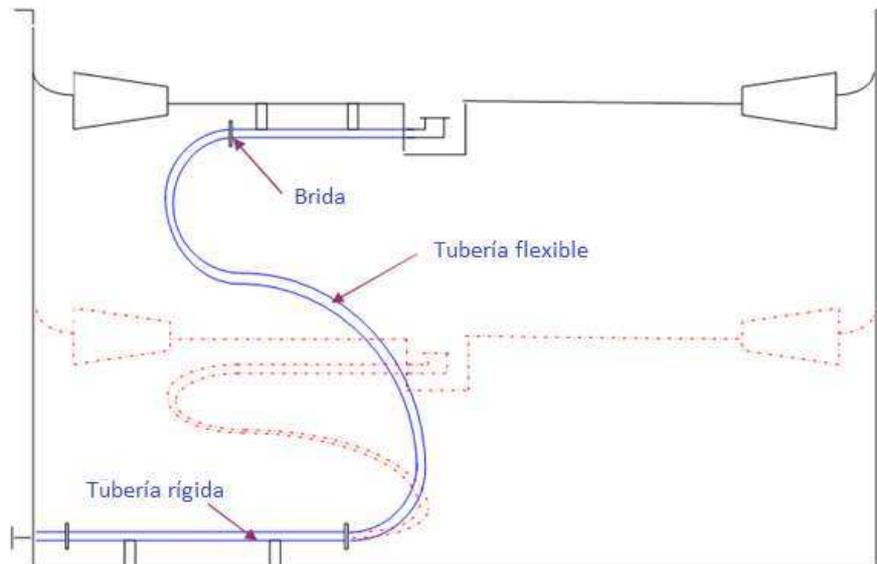


Figura 3. 47 Esquema típico tubería flexible

3.19.2.1 Ventajas.

- No hay juntas en toda la longitud de la tubería flexible
- resistente al 100% de aromáticos (como Benceno, Tolueno, Xileno etc.)
- Capaz de resistir bajas temperaturas.
- Tubería continua, evitando así que se obstruya el drenaje
- instalación rápida y fácil.
- El tubo flexible es considerablemente mucho más ligero.
- El arreglo es mucho más simple.
- Menor costo de instalación y mano de obra.

3.19.2.2 Desventajas.

- Alto costo de la manguera flexible.
- Puede remorderse con las patas que soportan el techo flotante en la posición más baja.

- No existe reparaciones para la manguera si ocurriera un fallo.
- El costo de los accesorios es alto.

3.19.3 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE.

Después de analizar las ventajas y desventajas de los 2 diferentes tipos drenaje, se ha llegado a concluir que el mejor sistema para tanques grandes es el sistema de tubería articulada por lo que se asegura un buen funcionamiento.

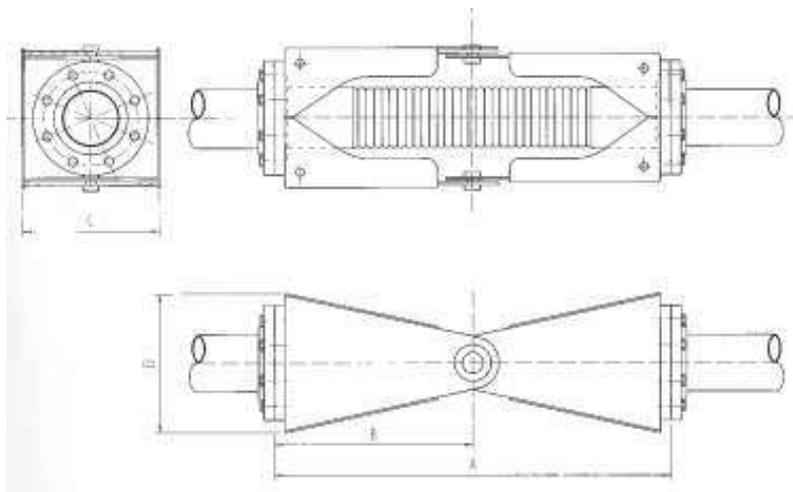


Figura 3. 48 Detalle junta articulada

3.19.4 DISEÑO TUBERÍA DE DRENAJE.

Para el diseño de la tubería de drenaje es necesario conocer la cantidad de lluvia promedio en mm. Por lo que se basara en estudios realizados por el instituto nacional de metrología e hidrología (INAMHI).

La precipitación máxima en el lapso de 24 horas fue de 87.0 mm. En Pastaza EL MAYOR REGISTRADO EN LA ZONA ORIENTAL, pero para efectos de cálculo se tomar en 50 mm/h como precipitaciones promedio en el Ecuador.⁷⁴

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

⁷⁴ http://www.inamhi.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=203:anuario-hidrologico-2009&catid=45:anuarios&Itemid=84

diámetro de tubería para que después de los cálculos pertinentes se acepte o rechace el diámetro seleccionado.

Según se conoce por experiencia en construcción de otros tanques similares se preselecciona un tubo de 4" cédula 40.

El tubo de drenaje del techo se basa en la ecuación general de flujo $Q = A \cdot V$.

Los datos de diseño de drenaje se han establecido como:

- Precipitaciones de diseño RH: 50 mm/h
- Diseño requerido de drenaje: RH* Área del deck.
- Tubería de drenaje = 4" cedula 40 (Diámetro exterior = 114.3 mm. Espesor = 6.02 mm)⁷⁵
- Diámetro interno tubería de drenaje = 102.26 mm.
- Altura más baja del techo flotante = 2000 mm.
- Altura de salida de drenaje = 250 mm.

La ecuación de carga total es:

$$H = h + \frac{v^2}{2 * g} \quad \text{Ec.3. 67}^{76}$$

Perdidas en la tubería:

$$h = \frac{v^2}{2 * g} \left[\frac{K_1 L'_1}{d} + \frac{K_2 L'_2}{d} \right] \quad \text{Ec.3. 68}^{77}$$

Remplazando se obtiene:

$$H = \frac{v^2}{2 * g} \left[\frac{K_1 L'_1}{d} + \frac{K_2 L'_2}{d} + 1 \right] \quad \text{Ec.3. 69}$$

La velocidad de flujo se puede determinar:

⁷⁵ http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca_codigo=3801

⁷⁶ <http://www.slideshare.net/jesusfbf/flujo-tuberias-cap-3-y-4>

⁷⁷ <http://www.slideshare.net/jesusfbf/flujo-tuberias-cap-3-y-4>

$$V = \sqrt{\frac{2 * g * H}{\left[\frac{K_1 L'_1}{d} + \frac{K_2 L'_2}{d} + 1 \right]}}$$
Ec.3. 70

Donde:

K= coeficiente de flujo.

- Tubería rígida , $K_1 = 0,0168$
- Tubería Flexible, $K_2 = 0,03$

L'= Longitud equivalente total de tubería.⁷⁸

También es necesario conocer el número de accesorios que se utilizaran como codos, válvulas, etc.

Esto se definirá en la ingeniería de detalle y se recurrirá a la tabla de longitudes equivalentes de tubería (Ver ANEXO 10).

El número mínimo de drenajes requeridos es determinado por:

$$N_{req} = \frac{\text{Caudal requerido}}{\text{Caudal tubo de drenaje}}$$
Ec.3. 71

3.20 Sistema contra incendios y pantalla de contención 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 flotantes por lo general se da debido a la fuga de gases por el sello, la principal causa de incendio en los techos flotantes 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 flotantes.

⁷⁸ http://www.redproteger.com.ar/long_equivalente.htm

CAPITULO 4

INGENIERÍA DE DETALLE.

4.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo, tomando en cuenta los parámetros de diseños establecidos en el capítulo anterior, se elaborara la ingeniería de detalle.

Primeramente se comenzara 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 realizara el cálculo de sismo y viento para garantizar un buen diseño.

También se detallaran 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 tales como el SAP 2000 y el AutoCAD, combinados con el desarrollo del cálculo manual, con el fin de esquematizar un proceso de cálculo y diseño eficiente y veraz.

4.2 DISEÑO DEL CUERPO DEL TANQUE.

Para el diseño del cuerpo se basará en el método de un pie como se había especificado en el capítulo 3, por lo que se recurrirá a las Ecuaciones Ec.3. 1, Ec.3. 2.

Tabla 4. 1 Características del tanque

RESUMEN CARACTERISTICAS TANQUE		
Diámetro:	120 pies	36.576 metros
Altura:	56 pies	17.07 metros
Numero de anillos:	7	7
Capacidad:	112,800 barriles	

EL material a usar será acero ASTM A36

Tabla 4. 2 Características acero ASTM A36⁷⁹

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

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

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

Cálculo del espesor de diseño para el primer anillo.

$$t_d = \frac{4.9 * 36,576 * (16,459 - 0.3) * 1.0}{160} + 1,58$$

$$t_d = 19,68 \text{ mm.}$$

Cálculo del espesor para prueba hidrostática para el primer anillo.

$$t_t = \frac{4.9 * 36,576 * (16,459 - 0.3)}{171}$$

$$t_t = 16,94 \text{ mm.}$$

Según los pasos detallados en el capítulo 3 se pueden calcular los espesores correspondientes a cada anillo del tanque.

⁷⁹ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2, tabla 5-2a. pag 5-12

De lo que resulta:

Tabla 4. 3 Espesores resultantes para el cuerpo del tanque.

Acero A36; Sd= 23.000 Psi, St= 24.900 Psi.									
G=1.0									
Anillo N°	Ancho planchas	altura de anillos	altura de anillos	Espesores de diseño Td		Espesores prueba hidrostática Tt		Espesor usado*	
1	96	56,00	17,07	0,81	20,54	0,69	17,50	13/16	22
2	96	48,00	14,63	0,70	17,78	0,59	14,96	11/16	18
3	96	40,00	12,19	0,59	15,03	0,49	12,41	9/16	15
4	96	32,00	9,75	0,48	12,27	0,39	9,87	1/2	13
5	96	24,00	7,32	0,37	9,51	0,29	7,32	3/8	10
6	96	16,00	4,88	0,27	6,76	0,19	4,77	5/16	8
7	96	8,00	2,44	0,16	4,00	0,09	2,23	5/16	8
	pulg.	pies	metros	pulg.	mm.	pulg.	mm.	pulg.	mm.
*Espesor comercial.									

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

4.3 DISEÑO FONDO DEL TANQUE Y FONDO ANULAR.

Tabla 4. 4 Diseño fondo del tanque y fondo anular

DISEÑO PLANCHAS FONDO.					
Espesor mínimo dado por API 650 Part. 5.4.1	=	6	mm.	1/4	in
Espesor por corrosión.	=	3	mm.	1/8	in
Por lo tanto ESPESOR A USAR	=	9	mm.	3/8	in Satisface
DISEÑO PLANCHA ANULAR.					
Espesor nominal del primer anillo cuerpo, Tsc1	=	20,64	mm.	0,81	in
Esfuerzo de prueba hidrostática en el primer anillo. $S_t = \frac{4.9 * Dn * (H - 0.3)}{Tsc1}$	=	129,71	N/mm ² .	18812,85	Psi
Donde:					
Dn= Diámetro nominal del tanque.	=	36,57	m.	120	pies
H= Altura del liquido	=	15,24	m.	50	pies
Tsc1= Espesor nominal para el primer anillo	=	20,64	mm.	0,81	in
DISEÑO FONDO ANULAR.					
Espesor plancha anular. API 650 tabla 5-1a	=	6	mm	1/4	in
Espesor por corrosión.	=	3	mm	1/8	in
Por lo tanto ESPESOR A USAR (ta)	=	9	mm	3/8	in Satisface
DISEÑO FONDO DEL TANQUE.					
Espesor mínimo de soldadura fondo cuerpo API 650 Part. 5.1.5.7	=	13	mm.	1/2	in
Ancho mínimo desde el interior del tanque hasta el traslape API 650 Part.5.5.2	=	600	mm.	24	in
Ancho mínima radial del plancha anular. API 650 Part. 5.5.2					
$La = \frac{215 * ta}{(H * G)^{0.5}}$	=	495,6653	mm.	19,51	in. Se toma 600 mm.
ta= Espesor de plancha anular	=	9	mm.	1/3	in
H= Altura del liquido	=	15,13	m.	50	in.
G= Gravedad especifica del liquido.	=	1		1	

4.4 DISEÑO VIGA DE RIGIDEZ.

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 ecuación Ec.3. 5 La cual proporcionará el módulo de sección requerida para posteriormente seleccionar la forma y dimensiones de la viga.

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

Z= Modulo de sección mínima requerida, cm³

D= 36,57 m.

H₁= 17,1 m.

V=140 KPH (con una ráfaga de 3 seg.), Valor de referencia.⁸⁰

$$Z = \frac{36,57^2 * 17,1}{17} \left(\frac{140}{190} \right)^2$$

$$Z = 730,38 \text{ cm}^3$$

Con el valor de sección mínima requerida se procede a dimensionar la viga de rigidez.

La viga será colocada a 1000 mm. por debajo del borde superior del tanque, esto ayudara que sirva de plataforma para que se pueda transitar alrededor del tanque. Un anillo de refuerzo o cualquier porción del mismo que se especifica como una pasarela tendrá un ancho mínimo de 710 mm (28 pulgadas) libre de las

⁸⁰ <http://www.inamhi.gov.ec/boletinesprensa/abril/bprensa50.pdf>

proyecciones, incluyendo el ángulo en la parte superior del tanque. El espacio libre alrededor de las proyecciones locales no podrá ser inferior a 610 mm (24 pulg.), a menos que el tanque está cubierto con un techo fijo, el anillo de refuerzo (utilizado como una pasarela) se situará 1100 mm (42 pulgadas) por debajo de la parte superior del tanque y estará provisto de una baranda estándar.⁸¹

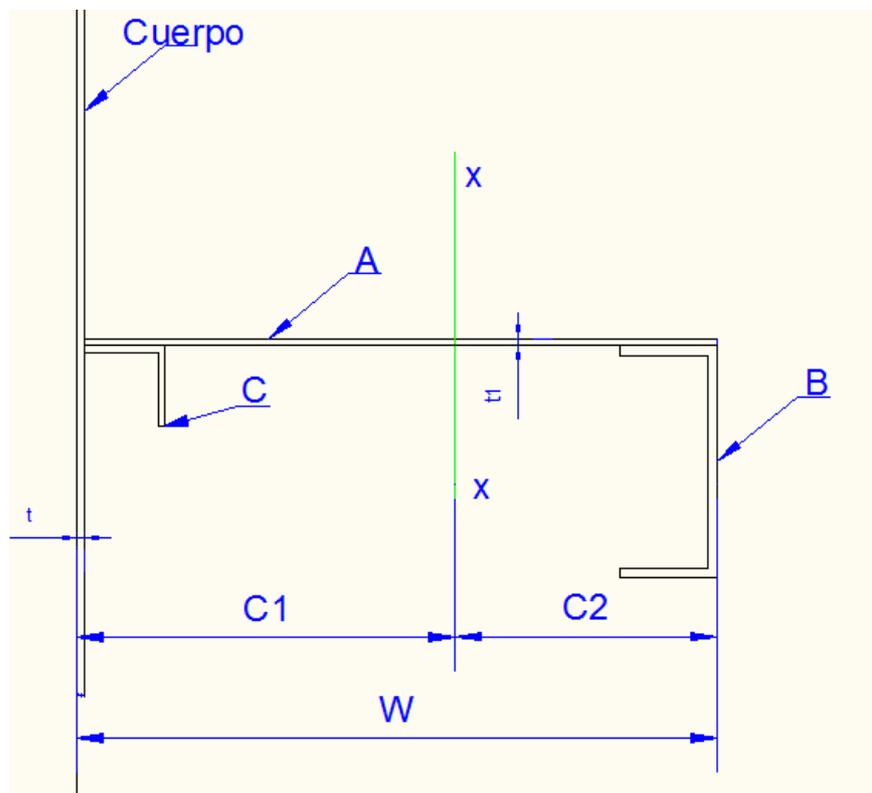


Figura 4. 1 Esquema viga de rigidez.

Según la normativa API 650 la pasarela será de un metro ($W = 1000$ mm.), se utilizara un perfil tipo C UPN 120, y un ángulo de 3X3X1/4 in

De lo que se obtiene:

$W = 1000$ mm.

$t = 8$ mm

$t1 = 6.35$ mm

Para el elemento A.

⁸¹ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Part. 5.9.4, pag 5-61.

Utilizando el paquete informático AUTOCAD, se calculó los momentos de inercia y diferentes parámetros a utilizar. (ver anexo 11).

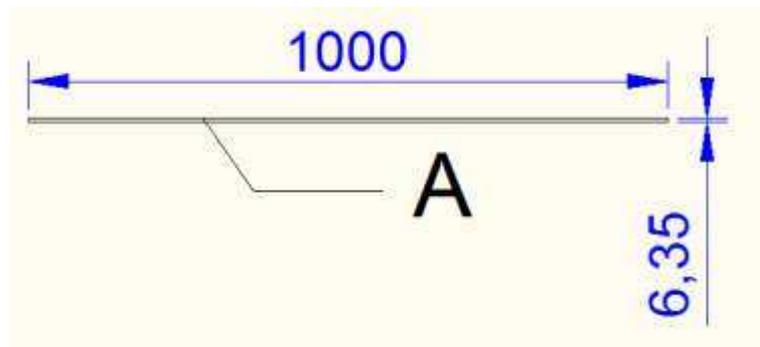


Figura 4. 2 Elemento A viga de rigidez.

Tabla 4. 5 Propiedades elemento A

Elemento A		
Área =	6350	mm ²
y =	500	mm
A*y =	3175000	mm ³
I _{xx} =	529166667	mm ⁴

Donde:

A= área del elemento.

y = centriode.

I_{xx} = Momento de inercia respecto al eje x

Para el elemento B

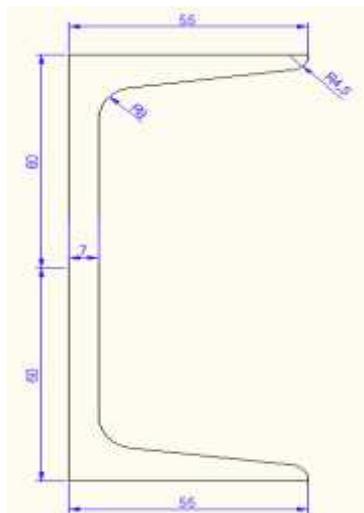


Figura 4. 3 Elemento B viga de rigidez

Tabla 4. 6 Propiedades elemento B

Elemento B		
Área =	1543,33	mm ²
y =	997,5	mm
A*y =	1539471,68	mm ³
I _{xx} =	330493,97	mm ⁴

Para el elemento C

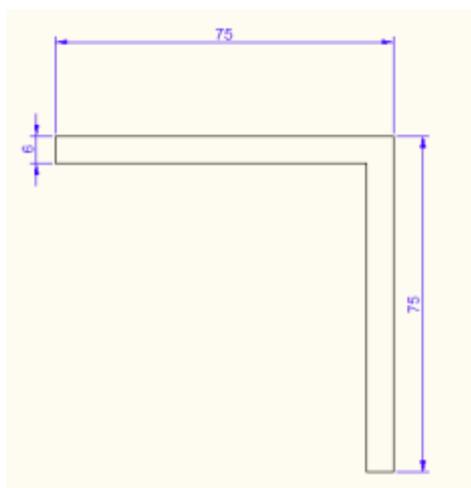


Figura 4. 4 Elemento C viga de rigidez

Tabla 4. 7 Propiedades elemento C

Elemento C		
Área =	864	mm ²
y =	53,6	mm
A*y =	46310,4	mm ³
I _{xx} =	747792	mm ⁴

Tabla 4. 8 Cálculo centros de inercia.

$\Sigma A*y =$	4760782,08	mm ³
$\Sigma A =$	8757,33	mm ²
$\Sigma I_{xx} =$	530244953	mm ⁴

Cálculo de distancias C1 y C2 (ver Figura 4. 1)

$$C1 = \frac{\Sigma A * y}{\Sigma A} = 543,6 \text{ mm}$$

$$C2 = W - C1$$

$$C2 = 456,4 \text{ mm}$$

Módulo de sección.

$$\text{Módulo de sección} = \frac{\Sigma I_{xx}}{\max(C1, C2)} = 975371,264 \text{ mm}^3$$

El modulo de sección requerido es de $Z = 730,38 \text{ cm}^3$ y el que se obtiene de del diseño es de $975,37 \text{ cm}^3$ por lo que la viga dimensionada cumple con los requisitos.

4.5 VIGA INTERMEDIA DE VIENTO.

Para el diseño de la viga intermedia de viento se recurre a verificar la altura máxima que tiene el cuerpo del tanque sin que se rigidice (ver Ec. 3.6).

$$H_1 = 600,000 * t * \sqrt{\left(\frac{t}{D}\right)^3 * \left(\frac{120}{V}\right)^2}$$

$$H_1 = 600,000 * \left(\frac{5}{16}\right) \sqrt{\left(\frac{5/16}{120}\right)^3 * \left(\frac{120}{87}\right)^2}$$

$$H_1 = 47,40 \text{ ft}$$

Con la altura H_1 , se procede a calcular la altura de un cuerpo equivalente, donde todos los anillos tengan el mismo espesor del último anillo.

La altura de cuerpo equivalente es un método que transforma la altura original del tanque a una altura H_1 en la cual todos los anillos del tanque poseen el mismo

espesor, este método ayuda a verificar si la altura del tanque necesita ser rigidizada.

Para esto se basara en la siguiente fórmula (ver Ec. 3.7):

$$W_{tr} = W * \sqrt{\left(\frac{t_{uniform}}{t_{actual}}\right)^5}$$

$$W_{tr} = 8 * \sqrt{\left(\frac{5/16}{13/16}\right)^5}$$

$$W_{tr} = 0,73 \text{ ft}$$

La suma de todas las alturas de los anillos equivalentes es la altura del tanque equivalente.

$$\sum W_{tr} = H_{equiva.}$$

Tabla 4. 9 Cálculo de la envolvente transformada.

Calculo de la envolvente transformada				
Anillo	Altura anillo (ft)	Espesor anillo	Altura transformada(ft)	Altura equivalente He (ft)
1	8	13/16	Htr1= 0,73	27,23
2	8	11/16	Htr2= 1,11	
3	8	9/16	Htr3= 1,84	
4	8	1/2	Htr4= 2,47	
5	8	3/8	Htr5= 5,07	
6	8	5/16	Htr6= 8,00	
7	8	5/16	Htr7= 8,00	

La altura equivalente encontrada He es 27,23 ft. Y $H_1 = 47,4$ ft.

Por lo que $He < H_1$.⁸²

He = Altura equivalente.

H_1 = Altura máxima sin rigidizar

No es necesario rigidizar el tanque.

⁸² API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Part. 5.9.7.3, pag 5-68.

4.6 CÁLCULO CARGAS DE VIENTO.

Primero se establecerán los parámetros que se va a emplear en los cálculos para luego seguir el procedimiento explicado en el capítulo 3, Literal 3.10

Los cálculos y procedimientos son especificados en la normativa API 650 parte 5.2.1.k.

4.6.1 DATOS CARGA DE VIENTO.

Tabla 4. 10 Datos carga de viento.

Presión interna de diseño, Pi	=	0	N/mm ²
Espesor de aislamiento, ti	=	0	mm.
Diámetro nominal del tanque, D	=	36576	mm.
Altura total del tanque, Hs	=	17069	mm.
Angulo de techo, β	=	0	°
Altura techo, Hr	=	0	mm.
Altura desde el fondo al centro del cuerpo, Ls	=	8534,4	mm.
Altura desde el fondo al centro del techo, Lr	=	36576	mm.
Mínima profundidad del producto, Hw	=	0	mm.
Peso del tanque, Wt	=	284260	Kg.
Peso del producto, Ww	=	0	Kg.
Peso del cuerpo + Angulo de tope, WDL	=	203488,7	Kg.
	=	1996224,25	N

4.6.2 FUERZA DEL VIENTO SOBRE EL CUERPO DEL TANQUE.

La velocidad de viento será de 190 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.

Tabla 4. 11 Cargas por fuerza del viento.

Según API 650 part. 5.2.1 k. presiones de viento.			
Presión de viento para superficies cónicas, wr	=	0,0014369	N/mm ²
Presión de viento para superficies cilíndricas, ws	=	0,0008621	N/mm ²
Factor de corrección de viento, kw	=	1	
Área proyectada del techo, Ar , ($=0,5*k*Do*Hr$)	=	0	mm ²
Área proyectada del cuerpo, As , ($=k*Do*Hs$)	=	627606058	mm ²
Carga total de viento en el techo, Fr , ($=wr*kw*Ar$)	=	0	N
Carga total de viento en el cuerpo, Fs , ($=ws*kw*As$)	=	541059,182	N
Momento total de carga de viento, Mw , ($=Fr*Lr+Fs*Ls$)	=	4617615486	Nmm.

4.6.3 CÁLCULO DEL MOMENTO AL VOLTEO POR CARGA DE VIENTO.

Para determinar si el tanque es estructuralmente estable se deben cumplir con los requisitos determinados por las ecuaciones Ec.3. 9, Ec.3. 10. Detalladas en el capítulo 3.

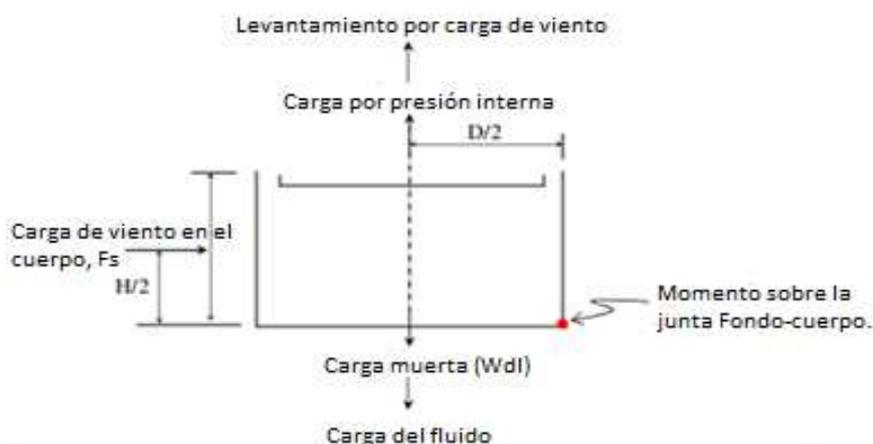


Figura 4. 5 Momento al volteo por carga de viento.

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

$$0.6 * M_w + M_{pi} < \frac{M_{DL}}{1.5} \quad \text{Criterio 1}$$

Ec. 3.9

$$M_w + 0.4 * M_{pi} < \frac{M_{DL} + M_F}{2} \quad \text{Criterio 2}$$

Ec. 3.10

4.6.3.1 Determinación de los parámetros a utilizar.

Tabla 4. 12 Parámetros de carga de viento.

<p>M_{pi} = Momento sobre la junta fondo–cuerpo por presión interna.</p> $M_{pi} = \left(\frac{1}{4} \pi * D^2 * P_i \right) * \frac{1}{2} D$	=	0	Nmm
<p>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>			
<p>M_w = Momento de vuelco sobre la junta fondo–cuerpo mas la presión de la carga de viento.</p> $M_w = F_r * L_r + F_s * L_s \quad (\text{Ver Ec, 3.11})$	=	4617615486	Nmm
<p>M_{DL} = Momento sobre la junta fondo cuerpo por peso del cuerpo y techo</p> $0,5 * D * W_{DL}$	=	36506949029	Nmm

$M_F = \text{Momento sobre la junta fondo-cuerpo debido al peso del liquido almacenado}$ $M_F = \left(\frac{w_a * \pi * D}{1000} \right) * \frac{D}{2}$	=	68876219813	Nmm
Donde:			
$W_a = \text{Peso del líquido por anillo} = 59 * t_b * \sqrt{F_{by} * H}$	=	32776,1	N/m
H = Altura de diseño del liquido	=	15,24	m
tb= espesor plancha anular	=	9	mm
Fby = Esfuerzo a la fluencia de la plancha anular	=	250	N/mm ²

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 las ecuaciones Ec.3. 9 y Ec.3. 10.

- **CRITERIO 1**

$$0.6 * M_w + M_{pi} < \frac{M_{DL}}{1.5}$$

Tabla 4. 13 Resultado para el criterio 1

$0.6 * M_w + M_{pi}$	=	2.770.569.292	Nmm
$\frac{M_{DL}}{1.5}$	=	24.337.966.020	Nmm
$0.6 * M_w + M_{pi} < \frac{M_{DL}}{1.5}$	=	VERDADERO	

- **CRITERIO 2**

$$M_w + 0.4 * M_{pi} < \frac{M_{DL} + M_F}{2}$$

Tabla 4. 14 Resultado para el criterio 2

$M_w + 0.4 * M_{pi}$	=	4617615486	Nmm
$\frac{M_{DL} + M_F}{2}$	=	52691584421	Nmm
$M_w + 0.4 * M_{pi} < \frac{M_{DL} + M_F}{2}$	=	VERDADERO	

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

4.7 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.

4.7.1 DATOS CARGA DE SISMO.

Tabla 4. 15 Datos carga de sismo.

Aceleración sísmica pico en la tierra, S_p	=	0,23			
Factor de importancia, I	=	1,5			
Clase de sitio	=	C			
Grupo sísmico SUG.	=	III			
Diámetro nominal del tanque, D .	=	120	ft	36596,4216	mm
Altura total del tanque H_t	=	56	ft	17068,8	mm
Altura del fondo al centro de gravedad del tanque, X_s	=	28	ft	8534,4	mm
Altura máxima de nivel del liquido, H	=	50	ft	15240	mm
Altura del fondo al centro de gravedad del techo, X_r	=	0	ft	0	mm
Gravedad específica del liquido, G .	=	1			
Peso total del cuerpo del tanque, W_s	=	203488,71	Kg	1996224,25	N
Peso total del techo, W_r	=	0	Kg	0	N
Peso total del liquido almacenado, W_p	=	17934340	Kg	175935875	N
Peso total del fondo del tanque, W_f	=	80771,23	Kg	792365,8	N

4.7.2 DISEÑO DE RESPUESTAS DE ACELERACIONES ESPECTRALES.

Parámetro de aceleración espectral impulsiva, A_i		
$A_i = 2.5 * Q * F_a * S_o * \frac{I}{R_{wi}}$	=	0,21023438
Parámetro de aceleración espectral convectivo, A_c Para T _c > T _L		
$A_c = 2.5 * K * Q * F_a * S_o * \left(\frac{T_s}{T_c}\right) \left(\frac{I}{R_{wc}}\right)$	=	0,0217048
Donde:		
Q = Factor de escala	=	1
K= Coeficiente para ajustar la amortiguación del espectro	=	1,5
F _a = Coeficiente de aceleración de sitio base	=	1,17
F _v = Coeficiente de velocidad de sitio base	=	1,5125
S _o = Sustitución de la aceleración sísmica máxima del suelo.	=	0,23
R _{wi} = Coeficiente de modificación para fuerza impulsiva	=	4
R _{wc} = Coeficiente de modificación para fuerza convectiva	=	2
T _L = Periodo de transición de dependencias regionales	=	4 s
T _c = Periodo convectivo (chapoteo).	=	6,33 s
T _s = F _v *S ₁ /F _a *S _s	=	0,646

4.7.3 PERÍODO CONVECTIVO (CHAPOTEO), T_c

$T_c = K_s * \sqrt{D}$	=	6,5	s
Donde:			
$K_s = \frac{0.578}{\sqrt{\tanh\left(\frac{3.68 * H}{D}\right)}}$	=	0,6	
K _s = Coeficiente de periodo de chapoteo			

4.7.4 ESTABILIDAD CONTRA EL VUELCO POR CARGA SÍSMICA.

Tabla 4. 16 Cálculo de peso efectivo impulsivo y convectivo.

Peso efectivo del producto, W_p			
Peso efectivo impulsivo, W_i			
$\frac{D}{H} \geq 1.333$			
$W_i = \frac{\tanh\left(0.866 * \frac{D}{H}\right)}{0.866 * \frac{D}{H}} * W_p$	=	90283525,62	N
$\frac{D}{H} < 1.333$			
$W_i = \left[1.0 - 0.218 * \frac{D}{H}\right] * W_p$	=	NA	
D/H = 2,1428 La relación D/H resulta mayor que 1.333.			
Peso efectivo convectivo, W_c			
$W_c = 0.230 * \frac{D}{H} * \tanh\left(\frac{3.67 * H}{D}\right) * W_p$	=	86711227,27	N

4.7.5 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:

$$D/H = 2,1428$$

La relación D/H resulta mayor que 1.333.

Si:

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

$$X_i = 0.375 * H$$

$$X_i = 21 \text{ ft. } \text{ó} \text{ } 6400 \text{ mm.}$$

D= diámetro tanque.

H= altura tanque.

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:

$$X_c = \left[1.0 - \frac{\cosh\left(\frac{3.67 * H}{D}\right) - 1}{\frac{3.67 * H}{D} * \sinh\left(\frac{3.67 * H}{D}\right)} \right] * H$$

$$X_c = 33.29 \text{ ft, ó } 10148.6 \text{ mm.}$$

4.7.6 ESTABILIDAD AL VUELCO.

Tabla 4. 17 Cálculo del momento en la base del tanque.

$M_{rw} = \sqrt{[A_i(W_i * X_i + W_s * X_s + W_r * X_r)]^2 + [A_c(W_c * X_c)]^2}$	=	1,80762E+11	Nmm
		1,80762E+08	Nm.

4.7.7 FUERZA DE CORTE EN LA BASE.

Tabla 4. 18 Cálculo Fuerza de corte en la base (V)

$V = \sqrt{V_i^2 + V_c^2}$	=	19657262,27	N
Donde:			
$V_i = A_i * (W_s + W_r + W_f + W_i)$	=	19566958,07	N
$V_c = A_c * W_c$	=	1882049,931	N

4.7.8 RESISTENCIA AL VUELCO.

Tabla 4. 19 Datos espesor plancha anular y anchura radial

Espeor plancha anular, ta	=	1/3	in	9	mm.
Espeor Primer anillo, ts	=	13/16	in	21	mm.
Ancho plancha anular, Ls	=	26,7	in.	680	mm.
Esfuerzo a la fluencia plancha anular, Fy	=	36000	psi	250	Mpa.
Esfuerzo a la fluencia primer anillo cuerpo, Fty	=	36000	psi	250	Mpa.

4.7.9 RELACIÓN DE ANCLAJE.

Tabla 4. 20 Cálculo relación de anclaje

$J = \frac{M_{rw}}{D^2[wt * (1 - 0.4 Av) + wa - 0.4w_{int}]}$	=	3,32E+03	J > 1,54 el tanque no es estable por lo que debe ser anclado mecánicamente.
---	---	-----------------	---

Donde:

Av = Coeficiente de aceleración vertical para terremotos	=	0,7	
wt = Peso del cuerpo del tanque y el techo soportado en el cuerpo y se define por			
$wt = \frac{W_s}{\pi * D} + w_{rs}$	=	17,36	N/mm.
wrs= 0 ; Por ser techo flotante, el techo no influye como carga para el cuerpo			
wa = Fuerza de resistencia del anillo viene dado por: $wa = 99 * ta * \sqrt{Fy * H * Ge} \leq 201.1 * H * D * Ge$	=	1475728,42	N/m
Wa tiene que cumplir la siguiente condición:			
$201.1 * H * D * Ge$	=	80754764722,92	N/m
$Ge = G * (1 - 0.4 * Av)$ G=1; Gravedad especifica	=	0,72	

Se puede comprobar que la relación $wa = 99 * ta * \sqrt{Fy * H * Ge} \leq 201.1 * H * D * Ge$ cumple con las condiciones dadas por lo que se puede utilizar la relación de anclaje (J) detallada en la Tabla 4. 20

4.7.10 COMPRESIÓN EN EL CUERPO.

Para tanques anclados mecánicamente, la máxima compresión longitudinal (σ_c) viene dado por:

Tabla 4. 21 Cálculo compresión longitudinal

$\sigma_c = \left(w_t(1 + 0.4 A_v) + \frac{1.273 * M_{rw}}{D^2} \right) * \frac{1}{1000 * t_s}$	=	4,074805123	N/mm.
--	---	--------------------	--------------

4.7.10.1 Esfuerzo permisible máximo de compresión en el cuerpo.

Tabla 4. 22 Esfuerzo permisible en el cuerpo.

$\frac{G * H * D^2}{t s^2}$ D en m.	=	51837,21307	m ³ /mm ²
$\frac{G * H * D^2}{t^2} \geq 44 \rightarrow F_c = \frac{83 * t s}{D}$	=	47,62760739	N/mm²
$F_c < 0.5 F_{ty}$	=	125	Si cumple

De la Tabla 4. 22 se comprueba que el esfuerzo permisible en el cuerpo del tanque no supera el esfuerzo de fluencia en el primer anillo.

$$F_c < 0.5 F_{ty}$$

Por lo que el tanque es estructuralmente estable.

4.7.11 ALTURA LIBRE DE CHAPOTEO.

Tabla 4. 23 Altura requerida por chapoteo

$\delta_s = 0,5 * D * A_f$	=	1190,8 mm.	Altura requerida
Para el presente diseño se tiene que $T_c > T_L$ Debido a que se tiene un grupo sísmico SUG III Por lo que se usará.			
Para $T_c > T_L$ $A_f = 2.5 * K * Q * F_a * S_o * \left(\frac{T_s * T_l}{T_c^2}\right)$	=	0,065077379	
$S_{DS} = Q * F_a * S_s$	=	0,67275	
Para $S_{DS} > 0,33g$ Según API 650 tabla E-7 y para SUG III, La altura mínima requerida será la calculada en E 7.2-1.			

4.7.12 ANCLAJE DEL TANQUE.

Para determinar el número de pernos de anclaje se recurre a la parte 5.12.3 pag.5-78. El espacio entre pernos de anclaje no debe exceder 3 m. (10 ft)

Tabla 4. 24 Datos geométricos anclaje.

Número de pernos de anclaje, N	=	38	
Diámetro pernos de anclaje, da	=	50	mm
Sección transversal	=	1963,5	mm²
Espacio entre los pernos de anclaje	=	963,1	mm

Tabla 4. 25 Materiales y propiedades geométricas de anclaje.

Material a usar	=	ASTM 193M	
Esfuerzo mínimo a la fluencia, Sy	=	723,94	N/mm²
Esfuerzo permisible a la tensión, St , (8,0*Sy)(Tabla 5-21 ^a API 650)	=	579,152	N/mm²

Tabla 4. 26 Resistencia mínima de anclaje.

$w_{AB} = \left(\frac{1,273 * M_{rw}}{D^2} - w_t * (1 - 0,4 * A_v) \right) + w_{int}$	=	159,3126537	N/mm
Resistencia mínima de anclaje = $W_{ab} * D * \pi$	=	18316342,96	N

Donde:

Mrw = Momento al volteo por sismo	=	1,80762E+11	Nmm.
Dc = diámetro nominal del tanque	=	36596,4216	mm.
wt = Peso del tanque y techo sobre las base del cuerpo	=	17,36284273	N/mm
Av = coeficiente de aceleración vertical por terremoto	=	0,7	
W_{int} = Fuerza de empuje por presión interna	=	0	N/mm

La fuerza de empuje por presión interna (W_{int}) tiene un valor de 0, debido a que no se ejerce empuje sobre el techo ya que es flotante.

Tabla 4. 27 Resistencia mínima de anclaje.

$\sigma_b = \frac{W_{AB}}{N * A_b}$	=	245,5	N/mm²
-------------------------------------	---	--------------	-------------------------

Debido a que el esfuerzo a la tracción es menor que el esfuerzo permisible. El perno de anclaje seleccionado es **SATISFACTORIO**.

4.8 DISEÑO TECHO FLOTANTE.

Tabla 4. 28 Datos preliminares techo flotante.

Diámetro Nominal =	36,596	m.
Altura =	17,068	m.
Servicio =	Petróleo	
G.E =	0,8	
Espesor Mín. Techo =	0,1875	in
	4,7625	mm
Condición de Diseño :API 650 - (techo para mínimo espacio de vapor)		

4.8.1 DIÁMETRO DEL TECHO.

El anillo exterior debe ajustarse según las características del sello. El espacio requerido para la colocación y operación del sello es aproximadamente 200 – 250 mm.

Para el siguiente caso se tomara 200 mm. Por lo tanto el diámetro del techo será:

D= 36.196 m

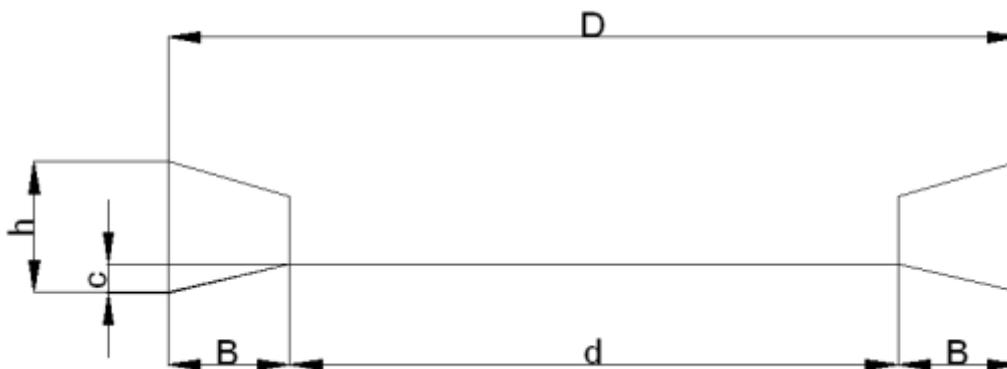


Figura 4. 6 Esquema techo flotante.

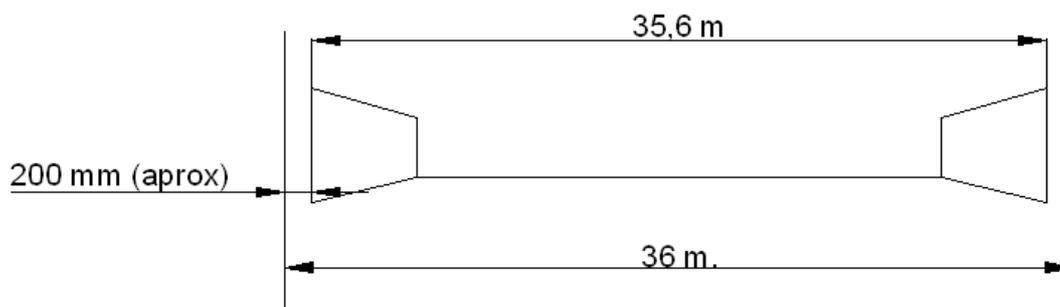


Figura 4. 7 Medidas aproximadas techo flotante.

4.8.2 CÁLCULO DE PESOS DEL TECHO.

4.8.2.1 Cálculo del peso del techo

Pantalla de Contención de Espuma.		
Espesor :	0,1875	inch
Ancho :	610	mm

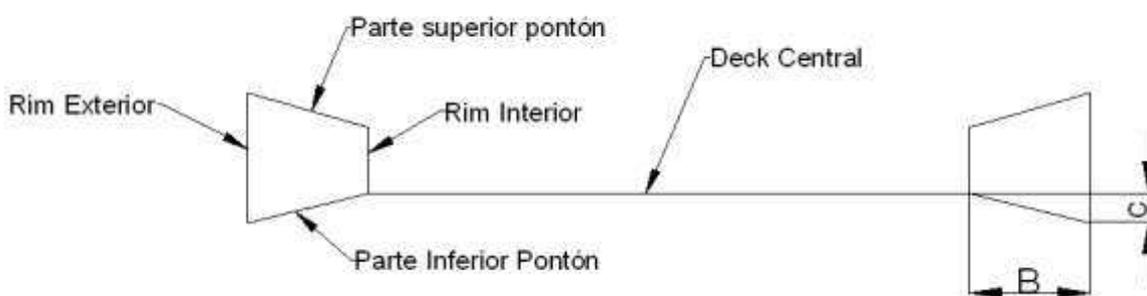


Figura 4. 8 Partes techo flotante.

Tabla 4. 29 Peso aproximado sello.

SELLO		
Peso Aproximado :	10	kg/m
Longitud :	113	m.
Total :	1130	kg

4.8.2.2 Bocas de visita.

Para el presente diseño se estimara 20 pontones en el techo este valor es preliminar más adelante se detallaran el número exacto de pontones y sus dimensiones.

Estimado :	21	Bocas de Visita
1 por cada compartimiento del pontón.		
Más 1 boca de visita adyacente al drenaje.		

Para proceder con el diseño del techo flotante se empieza asumiendo el valor del ancho del pontón con el cual luego de un proceso iterativo se podrá verificar si el asumido es o no el adecuado

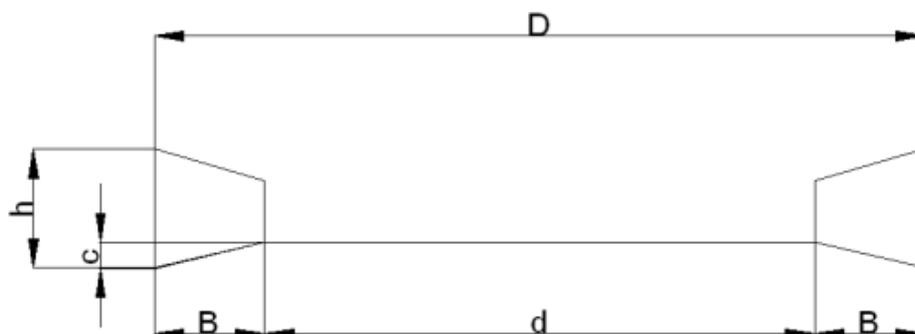


Figura 4. 9 Esquema techo flotante.

Asumiendo.

$$B = 3 \text{ m.}$$

Este valor se asume debido a la experiencia vista en el área de diseño de TESCA INGENIERIA DEL ECUADOR.

Para calcular el peso de cualquier estructura metálica se toma:

$$\text{Peso de la estructura} = \text{Volumen de la estructura} * \text{densidad del acero}$$

4.8.2.3 Peso deck central.

Tabla 4. 30 Peso deck central.

P_{deckcent} :	Peso del Deck Central en Kg.	
Espesor :	0,1875	in.
	4,76	mm.
P_{deckcent} :	26773	Kg.

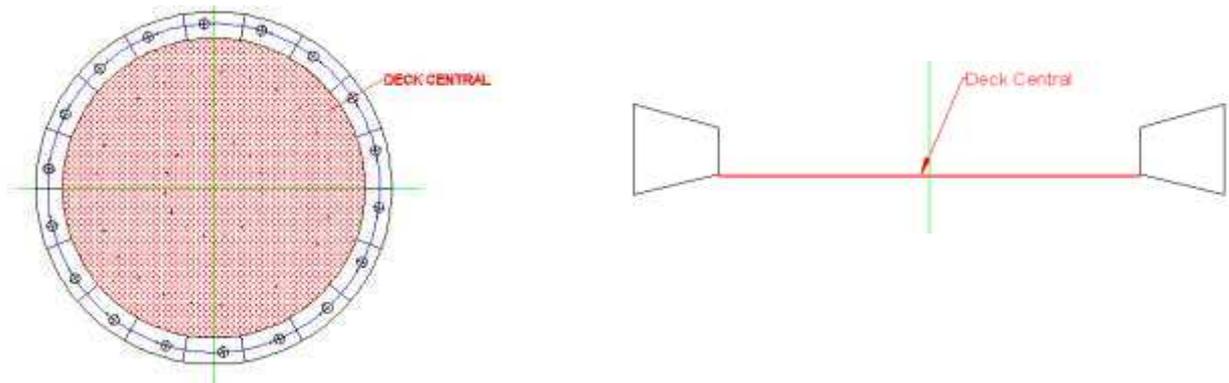


Figura 4. 10 Esquema deck central

4.8.2.4 Peso pontón

Para el cálculo del peso del pontón se ha dividido en partes, esto ayudará a un mejor desarrollo del cálculo debido a que se esquematizara de tal manera que ayude a comprender los pasos que se toman para el cálculo de los pesos para el pontón.

Las partes constitutivas del pontón están detalladas en la

Figura 4. 11

El pontón será dividido en:

- J. Anillo exterior.
- K. Anillo interior.
- L. Parte superior pontón.
- M. Parte inferior pontón.
- N. Mamparos o divisiones

A continuación se detallan los pesos hallados para cada parte del pontón.

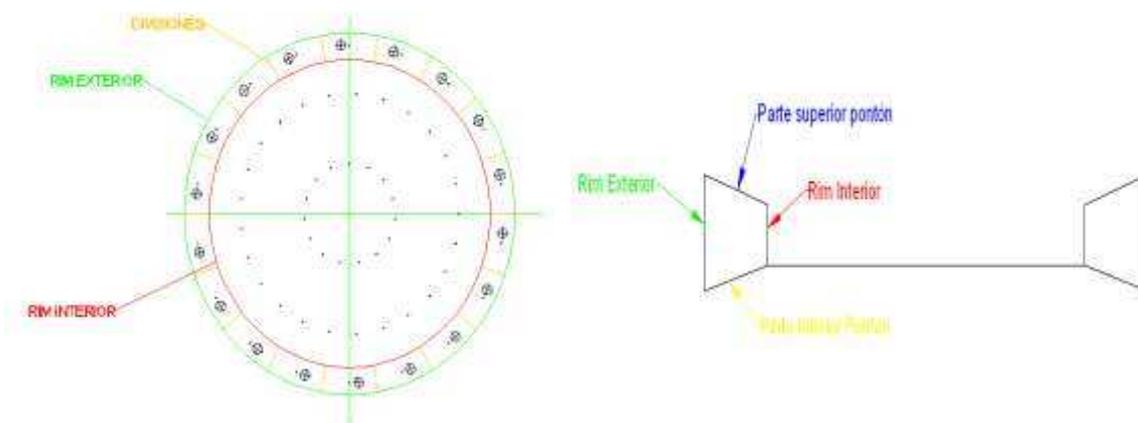


Figura 4. 11 Esquema Pontón

- **Peso anillo exterior.**

Sea A_1 ancho del anillo exterior, para efectos de diseño se tomara la altura de 1m para garantizar la flotabilidad esto debido a las experiencias del área de ingeniería de TESCA INGENIERIA DEL ECUADOR. Este valor será aceptado o rechazado más adelante mediante un proceso iterativo que se desarrollara, pero para cuestiones prácticas de cálculo se tomara 1 metro.

Tabla 4. 31 Peso anillo exterior.

$A_1 =$	1	m.
Espesor :	0,1875	in.
	4,76	mm.
$P_{rimext} =$	Peso del anillo exterior en Kg	
	4.251	Kg.

- **Peso anillo interior.**

Sea A_2 el ancho del anillo interior y para efectos de diseño se tomara una altura de 0,5 m.

Tabla 4. 32 Peso anillo exterior.

$A_2 =$	0,50	m.
Espesor :	0,1875	in
	4,76	mm
$P_{rimint} =$	Peso del anillo interior en Kg.	
	1.773	kg

- **Peso parte superior pontón.**

Tabla 4. 33 Peso superior pontón.

$P_{suppont} =$	Peso parte superior pontón en kg.	
Espesor :	0,1875	inch
	4,76	mm
	33,20	
$P_{suppont} =$	11.892	kgs

- **Peso parte inferior pontón.**

Tabla 4. 34 Peso inferior pontón.

$P_{infpont} =$	Peso parte inferior pontón en kg.	
Espesor :	0,1875	inch
	4,76	mm
	33,20	
$P_{infpont} =$	12.476	Kg

- **Peso mamparos o divisiones.**

Tabla 4. 35 Peso divisiones.

#Compartimientos	20	Divisiones
Estimado:		
Peso Estimado :	84,12	kgs
Peso Total :	1.682	kgs

- **Peso pantalla de contención de espuma.**

Tabla 4. 36 Peso divisiones

P_{pant} :	Peso pantalla contención de espuma en kgs.	
$L_{despant}$:	Longitud desarrollo pantalla en mts.	
	109,95	m.
P_{pant} :	2.507	kg

Continuación se sumarán los pesos calculados con relación al techo si accesorios.

Tabla 4. 37 Peso techo sin accesorios.

$P_{sa} =$	61.355	kg
------------------------------	---------------	-----------

4.8.2.5 Peso aproximado accesorios del techo.⁸³

Las patas del techo son preseleccionadas a una medida que se suele usar en los techos flotantes, después de analizar el tamaño preseleccionado se podrá concluir si dichas medidas son o no aceptables, en el caso de que no sean aceptables se tendrá que analizar otras posibilidades que cumplan con los requisitos establecidos en la norma API 650.

⁸³ http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca_codigo=3802

Tabla 4. 38 Peso patas soporte de techo

Tubo :	4	in	Cédula :	80
Peso :	22,31	kg/m		
Long. por soporte :	2,5	m.		
Peso Soporte :	55,775	kg		
# Soportes :	40			
Peso Total :	2.231	kg		

Tabla 4. 39 Peso misceláneos.

Peso Venteos Presión/Vacío :		
Estimado :	100	kg
Pesos Misceláneos :		
Perfiles, Estructuras, Soldadura, Sellos, Pantalla Interperie , etc		
Estimado :	2.500	kg

Tabla 4. 40 Peso total accesorios

Peso Total Accesorios		
Pa =	5.303	kg

Tabla 4. 41 Peso total del techo

PESO TOTAL TECHO :	66.658	kgs
---------------------------	---------------	------------

Los pesos establecidos anteriormente son aproximados, estos pesos ayudaran en los cálculos de las dimensiones del pontón, la flotabilidad del techo según las condiciones especificadas en el capítulo 3 y bajo la norma API 650 Apéndice H.

4.8.3 CÁLCULO DE PESO PARA CONDICION DE AGUA LLUVIA ACUMULADA (10" DE H₂O).

Tabla 4. 42 Cálculo del peso de agua acumulada

Condición API :	10 in H ₂ O	0,25 m. H ₂ O
El volumen total acumulado de agua es :		
V _{TH20} =	179	m ³
P _{H20} =	179.031	Kg

Donde:

V_{TH20} = Volumen en el deck central

P_{H20} = Peso de agua lluvia.

4.8.4 CÁLCULO DEL TAMAÑO DEL PONTÓN.

Para el cálculo del tamaño del pontón se tienen las siguientes premisas:

- El anillo exterior debe ser de tal tamaño que permita la instalación del sello.
- Debe permitir una profundidad de flotación estando el nivel de líquido en contacto con la parte inferior del sello, pero sin que ésta quede por debajo de dicho nivel (en operación normal).
- Si se tiene un sello flexible de poliuretano con envoltura de caucho se requiere un espesor de aproximadamente: 60 cm.

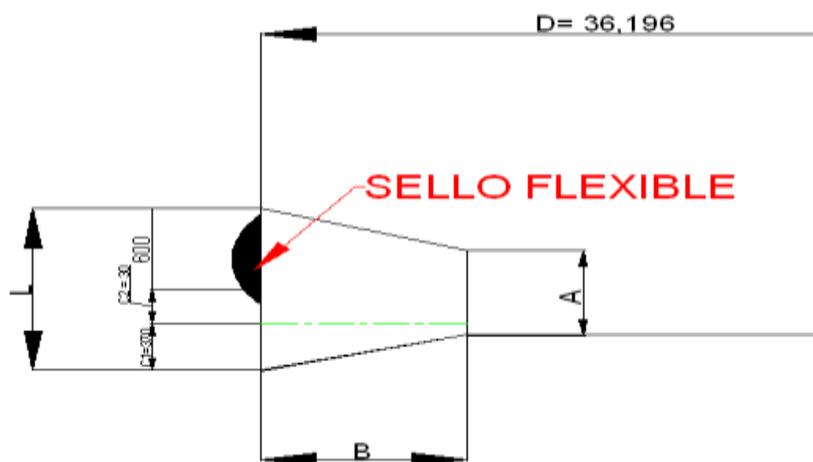


Figura 4. 12 Esquema dimensiones del pontón

El primer paso para determinar las dimensiones del pontón será fijar una profundidad de flotación.

Tabla 4. 43 Profundidad de flotación.

C ₁ =	370	mm	
Fijamos :			
C ₂ =	30	mm	
Tenemos que :			
W =	66.658	kg	Peso del Techo y Accesorios
ρ =	800	kg/m ³	Peso específico del líquido
D =	36,196	m	Diámetro del Techo

Los valores fijados en C1 y C2 son obtenidos por experiencias de diseñadores con estos valores se procederá a variar los valores de B para poder obtener el valor más cercano a C1 elegido.

Esto se realiza mediante la ecuación Ec.3. 48 y mediante el método de prueba y error para varios valores de B se obtiene.

$$C_1 = \frac{2 * \left(\frac{W}{\rho} - C_2 * \frac{\pi * D^2}{4} \right)}{\left[\pi * B^2 * \left(\frac{D}{B} - 1 \right) \right]}$$

Tabla 4. 44 Cálculo de ancho de pontón, (B)

B =	3,00	mts	C ₁ =	0,3353
B =	2,60	mts	C ₁ =	0,3823
B =	2,70	mts	C ₁ =	0,3692

Por lo que se toma un ancho de 2,70 metros debido a que este es el valor que mas se aproxima al valor de C₁ supuesto anteriormente.

Por lo tanto las dimensiones del pontón son:

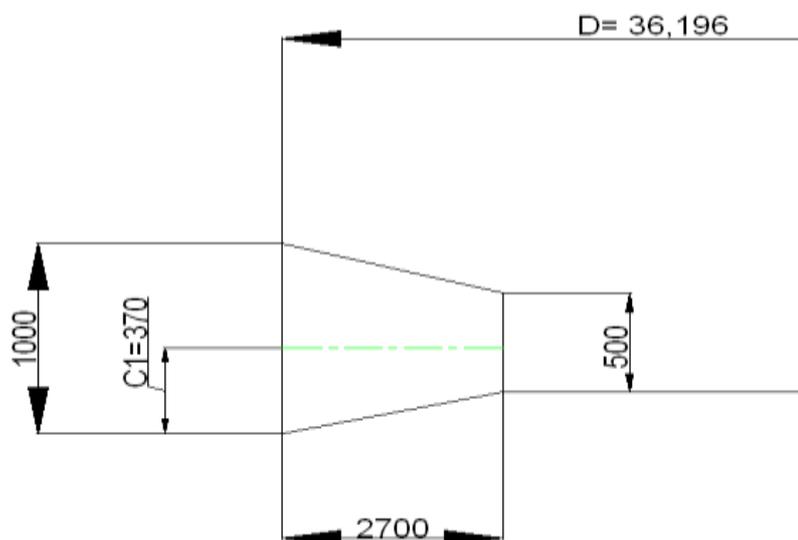


Figura 4. 13 Dimensiones del pontón

Tabla 4. 45 Resumen medidas pontón.

Altura anillo exterior	L	=	1000	mm.
Ancho pontón	B	=	2700	mm.
Altura anillo interior	A	=	500	mm.
Profundidad de flotación	C1	=	370	mm.

De las medidas que se obtuvieron se fija la profundidad definitiva de flotación en 0,40 metros.

4.8.5 CONDICIÓN DE AGUA LLUVIA Y DRENAJE OBSTRUIDO 10'' DE H₂O EN 24 HORAS.

Tabla 4. 46 Carga de lluvia.

10" H ₂ O =	250	kgs/m ²
P =	10 H ₂ O * Área Superior Inundada / Área Inferior del Techo.	
P =	250 kgs/m ² * A ₂ / (A ₁ + A ₂ + A ₃)	

Donde:

P= presión del agua.

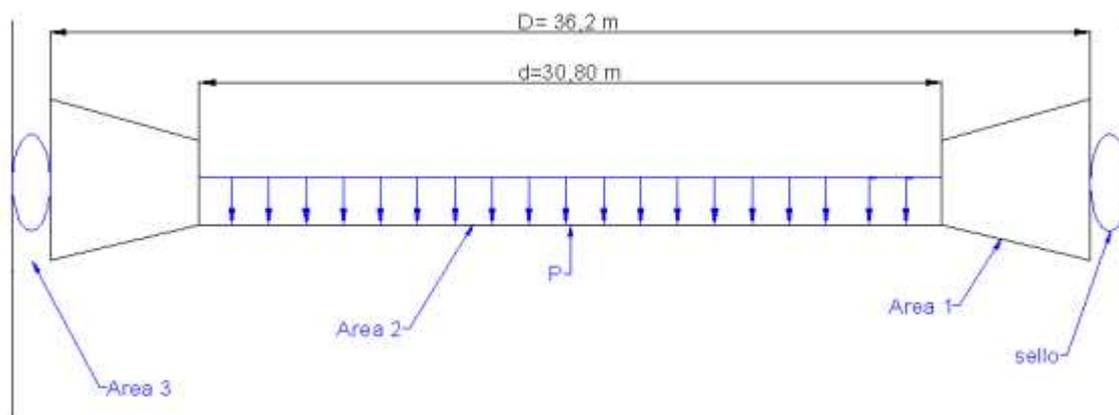


Figura 4. 14 Área de contacto con el líquido.

Tabla 4. 47 Resultado presión del agua.

d =	30,80	mts
A ₂ =	744,87	m ²
A ₁ =	284,12	m ²
A ₃ =	22,87	m ²
P =	177,04	kg/m²

Para un sello de poliuretano con envoltura de caucho y de aproximadamente 20 cms de ancho = 0.20 mts , se tiene una carga lineal de : 35 Kg/m.

4.8.6 DISEÑO DEL TECHO CON LIQUIDO DE GRAVEDAD ESPECIFICA 0,7

Uno de los requisitos que exige la norma API 650 es que el diseño del techo flotante es que pueda flotar en un líquido con gravedad específica 0,7, para lo cual primero se calcula la profundidad de flotación.

Se utiliza el mismo método antes mencionado, la única variante es que los datos que se conocen ahora son:

- Ancho del pontón.
- Gravedad específica.
- Peso.

Por lo que solo queda una incógnita en la ecuación Ec.3. 48 facilitando el cálculo de flotación.

Tabla 4. 48 Datos gravedad especifica

W =	66658 Kg.	Peso del techo mas accesorios
P _{especifico} =	700 Kg/m ³	Peso especifico del líquido.
C2 =	30 mm.	
D =	36196 mm.	Diámetro nominal
B=	2700 mm .	Ancho pontón.

$$C_1 = \frac{2 * \left(\frac{W}{\rho} - C_2 * \frac{\pi * D^2}{4} \right)}{\left[\pi * B^2 * \left(\frac{D}{B} - 1 \right) \right]}$$

Al aplicar la formula de flotación se obtiene.

Tabla 4. 49 Resultado profundidad de flotación para G=0,7

C₁ =	0,453	mts
------------------------	--------------	------------

Como se observa, aumenta la profundidad de flotación, sin embargo no afecta la flotabilidad del techo, ya que no se sobrepasa la altura del pontón antes calculada.

4.8.7 ESTABILIDAD DEL TECHO.

A continuación se comprobará la estabilidad del techo bajo las siguientes condiciones:

1. Estabilidad del techo sometido a movimiento o inclinación por oleaje.
2. Estabilidad del techo bajo condición de dos compartimientos adyacentes perforados.

4.8.7.1 Estabilidad por oleaje.

Esta condición somete al techo a inclinación por oleaje, el cual deberá regresar a su posición inicial (horizontal), una vez haya usado la excitación de movimiento por este concepto.

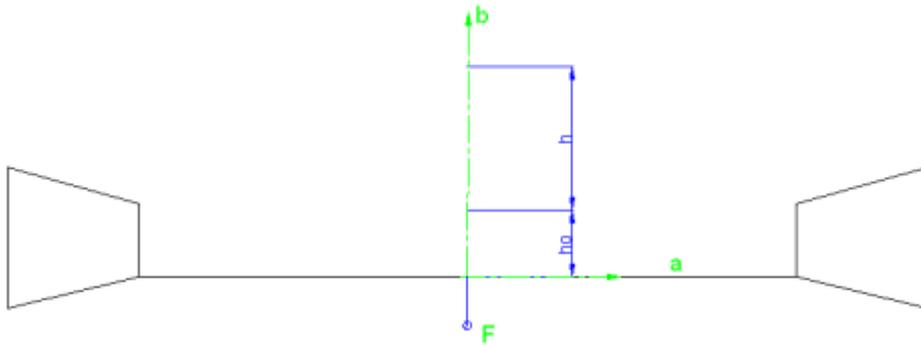


Figura 4. 15 Altura metacentro.

Para que el techo sea estable se establece la siguiente condición:

$$h = \frac{I_z}{V_o - h_o} > 0$$

Donde:

h = Altura metacéntrica (distancia entre el metacentro y el centro de gravedad del techo)

I_z = Momento de inercia alrededor del eje en el cual se tiene la rotación. Igual en todos los sentidos por ser redondo.

$$I_z = \frac{D^4 * \pi}{64} \quad \text{Ec.4. 1}$$

V_o = Volumen desplazado del techo.

$$V_o = V_1 + V_2 \quad \text{Ec.4. 2}$$

$$V_1 = \frac{C_1 * \pi * B^2 * \left(\frac{D}{B} - 1\right)}{2} \quad \text{Ec.4. 3}$$

$$V_2 = \frac{C_2 * \pi * D^2}{4} \quad \text{Ec.4. 4}$$

h_o = Distancia desde el centro de gravedad al centro de flotación del techo.

La condición $h > 0$ garantiza que el techo regrese a la posición después de ser sometido a una excitación externa.

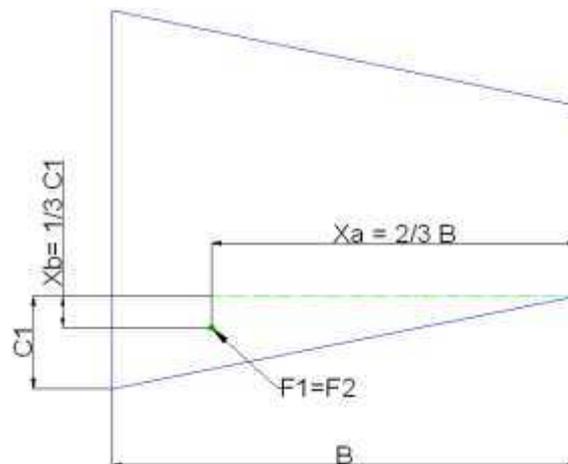
De lo que se obtiene:

Tabla 4. 50 Resultado estabilidad por oleaje

$I_z =$	84.258,21	m^4
$V_1 =$	52,56	m^3
$V_2 =$	30,87	m^3
$V_o =$	$V_1 + V_2$	
$V_o =$	83,43	m^3

Para el cálculo de h_o es necesario conocer los centros de flotación del pontón y el techo en general para esto nos basaremos en la geometría del techo para determinar los centros de flotación, gravedad.

4.8.7.2 Centros de flotación del pontón.



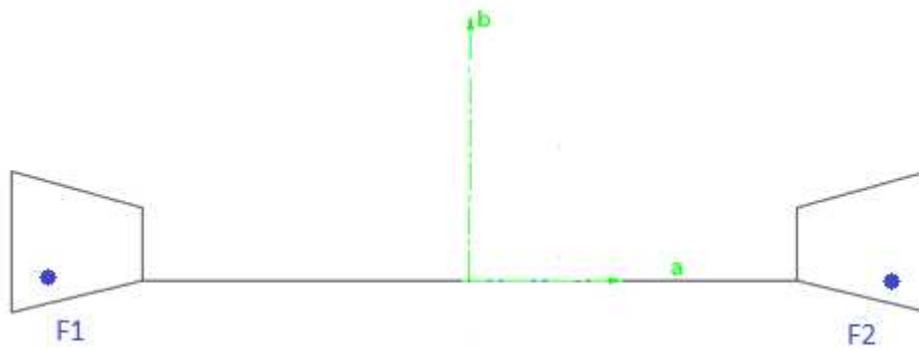


Figura 4. 16 Centro de flotabilidad del pontón.

Según la geometría del pontón y una vez establecido la profundidad de flotación se determina el centro de flotación según la Figura 4. 16. De lo que se obtiene:

$F_1 = F_2$	}	$X_a = 2/3 B$	$X_a =$ 1,80 mts
		$X_b = 1/3 C_1$	$X_b =$ 0,123 mts

Se establece un sistema de coordenadas a, b, para identificar las distancias al los centros de flotación de lo que se obtiene: (ver figura 4.16

$F_1 = F_2$	}	$a =$	\pm	17,20 mts
		$b =$	$-$	0,123 mts

4.8.7.3 Centro de flotación F_d (Área sumergida desde el deck central hacia arriba)

a =	0	mts	Es cero porque no se desplaza horizontalmente
b =	0,015	mts	

La distancia b se toma el espesor de la plancha del deck dividido para dos.

$$b = \frac{C_2}{2}$$

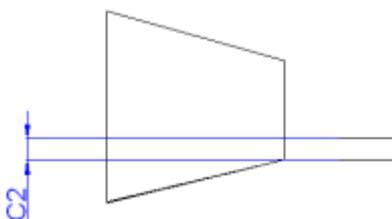


Figura 4. 17 Centro de flotabilidad del deck central.

4.8.7.4 Centro de flotación total, F

Se considera la altura total con respecto al eje b del techo flotante, por lo que se sumara el centro de flotación del deck central mas el centro de flotación del pontón todo en las coordenadas b .

De lo que se obtiene:

h =	0,138	mts
------------	--------------	------------

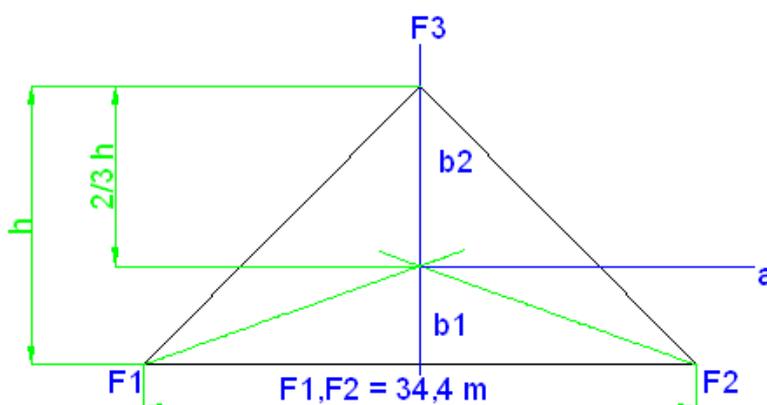


Figura 4. 18 Centro de flotación total.

F =	}	a =	0	mts
		$2/3 h =$	0,092	mts
		b1 =	0,077	mts

4.8.8 CENTRO DE GRAVEDAD G1 Y G2 (PONTÓN).

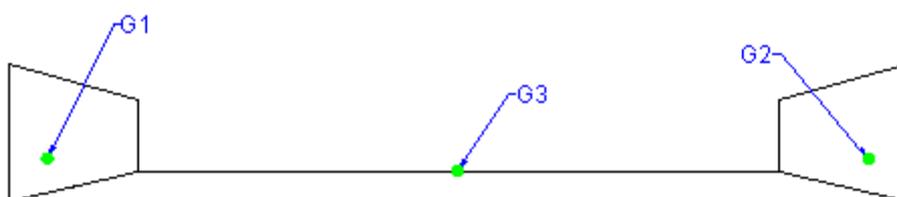


Figura 4. 19 Centro de flotación pontón.

Para determinar el centro de gravedad se toma un eje coordenado como referencia, se descompone en figuras el conjunto las cuales deben conocerse el centro de gravedad.

Una vez determinado el centro de gravedad de cada parte en la que se compone el conjunto se procede a sacar las áreas respectivas.

Con los valores del área y las posiciones del centro de gravedad de los elementos conocidos se utiliza la siguiente formula.

Datos.

(x1,y1) y AreaA1

(x2,y2) y AreaA2

(x3,y3) y Area A3

etc

Centro de gravedad total para el conjunto.

$$X_{cdg(Total)} = (x1 A1 + x2 A2 + x3 A3.....) / (A1+A2 + A3...)$$

$$Y_{cdg(Total)} = (y1 A1 + y2 A2 + y3 A3.....) / (A1+A2 + A3...)$$

4.8.9 CENTRO DE GRAVEDAD DECK CENTRAL.

El centro de gravedad para el deck se lo considera en el punto de origen del sistema de coordenadas debido a que es un disco con un espesor muy pequeño en comparación con su diámetro por lo que el centro de gravedad es:

G3 =	}	a =	0
		b =	0

4.8.10 CENTRO DE GRAVEDAD DEL CONJUNTO G.

Para el centro de gravedad del conjunto es importante reconocer las distancias para determinar el punto donde se encuentra el centro de gravedad G, para ello se hace un análisis en los ejes coordenados establecidos.

Para el eje coordenado a, se entiende que el punto del centro de gravedad se ubica a una distancia de 0 debido a que el techo flotante es simétrico.

Para el eje coordenado b, se debe hallar la distancia a la cual se ubica el centro de gravedad para esto se toman las distancias verticales y se analizan según la Figura 4. 18. De lo que se obtiene.

Centro de Gravedad del Conjunto G	}	a =	0	m
		b₂ =	0,08666667	m

La distancia h_o (Distancia desde el centro de gravedad al centro de flotación del techo.) es determinada mediante la suma algebraica de las distancias verticales del centro de gravedad y el centro de flotación del techo lo que resulta:

$h_o =$	0,164	mts
---------------------------	--------------	------------

Remplazando en la ecuación Ec.3. 51 se obtiene.

$h =$	$(I_0 / V_0) - h_0 > 0$
	1010 > 0

De lo que se concluye que el techo es altamente estable, ya que h es mucho mayor que cero.

4.8.11 ESTABILIDAD DEL TECHO BAJO CONDICIÓN DE DOS COMPARTIMIENTOS ADYACENTES PERFORADOS.

Esta condición es vital en el cálculo de la cantidad de compartimientos necesarios en el techo del tanque, por lo que es necesario hacer una serie de suposiciones para que los cálculos realizados sean los correctos.

Para efectos de cálculo de la cantidad de compartimientos, se limitara la profundidad de flotación en 0,5 metros en la zona de compartimientos perforados a fin de que el sello siga funcionando en condiciones normales.

Esta suposición es importante debido a que la profundidad de flotación no excederá del valor establecido en las peores condiciones, es decir el techo nunca se hundirá más allá de 0,5 metros.

Por lo tanto:

$C_1 + C_2 + \Delta C_1 + \Delta C_2 =$	0,5	mts
---	-----	-----

Donde:

C1 =	0,37	mts
C2 =	0,03	mts
$\Delta C_1 =$	Incremento de profundidad de flotación por volumen adicional que se va a desplazar por efecto de perforación del deck central.	
$\Delta C_2 =$	Incremento de profundidad de flotación en el área de pontones perforados por inclinación del techo debido a éstos.	

De la ecuación Ec.3. 53 se tiene:

$$\Delta C_1 = \frac{d^2 * C_2}{D^2 - d^2}$$

$$\Delta C_1 = 0.079 \text{ m.}$$

De la ecuación Ec.3. 54 se tiene:

$$\Delta C_2 = 50 \text{ cm} - (C_1 + C_2 + \Delta C_1)$$

$$\Delta C_2 = 0.021 \text{ m.}$$

El ángulo de inclinación admisible en el techo será:

$$\theta = \frac{\Delta C_2 * 360}{D * \pi}$$

$$\theta = 0,068^\circ$$

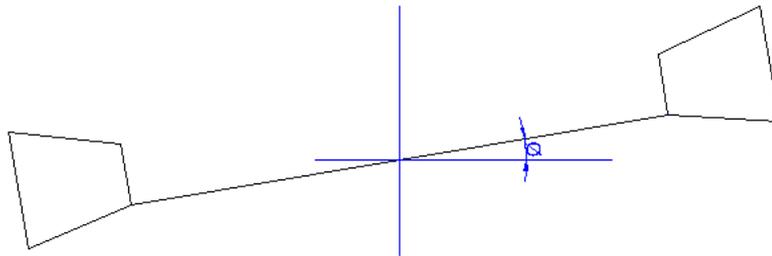


Figura 4. 20 Angulo admisible.

La longitud máxima del compartimiento se da por la ecuación Ec.3. 56

$$I_{max} = \frac{\pi * D * h * \text{sen } \theta}{D - 0,88 * B} + (2 * h * \text{sen } \theta)$$

$$I_{max} = \frac{\pi * 36,2 * 1010 * \text{sen } 0,068}{36,2 - 0,88 * (2,7)} + (2 * 1010 * \text{sen } 0,068)$$

$$I_{max} = 6,40 \text{ metros.}$$

4.9 CANTIDAD DE COMPARTIMIENTOS.

Para el cálculo de la cantidad de compartimientos se tomara la longitud máxima (arco) de cada comportamiento y se la dividirá para el perímetro del tanque.

Se basara en la ecuación:

$$N = \frac{\pi * D}{L_{max}}$$

$$N = \frac{\pi * 36,2}{6,4}$$

$$N = 17,8$$

Por lo que se adopta 18 compartimientos para el montaje del techo flotante

Una vez calculados el numero de compartimientos se procede a calcula el arco correspondiente al pontón.

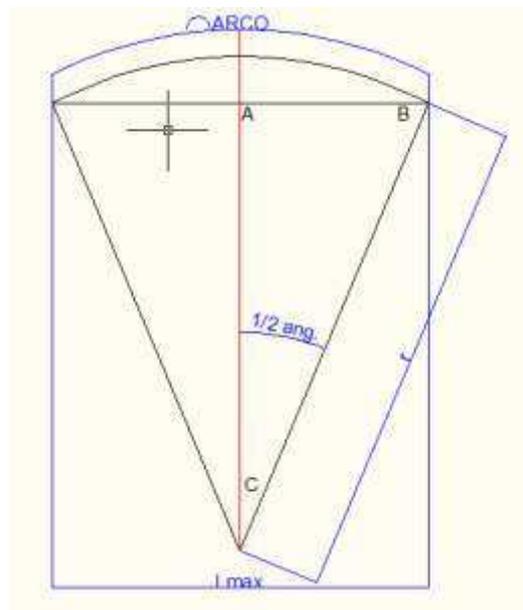


Figura 4. 21 Cálculo del arco del compartimiento.

Para el cálculo del $\frac{1}{2}$ ángulo se toma el triangulo ABC.

$$\text{Seno} \left(\frac{1}{2} \theta \right) = \frac{AB}{BC} = \frac{L_{max}}{\frac{D}{2}}$$

$$\left(\frac{1}{2}\varnothing\right) = \arcsen\left(\frac{\frac{6390}{2}}{\frac{36,2}{2}}\right)$$

$$(\varnothing) = 20,33 \text{ gr.}$$

Cálculo de la longitud del arco.

$$\text{arco} = \frac{D * \pi * \varnothing}{360}$$

$$\text{arco} = 6421 \text{ mm.}$$

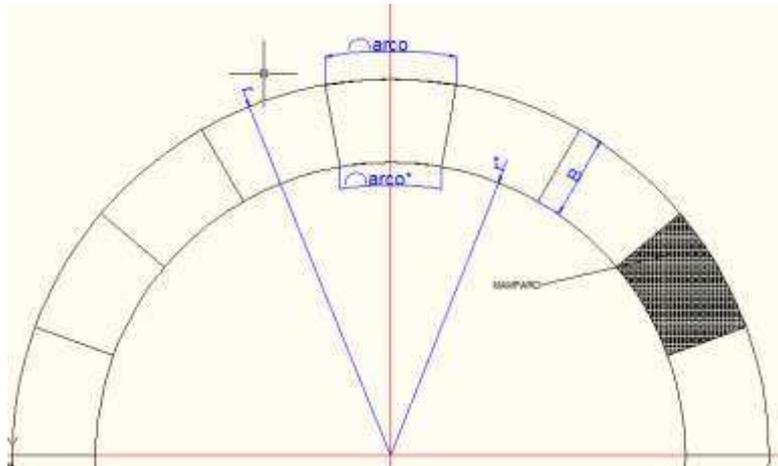


Figura 4. 22 Esquema arco comportamiento pontón.

Tabla 4. 51 Resumen medidas arco pontón

1/2 Ang. =	0,1774	rad	20,329099	Grados
Arco =	6421	mm		
r* =	15398	mm		
Arco* =	5463	mm		

4.9.1 CARGA SOBRE CADA MAMPARO.

Para efectos de cálculo se considera a la carga sobre el mamparo como una sección trapezoidal, por lo tanto para la comprobación del pandeo de lo mamparos será:

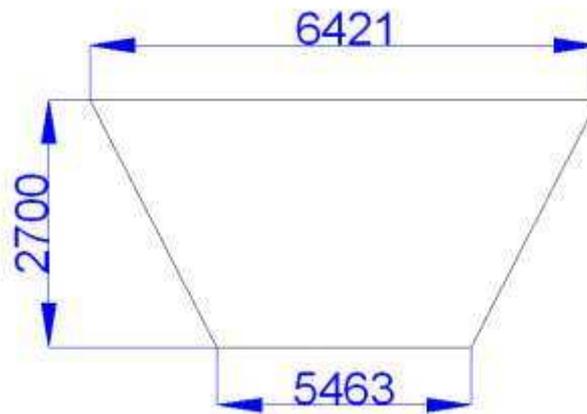


Figura 4. 23 Sección mamparo.

Tabla 4. 52 Datos mamparo.

Área =	16,04	m ²
Espesor =	4,76	mm.
Peso =	600	kg

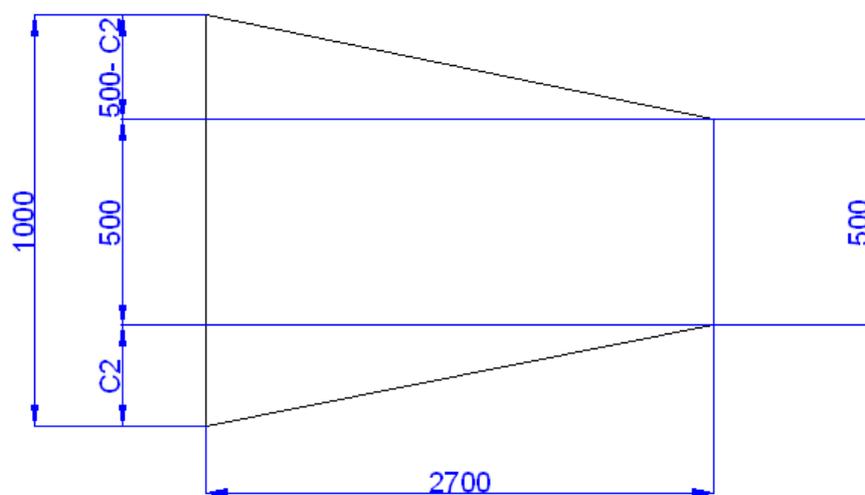


Figura 4. 24 Dimensiones mamparo.

4.9.1.1 Carga distribuida sobre mamparo.

Para determinar la carga distribuida sobre el mamparo se analizaran como elementos a sometidos a compresión por lo que se basara en la teoria del diseño de columnas para determinar las dimensiones geométricas del mamparo.

Por lo que se basara en la ecuación:

$$\text{Carga distribuida sobre el mamparo} = \frac{P}{L_{\text{mamparo}}}$$

$$\text{Esfuerzo de compresion} = \frac{E * P}{L_{\text{mamparo}}}$$

De lo que resulta:

Tabla 4. 53 Esfuerzo aplicado al mamparo.

$\frac{P}{L_{\text{mamparo}}}$	2,22	kg/cm
Esp _{mamparo}	0,1875	in
Esfuerzo sobre mamparo :	4,66	kg/cm²
	66	lb/in²

La carga crítica para los mamparos es:

$$C_{\text{crit}} = \frac{\pi^2 * E}{\left(k * \frac{L}{r}\right)^2}$$

Donde:

$$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$$

$$L = 1000 \text{ mm.}$$

$$r = 2,4 \text{ mm o } 3/32''.$$

$$k = 0,5$$

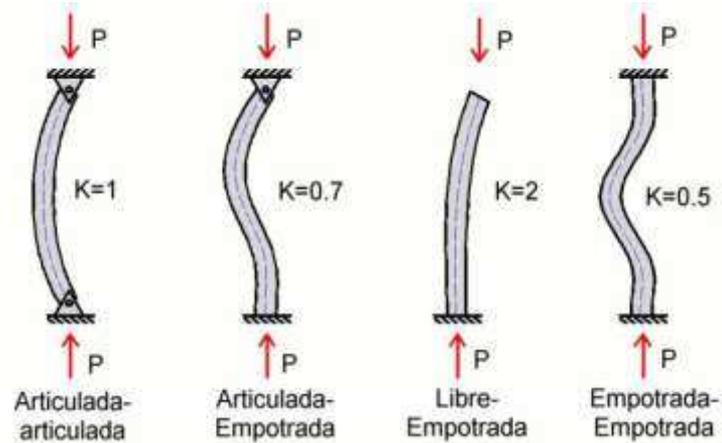


Figura 4. 25 Coeficiente k para las condiciones de apoyo

De lo que se obtiene:

$$C_{crit} = 47,75 \frac{N}{mm^2} \text{ o } 487,25 \frac{Kg}{cm^2}$$

Se puede apreciar que la carga crítica es mucho mayor que la carga aplicada por lo que el espesor elegido para las divisiones o mamparos es aceptable.

Por lo tanto el espesor definitivo de los mamparos es 3/16”.

4.9.2 DISEÑO DE LOS SOPORTES DEL TECHO FLOTANTE.

Según la normativa API 650 los soportes del techo flotante deberán ser diseñados para una carga viva uniforme de al menos 1,2 Kpa (25 lbf/ft²).

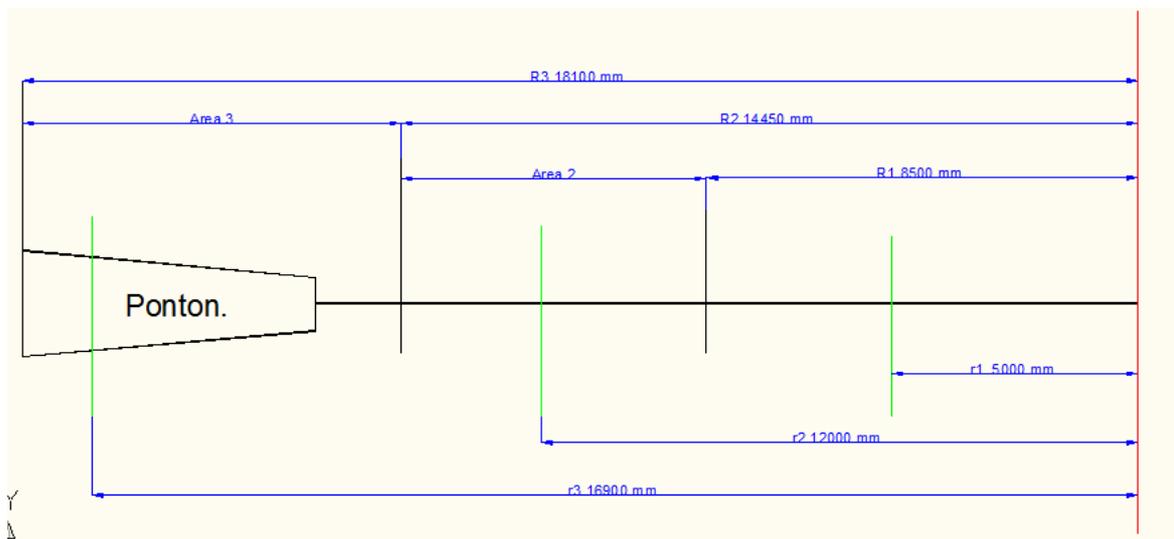


Figura 4. 26 Esquema disposición soportes del techo.

Los soportes a colocar se basan según esquemas preliminares para escoger el número adecuado de soportes del techo, una vez elegido el número aproximando de soportes del techo se procede a calcular si el número elegido es el correcto.

Tabla 4. 54 Datos diseño soportes techo.

Carga viva uniforme	1.2 Kpa		25 Lb/ft ²
Radio techo	18100	mm.	
Pontón	2700	mm.	

Con las medidas del techo y el pontón se procede a colocar los soportes a una distancia prudente uno del otro ya que si los soportes se encuentran muy cerca uno del otro esto ocasionaría un desperdicio de material y costos, pero si al contrario se tiene muy alejados los soportes la carga que soportaría cada soporte sería muy grande por lo que se podría producir pandeo en las columnas elegidas.

Tabla 4. 55 Sección soportada por los soportes.

		Unidades	Rango 3	Rango 2	Rango 1
Radio de los soportes		mm.	16900	12000	5000
Sección soportada					
Radio exterior		mm.	18100	14450	8500
Radio interior		mm.	14450	8500	0
Área del pontón		m2	284,16	-----	----
Área deck		m2	89,09	428,99	226,98

La sección soportada no es más que el área que trabaja los pontones de carga.

4.9.2.1 Carga viva uniforme.

La carga viva que soporta el techo flotante no es mas que el producto del área por la carga viva que la normativa exige 1,2 Kpa (25 lbf/ft²).

La carga viva contempla al personal y maquinaria que eventualmente se podrían hallar sobre el techo flotante.

Tabla 4. 56 Carga viva uniforme

Carga viva uniforme	Unidades	Rango 3	Rango 2	Rango 1
Carga sobre pontón	N	340988,5	-----	-----
Carga sobre deck	N	106905,3	514790,8	272376,1

4.9.2.2 Cargas muertas.

Tabla 4. 57 Carga muerta

CARGAS MUERTAS	Unidades	Rango 3	Rango 2	Rango 1
Pontón	N	133735,1	-----	-----
deck	N	32622,8	157091,4	83117,1
Accesorios	N	19600	-----	32369,4
Escalera	N	-----	-----	13600

Tabla 4. 58 Carga total sobre el techo.

CARGAS MUERTAS	Uni.	Rango 3	Rango 2	Rango 1
Total cargas muertas	N	185957,8	157091,3	129086,5
Cargas vivas +cargas muertas	N	633851,5	671882,1	401462,6
Numero de soportes		18	25	15
Peso de los soportes	N	437,3	437,3	437,3

CARGA TOTAL POR SOPORTE	N	35214	26875,3	26764,2
MAXIMA CARGA EN EL SOPORTE DEL PONTON	N	35214		
MAXIMA CARGA EN EL SOPORTE DEL DECK	N	26875,3		

Con estos valores obtenidos se procede a comprobar si los soportes elegidos cumplen con lo requerido.

4.9.2.3 Comprobación de los soportes del techo.

Para realizar la comprobación de los soportes se procede a seleccionar un tubo estructura y se lo analizara como un elemento a compresión.

Tabla 4. 59 Datos soportes techo.⁸⁴

Material	ASTM A53 Gr B 4" cedula 80	
Diámetro, D.	4,5	in
Espesor	0,337	in
Mínimo espesor de operación t.	0,337	in
Sección.	4,41	in ²
Momento de inercia	9,61	in ⁴
Radio de giro	1,48	in
Esfuerzo Fluencia, Y_s	35000	psi

⁸⁴ Manual American Institute of Steel Construction (AISC), Pag. 1-89

Esfuerzo Rotura, T_s .	60000	psi
--------------------------	-------	-----

Relación $\frac{D}{t}$	13,3531157
------------------------	------------

Máxima longitud de la pata, L	70,8	in	Altura promedio
Factor de longitud efectiva, K	2		AISC tabla C-C2.1
Relación de esbeltez λ			
$\lambda = k * \frac{L}{r}$			95,6756757
Según API 650 part. 5.10.3.4			
$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * E}{F_y}}$			130,074294
Si $C_c > \lambda$ la columna no sufre deformación.			

4.9.2.4 Diseño a compresión soportes techo.

Para el diseño de se considerara las ecuaciones E2.2, E2.3, E2.4 tomado del Manual de la AISC⁸⁵

Tabla 4. 60 Diseño a compresión.

Modulo de elasticidad a temperatura ambiente (Tabla M-2 API 650)	E =	30500000	lb/in ²	210000	Mpa.
AISC - E.2 DISEÑO A COMPRESION					
Área de los elementos	Ag=	4,41	in ²	1438,71	mm ²
Esfuerzo de fluencia.	Fy =	35,00	ksi.	241,32	Mpa.
Modulo de elasticidad.	E =	30500	ksi.	210000	Mpa.
Factor de corrección.	K =	2,10			

⁸⁵Load resistance factor design specification for structural Steel buildings, Manual AISC, 1999 pag 27.
<http://es.scribd.com/doc/50547720/49/E2-DESIGN-COMPRESSIVE-STRENGTH-FOR-FLEXURAL-BUCKLING>

Longitud de miembro lateralmente soportado		l =	0	in.	0	mm.		
Radio de giro alrededor del eje de pandeo		r =	1,48	in.	37,6	mm.		
(E2-4)	$\lambda = \frac{Kl}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}}$		=	0	Debido a l = 0, ya que no soporta cargas laterales			
(E2-3)	$F_{cr} = \left[\frac{0,877}{\lambda^2} \right] * F_y$	SI	$\lambda \leq 1.5$	Fcr=	35000	lb/in ²	241,32	Mpa.
(E2-2)	$F_{cr} = (0,658^{\lambda^2}) * F_y$	SI	$\lambda > 1.5$	Fcr=	-----	-----	-----	-----
Esfuerzo de compresión permisible								
E2-1	$F_a = A_g * F_{cr} * 0,85$		Fa =	131198	lbf.	583596	N.	

Una vez calculado es esfuerzo de compresión permisible se procede a comparar con la máxima carga que soporta la columna, para este caso será de 35213,97 N, el esfuerzo permisible (Fa) es de 583596, por lo que se garantiza que no existirá falla en los soportes del techo.

4.9.3 DISEÑO DE VENTILACIÓN TECHO FLOTANTE.

Tabla 4. 61 Datos geométricos sistema de ventilación.

Código de diseño	=	API 2000	
Capacidad nominal	=	16000	m ³
Presión de diseño	=	2,5	mbarg
Punto de inflamación	=	67	°C
Tasa de llenado, Vi	=	320	m ³ /h
Tasa de vaciado, Vo	=	875	m ³ /h

4.9.3.1 Ventilación de vaciado.

Tabla 4. 62 Flujo de vaciado total.

Tasa de aire libre			
$V_{v1} = \frac{V_o}{15,9} * 15,8$	=	872,8	m ³ /h
La ventilación térmica no se considera, Vv2	=	0	m ³ /h
Flujo de vaciado total, Vv	=	872,8	m³/h

Tabla 4. 63 Flujo de llenado total

Flujo normal de ventilación			
Caudal de aire libre, Vp1			
$V_{p1} = \frac{V_i}{0,159} * 0,17$	=	342,1	m ³ /h
La ventilación térmica no se considera, Vp2	=	0	m ³ /h
Flujo total de llenado requerido	=	342,1	m³/h

Tabla 4. 64 Dimensionamiento ventilación.

Dimensionamiento ventilación.					
Flujo máximo, Q					
$Q = K * A * \sqrt{2 * g * H}$	=	872,8	m ³ /h		
Donde:					
K = coeficiente de descarga	=	0,62			
A= área de ventilación	=				
g = aceleración de la gravedad	=				
H= altura de descarga	=	21,2	m		
$H = \frac{\Delta P}{\gamma}$	=				
Área mínima de ventilación.					
$A = \frac{Q}{K} * \sqrt{\frac{\gamma}{2 * g * \Delta P}}$	=	0,019185325	m ²	19185,3	mm ²
Donde:					
Q= flujo máximo requerido	=	0,2424	m ³ /s		
γ = peso específico del aire = ρg	=	11,81	Kg/m ² s ²		
ρ = Densidad del aire	=	1,204	Kg/m ³		
ΔP = Diferencia de presión	=	250	N/m ²		

Tabla 4. 65 Selección ventilación.

Selección de la ventilación.			
Diámetro de la tubería para ventilación	=	8"	
Número de ventilaciones	=	1	
Área de la sección de la tubería	=	32429,3	mm²

Al tener un área de sección de tubería mayor que la mínima requerida se toma como aceptables las medidas tomadas

4.9.4 DISEÑO DE DRENAJE DE TECHO.

Tabla 4. 66 Datos drenaje de techo.

Datos geométricos			
Diámetro nominal	=	36000	mm
Altura efectiva tanque	=	15130	mm
Altura mínima del techo	=	1500	mm
Salida del drenaje, z	=	500	mm
Área del techo	=	725,83	m ²
Precipitaciones de diseño	=	50	mm/h
Diseño de drenaje requerido, Qreq	=	36,3	m ³ /h

Tabla 4. 67 Número de drenajes.

Numero de drenajes	=	2	
Tubería de drenaje	=	4" cedula 80	
Diámetro exterior tubería drenaje	=	114,3	mm
Espesor	=	8,56	mm
Longitud de tubería, L ₁ aprox.	=	40	M

Tabla 4. 68 Número de accesorios.

Número de accesorios		
Codo 90°, N90	=	1
Codo flexible CTS, NCTS	=	4
Válvula check, NC	=	1

4.9.4.1 Cálculo de carga total.

Para el cálculo de la carga total se recurrirá a la fórmula:

$$H = h + \frac{v^2}{2 * g}$$

Donde:

h = Perdidas en tubería.

v = Velocidad de flujo.

g = aceleración de gravedad.

4.9.4.2 Perdidas en tubería de drenaje.

$$h = \frac{v^2}{2 * g} \left[\frac{K_1 L'_1}{d} + \frac{K_2 L'_2}{d} \right]$$

Donde:			
h= La altura total entre la posición más baja de la cubierta y la boquilla de desagüe del techo	=	1.275	mm
G= aceleración gravedad	=	9.81	m/s ²
K = coeficiente de fricción Para tubería rígida , K1	=	0.0168	
L' = Longitud total equivalente de tubería de drenaje	=	44,8	m
d = diámetro interno de tubería de drenaje	=	97.18	mm

Tabla 4. 69 Longitud equivalente de accesorios.

Longitud equivalente para accesorios de 4"			
Codo 90°, L90	=	1,2	m
Codo flexible CTS, LCTS	=	0,75	m
Válvula check, LC	=	0,6	m

Tabla 4. 70 Longitud equivalente de tubería

Longitud equivalente de tubería			
$L' = L1 + N_{90}L_{90} + N_{CTS}L_{CTS} + N_C L_C$	=	44,8	m
L1 = Para tubería rígida			
L2 = Para tubería flexible	=	0	m

4.9.4.3 Velocidad de flujo.

La velocidad de flujo viene dada por el remplazo de la ecuación de carga total y las pérdidas en la tubería. Ver ecuación Ec.3. 70

Tabla 4. 71 Velocidad de flujo

Pérdidas en tubería			
$h = \frac{v^2}{2 * g} \left[\frac{K_1 L'_1}{d} + \frac{K_2 L'_2}{d} \right]$			
$H = \frac{v^2}{2 * g} \left[\frac{K_1 L'_1}{d} + \frac{K_2 L'_2}{d} + 1 \right]$			
Velocidad de flujo			
$V = \sqrt{\frac{2 * g * H}{\left[\frac{K_1 L'_1}{d} + \frac{K_2 L'_2}{d} + 1 \right]}}$	=	1,69	m/s

Tabla 4. 72 Número mínimo de drenajes.

Caudal tubo de drenaje			
$Q = \text{Area} * \text{velocidad}$			
$Q = \frac{\pi * D^2}{4} * V$	=	45,16	m ³ /h
Número mínimo requerido de drenajes.			
$N_{req} = \frac{\text{Caudal requerido}}{\text{Caudal tubo de drenaje}}$	=	0,8	Se toma 1 drenaje

4.10 DISEÑO DE ESCALERAS Y PLATAFORMAS.

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

4.10.1 REQUERIMIENTO PARA PLATAFORMAS.

1. Todos los componentes deberán ser metálicos.
2. El ancho mínimo del piso será de 610mm. (24 pulg.).
3. Todo el piso deberá ser de material antideslizante
4. La altura del barandal a partir del piso será de 1,067mm. (42 pulg.).
5. La altura mínima del rodapié será de 76mm. (3 pulg.).
6. La altura del barandal central será aproximadamente la mitad de la distancia desde lo alto del pasillo a la parte superior del barandal.
7. La distancia máxima entre los postes del barandal deberá ser de 1168mm. (46 pulg.).
8. La estructura completa tendrá que ser capaz de soportar una carga viva concentrada de 453 Kg. (1,000 lb), aplicada en cualquier dirección y en cualquier punto del barandal.
9. Los pasamanos estarán en ambos lados de la plataforma, y estarán interrumpidos donde sea necesario para un acceso.
10. Cualquier espacio mayor de 152mm. (6 pulg.) entre el tanque y la plataforma deberá tener piso antideslizante.
11. Los corredores de los tanques que se extienden de un lado al otro del suelo o a otra estructura deberán estar soportados de tal manera que tenga un movimiento relativo libre de las estructuras unidas por los corredores; ésta puede estar acompañada por una firme atadura del corredor a los tanques, además del uso de una junta corrediza o de dilatación en el puente de contacto entre el corredor y el otro tanque (este método permite que en caso de que un tanque sufra ruptura o algún movimiento brusco, el otro no resulte dañado).

4.10.2 REQUERIMIENTOS PARA ESCALERAS.

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 antideslizante.
6. La reja superior deberá estar unida a los pasamanos de la plataforma sin margen y la altura, medida verticalmente desde el nivel del peldaño hasta el borde del mismo de 762 a 864mm. (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 del pasamano 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.

4.10.3 REQUERIMIENTOS PARA ESCALERA FLOTANTE.

A menos que el contratista establezca otras especificaciones, la escalera del techo flotante deberá ser construida con un ajuste automático para cualquier posición en la que se encuentre el techo. La escalera deberá ser diseñada para todo el recorrido del techo, sin tomar en cuenta los apoyos de los brazos o piernas de la escalera. La escalera deberá tener una vida útil larga, y además ser diseñada para una carga central de 1000lb (4450 N) en cualquier posición de operación. Los peldaños de la escalera deberán ser de tipo abierto y con piso antideslizante, y tener un ancho mínimo de 510 mm, y 860 mm.

Cuando el techo está en su posición baja extrema, no deberá tener un ángulo menor de 35° con la vertical. Ruedas se proporcionan en el extremo inferior de la escalera, de un tamaño para evitar la unión de la escalera con los soportes guías, y provisto de cojinetes libres de mantenimiento.

Escalera y diseño de la pista reducirán al mínimo el atascamiento mediante el uso de pistas guía u otros detalles teniendo en cuenta la fatiga y la rigidez que son efectos derivados de los apoyos. El diseñador puede optar por añadir requisitos tales como un mayor ancho de escalera, la carga lateral del techo, y los diseños alternativos que reducen el atascamiento de la pista debajo de la escalera.

4.10.3.1 DISEÑO DE ESCALERA DEL TECHO:

Para el diseño de la escalera se tomaran en cuenta las consideraciones nombradas con la norma API 650 apéndice C, con lo cual primero se representan las posiciones extremas y dimensiones de la escalera en la Figura 4. 27

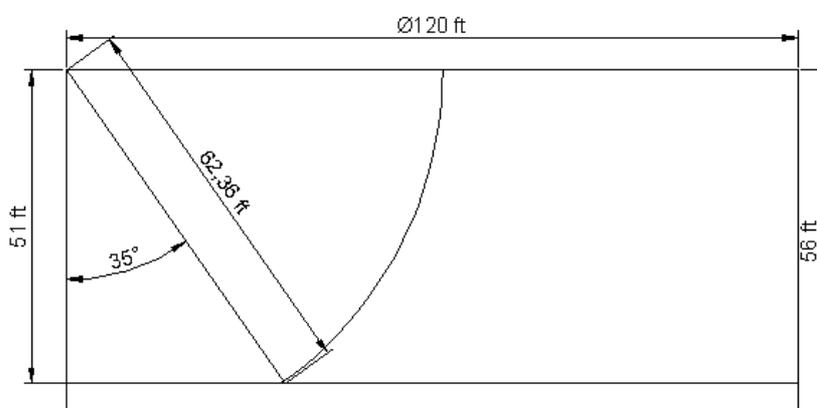


Figura 4. 27 Posición extrema de la escalera del techo.

Con este gráfico realizado con la ayuda del Auto CAD y tomando en cuenta las condiciones requeridas tenemos que el largo de la escalera es de $L = 62.36 \text{ pie}$ ($19,012 \text{ m}$).

La escalera esta soportada por dos vigas que soporten el propio peso de la estructura, las personas que estén utilizando este accesorio. Según esto se toma en cuenta los requerimientos mencionados en el apéndice C de la norma API 650, donde se toma una carga puntual en el centro de la vigas de 1000 lb , adicional a

esto se tomará un perfil AISC C 10x20, el cual tiene un peso distribuido de 20 lb/pie. En el siguiente gráfico se muestra el diagrama del cuerpo libre de una de las vigas, que soportará la mitad de la carga total a ser considerada; y se considerará en la posición más crítica que para este caso viene a ser la posición horizontal de la escalera.

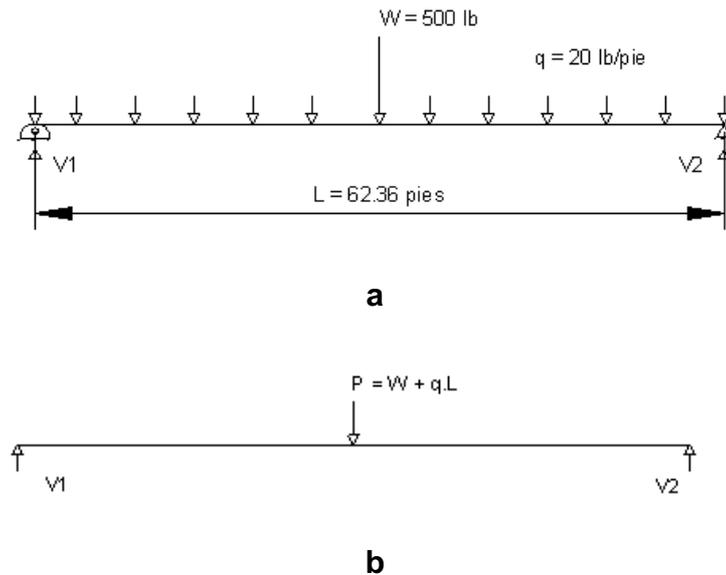


Figura 4. 28 a.- diagrama cuerpo libre; b.- diagrama de cuerpo libre simplificado

Según nuestro sistema simplemente apoyado en los extremos, tenemos nuestros gráficos de diagrama de esfuerzo cortante y diagrama de momento flector, que se muestran a continuación:

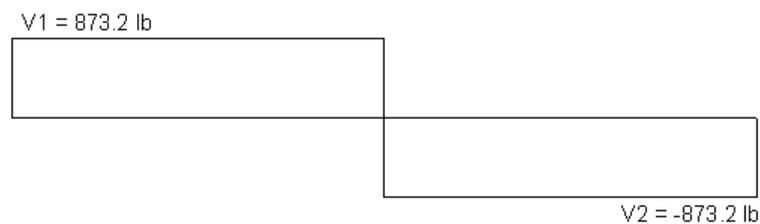


Figura 4. 29 Diagrama de fuerza cortante.

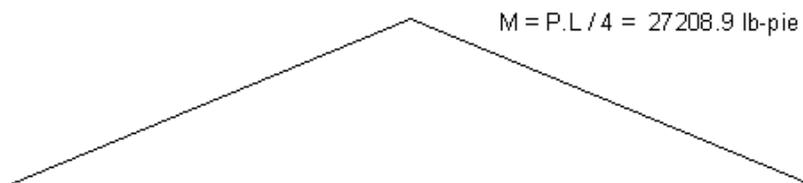


Figura 4. 30 Diagrama del momento flector.

Para poder hallar los esfuerzos que va a soportar los perfiles seleccionados, se tomará el momento flector para poder hallar el esfuerzo al que es sometido de acuerdo a la Ec. 4.1

$$0.66\sigma_y = \frac{M}{S} \quad \text{Ec. 4.1}^{86}$$

Despejando el módulo de la sección "S", para lo cual se considera $\sigma_y=36$ kpsi, la cual corresponde al acero estructural ASTM A 36

Donde se obtiene **S = 13.74 pulg³**.

Según el módulo de la sección (S), y la tabla de las dimensiones normalizadas de perfiles C de la AISC (pag. 1-37), S procede a comparar los valores de los módulos de sección tabulados para lo cual se seleccionara el mas próximo al valor calculado. Es importante tener en cuenta que mientras menor peso por unidad de longitud tenga será más conveniente para el diseño. Y además sea lo más cercano al calculado; por lo que se escoge un perfil C 10x15.3, cuyo módulo es de $S = 13.5$ pulg³.

En este punto se procede a hacer un recalcu del esfuerzo que deberá soportar el nuevo perfil seleccionado; el cual usando la formula siguiente:

$$\sigma = \frac{M}{S} \quad \text{Ec. 4.2}^{87}$$

Donde:

M = momento máximo

S = Módulo de la sección minino

⁸⁶ Manual American Institute of Steel Construction (AISC), Pag. 2-3.

⁸⁷ Diseño en Ingeniería Mecánica, Shigley, 4 edición.

De lo que se obtiene un esfuerzo de $\sigma = 24185.7$ psi.

Y hallando el factor de seguridad tenemos lo siguiente:

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma}$$

Ec. 4.3⁸⁸

Donde **n = 1.45**.

⁸⁸ Diseño en Ingeniería Mecánica, Shigley, 4 edición.

4.11 SIMULACIÓN DEL TANQUE DE 100.000 BARRILES DE CAPACIDAD PARA ALMACENAMIENTO DE PETRÓLEO EN SAP 2000 V14.0.1.

Para realizar la simulación en el programa SAP 2000 es necesario recurrir a un modelado en escala real en el paquete informático AUTOCAD 2012 este modelado servirá para notar claramente los efectos de las cargas aplicadas en el cuerpo del tanque.

El cuerpo del tanque fue modelado en elementos tipo Shell (placas), que garantiza la similitud en el comportamiento real de las planchas de acero a ser asignadas a la estructura.

Se aplico todos los principios geométricos detallados en el diseño general del tanque.

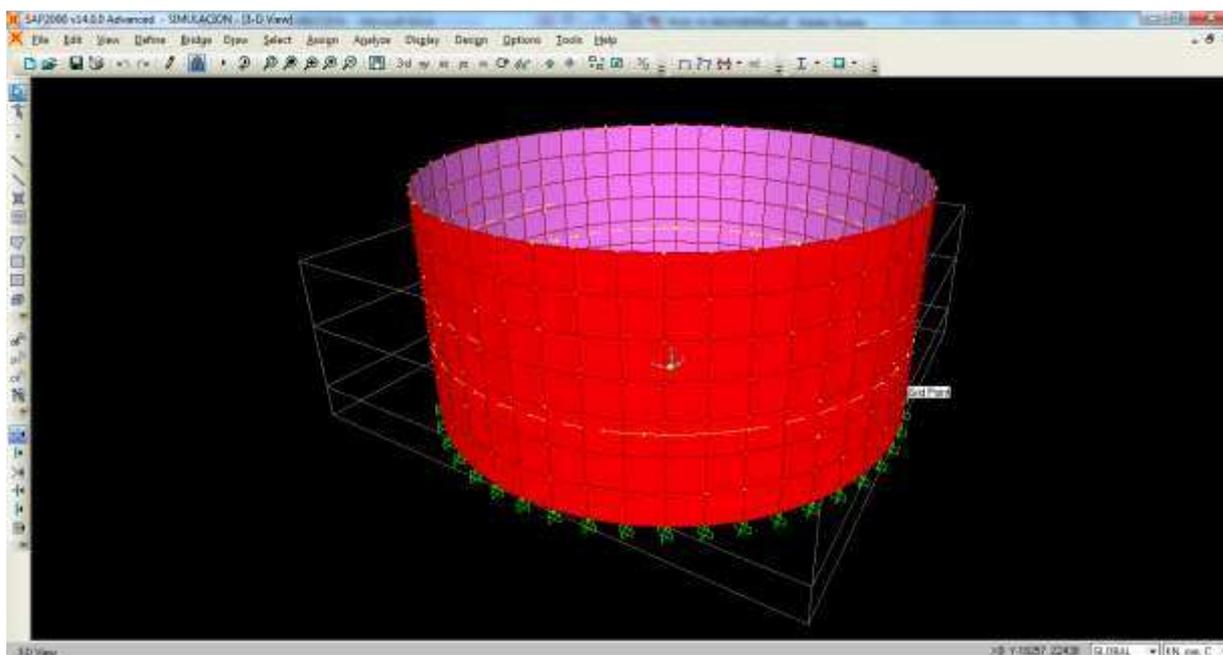


Figura 4. 31 Modelado 3D en AUTOCAD 2012.

Una vez modelado la figura del tanque se procede a importar al programa SAP 2000 con todas las medidas.

4.11.1 SIMULACIÓN

La simulación estructural se la he realizado según las especificaciones técnicas establecidas en los capítulos 3 y 4 según las recomendaciones de la normativa API 650.

4.11.2 DEFINICIÓN DE MATERIALES.

El material considerado según el diseño bajo la consideración de la norma API 650, es ACERO ASTM A 36, el cual es asignado en el programa con los parámetros y propiedades propios del material.

ASTM A36

Esfuerzo máximo permisible a prueba hidrostática $St = 24900$ psi.

Esfuerzo de Fluencia mínima $Sy = 36000$ psi.

Resistencia Última $Su = 58000$ psi.

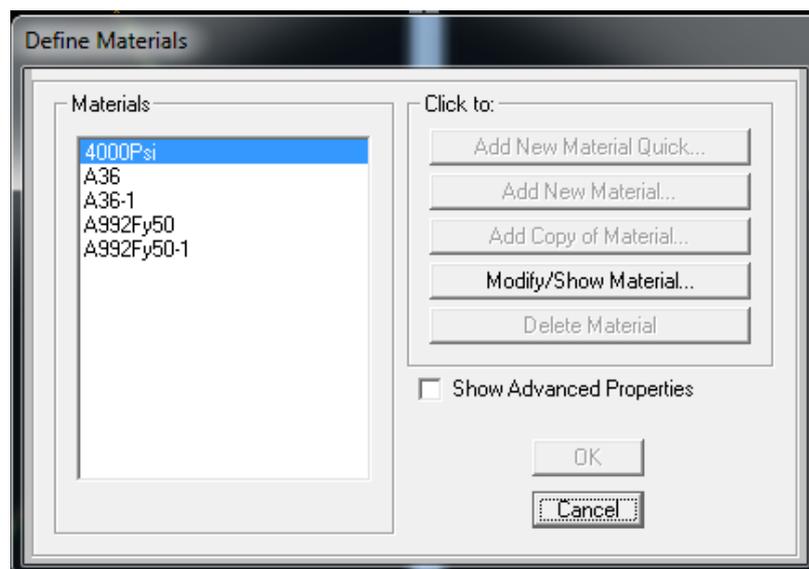


Figura 4. 32 Asignación de materiales.

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: A36-2 ■

Material Type: Steel

Material Notes:

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 2,836E-04

Mass per Unit Volume: 7,345E-07

Units:

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 29000

Poisson's Ratio, U: 0,3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 6,500E-06

Shear Modulus, G: 11153,846

Other Properties for Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 36

Minimum Tensile Stress, Fu: 58

Effective Yield Stress, Fye: 54

Effective Tensile Stress, Fue: 63,8

Switch To Advanced Property Display

Figura 4. 33 Propiedades de los materiales.

Material Property Data

Material Name: A36-1

Material Type: Steel

Symmetry Type: Isotropic

Modulus of Elasticity

E: 199,948

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 7,697E-08

Mass per Unit Volume: 7,849E-12

Units:

Poisson's Ratio

U: 0,3

Coeff of Thermal Expansion

A: 1,170E-05

Shear Modulus

G: 76,9031

Other Properties for Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 0,2482

Minimum Tensile Stress, Fu: 0,3999

Effective Yield Stress, Fye: 0,3723

Effective Tensile Stress, Fue: 0,4399

Advanced Material Property Data

Figura 4. 34 Coeficientes de los materiales.

4.11.3 DEFINICIÓN DE SECCIONES

Las secciones fueron definidas tipo Shell (planchas), este tipo de secciones son las que se requieren para tener una mejor apreciación de la simulación real, también permiten que las cargas dispuestas se distribuyan de mejor manera.

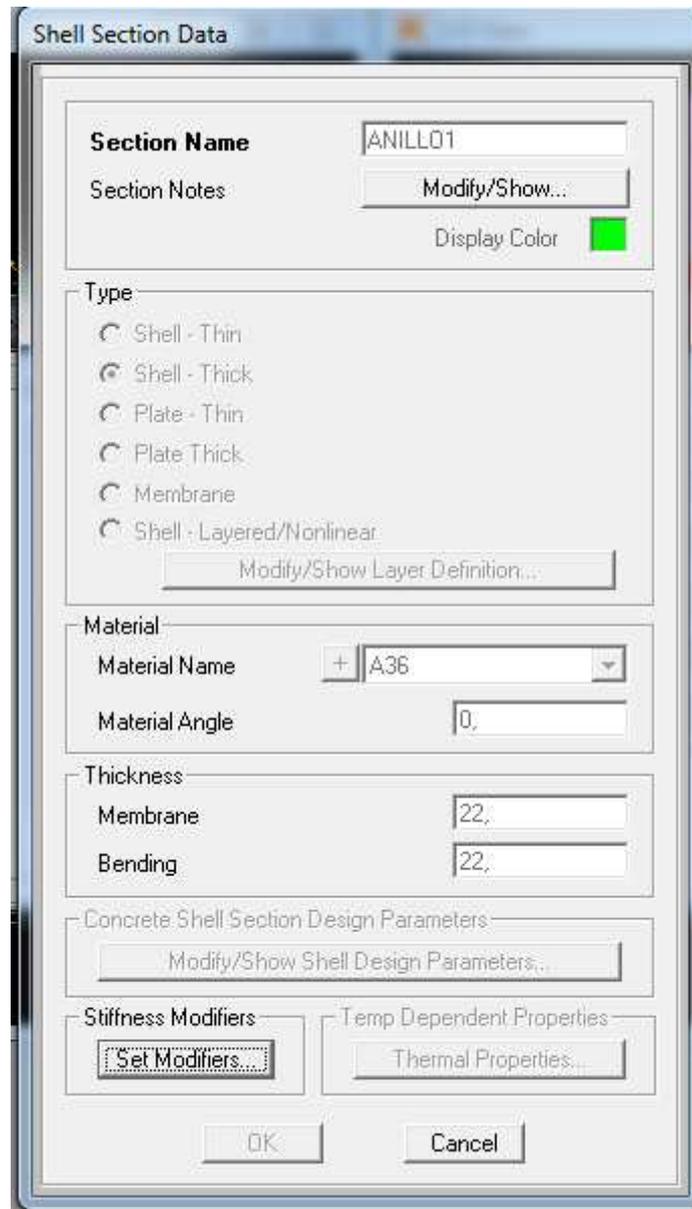


Figura 4. 35 Definición de secciones anillo 1.

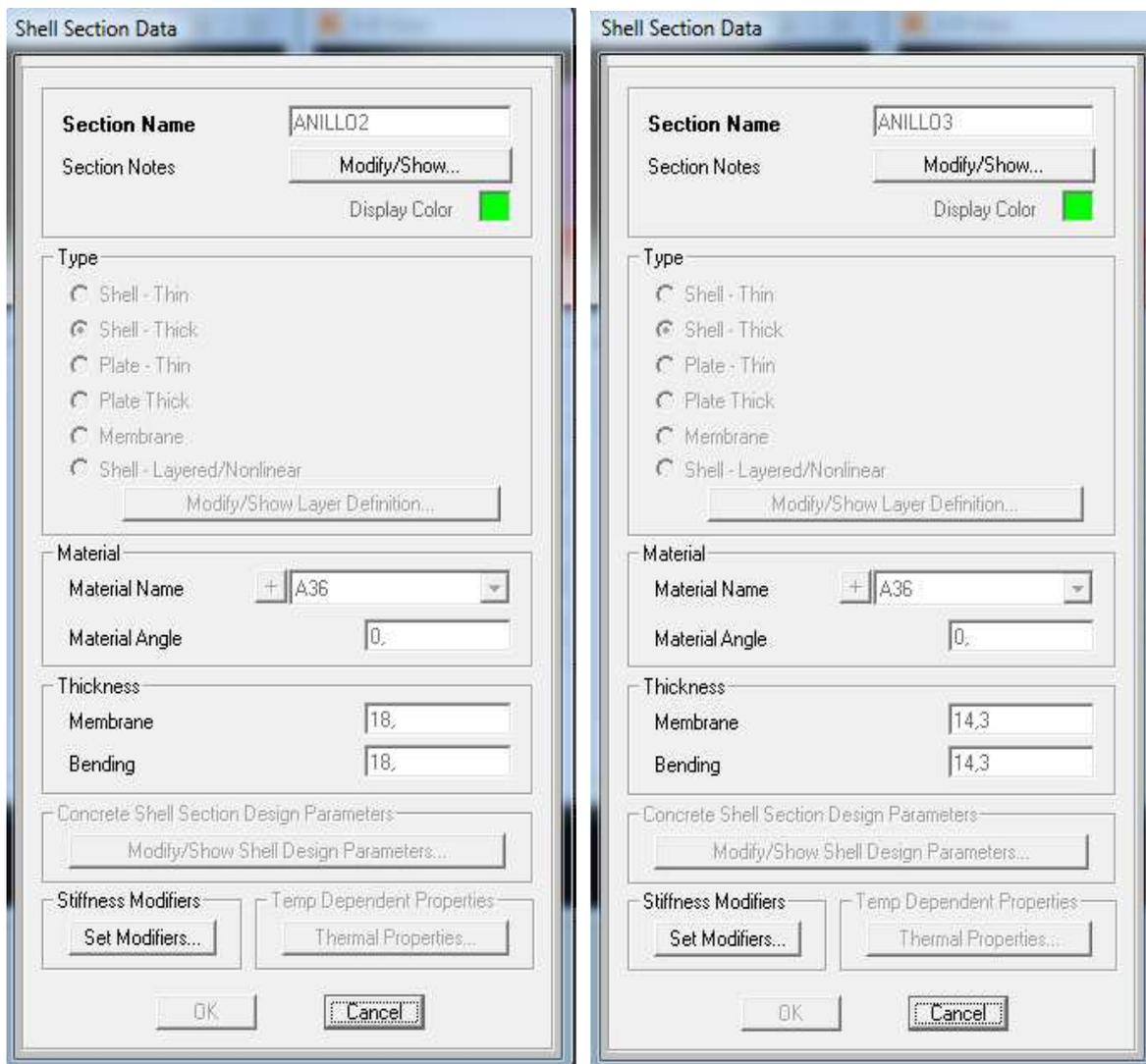


Figura 4. 36 Definición de secciones anillo 2 y 3

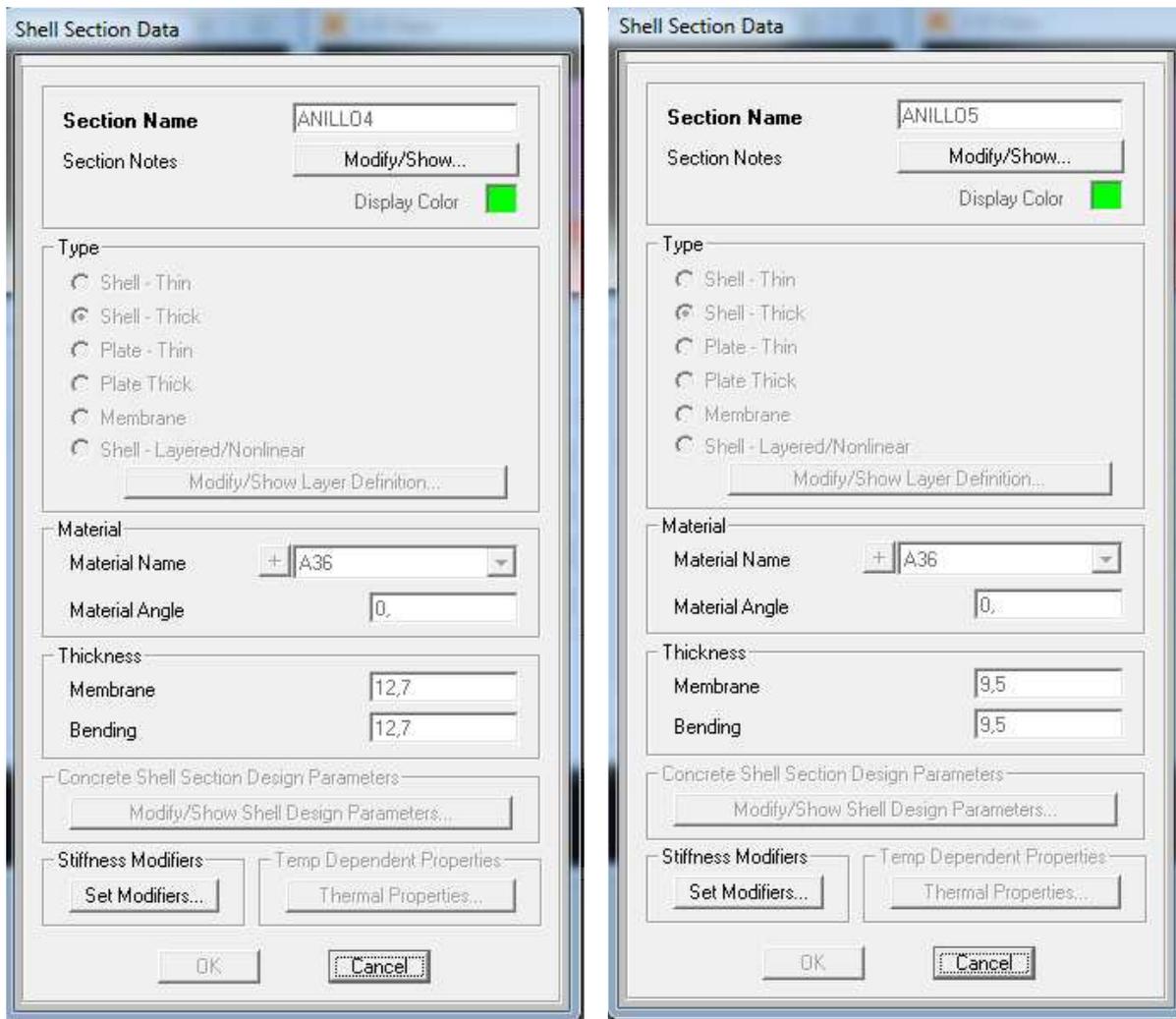


Figura 4. 37 Definición de secciones anillo 4 y 5

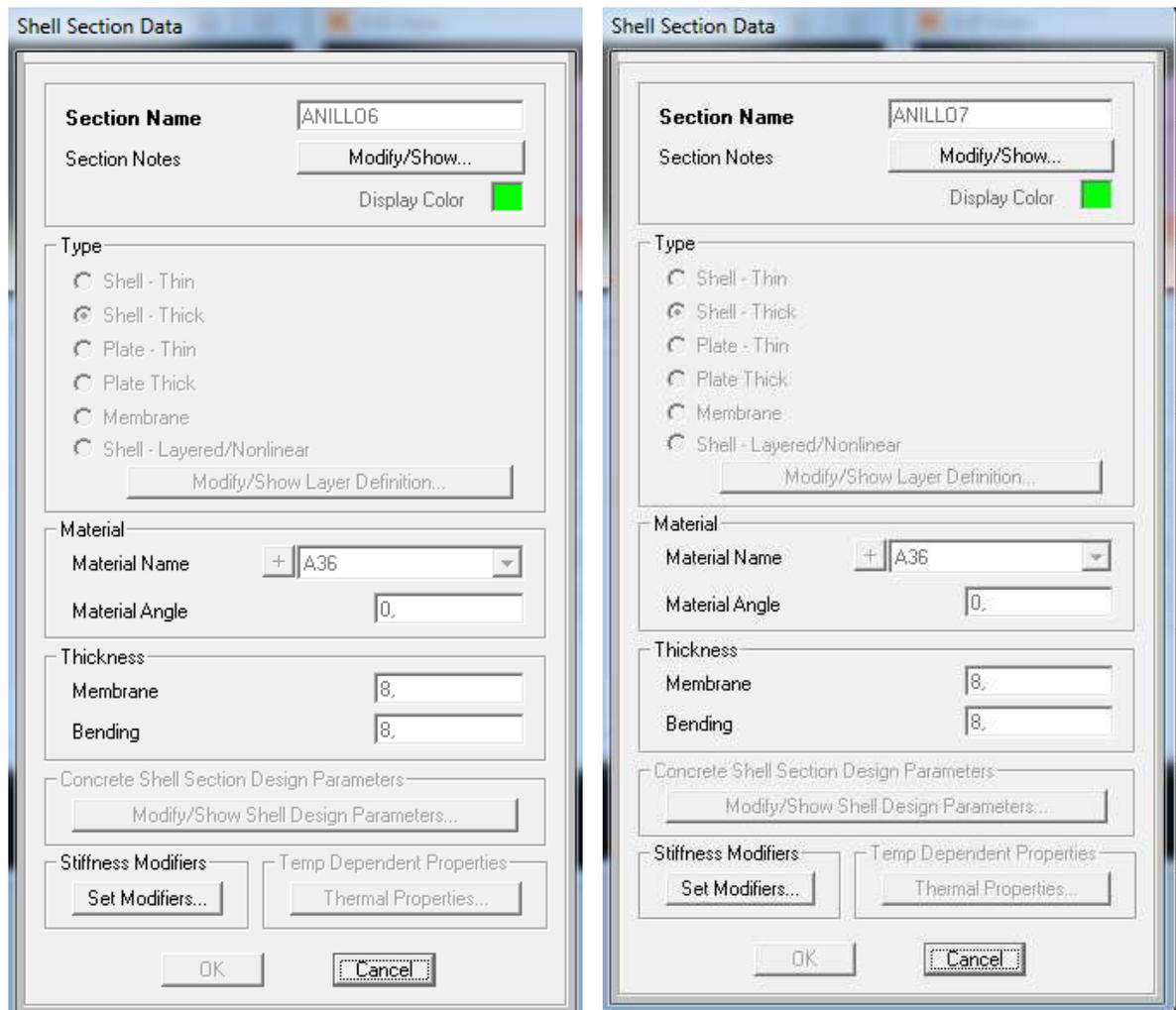


Figura 4. 38 Definición de secciones anillo 6 y 7

4.11.4 DEFINICIÓN DE PATRONES DE CARGA.

Se aplicaron los patrones que determinan las propiedades de la carga en un análisis interno del programa, así se definió:

- MUERTA: Patrón que calculara el peso propio de la estructura.
- HIDROSTÁTICA: Patrón que calculará la presión ejercida por el fluido hacia las paredes y bases del tanque.
- SISMO: Patrón que calculara bajo la norma API 650, el efecto sísmico sobre la estructura bajo condiciones predeterminadas.
- VIENTO: Patrón que calculará bajo los cálculos de diseño, el efecto generado por el viento en la estructura.

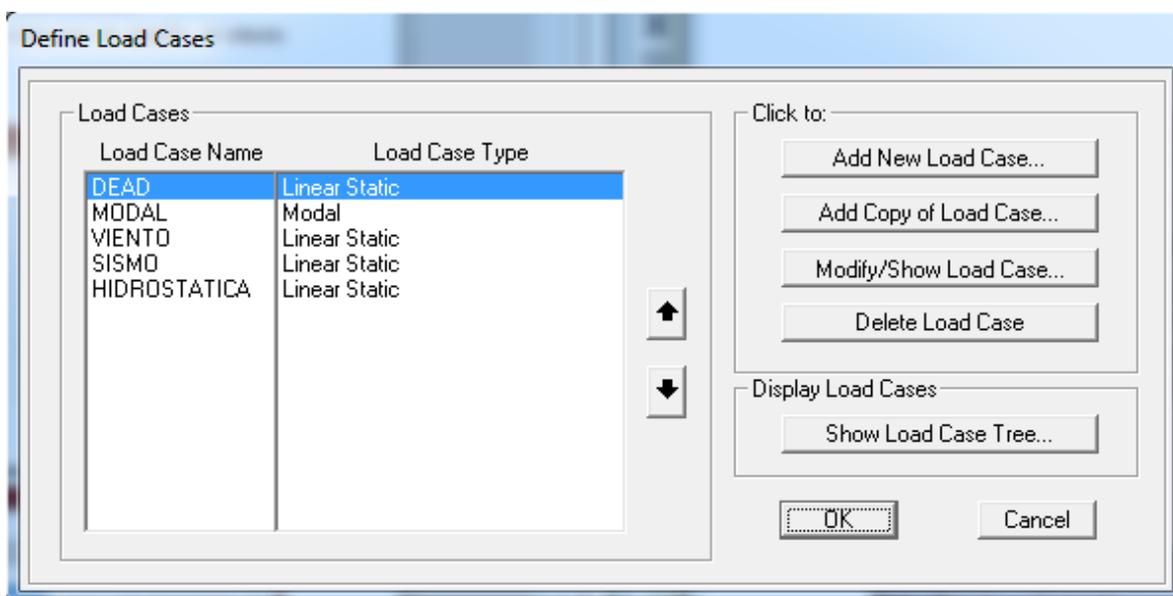


Figura 4. 39 Definición casos de carga.

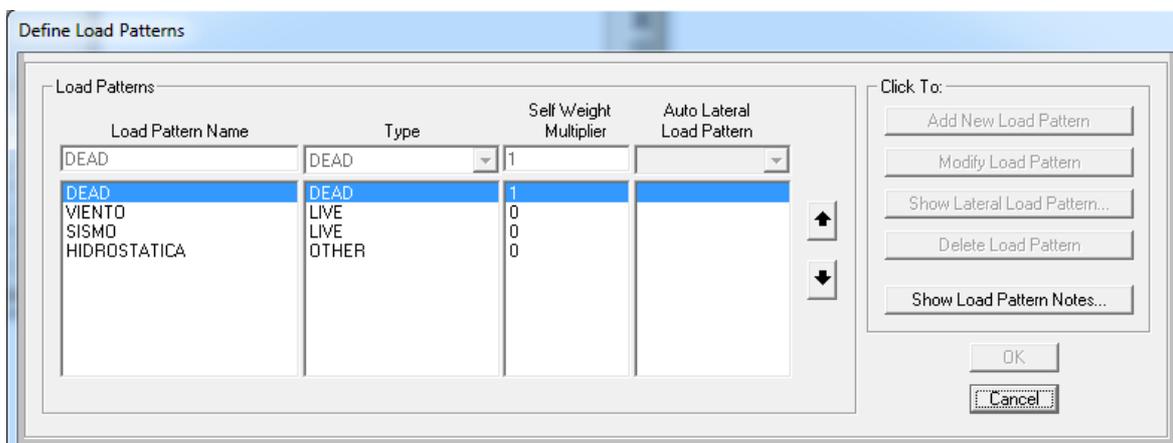


Figura 4. 40 Patrones de carga

4.11.5 DEFINICIÓN DE CASOS DE CARGA.

Se utilizo la misma referencia de patrones de carga, dejando de lado el caso modal, pues se realizara el análisis bajo combinaciones de carga pre establecidas, notando en los casos de carga un análisis estático lineal, que se concibe como el mas apropiado, para este tipo de estructuras.

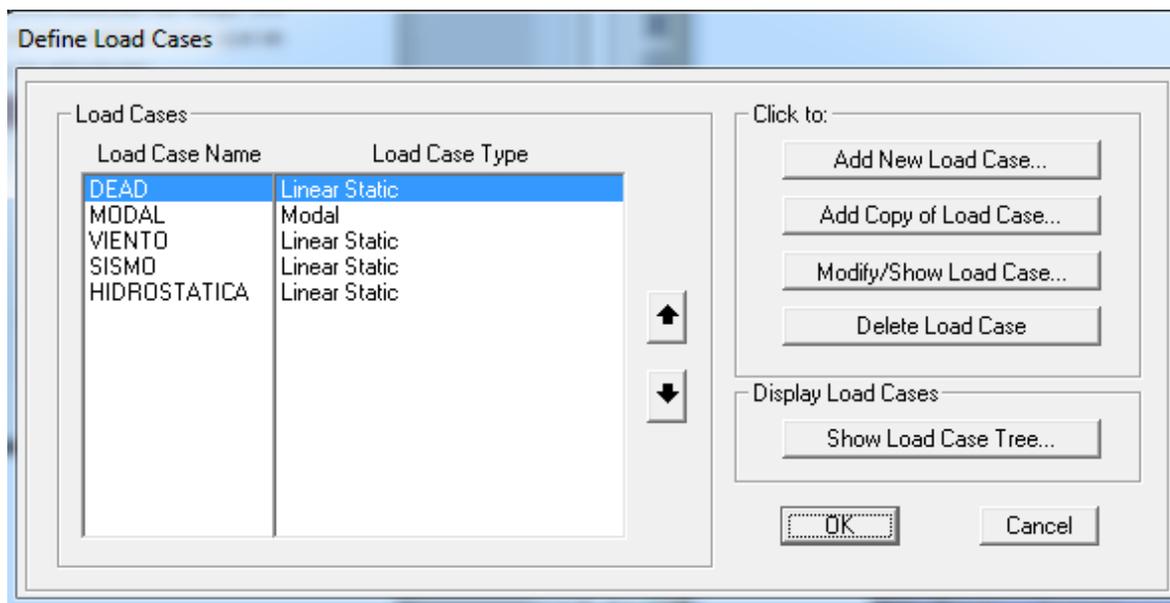


Figura 4. 41 Casos de carga

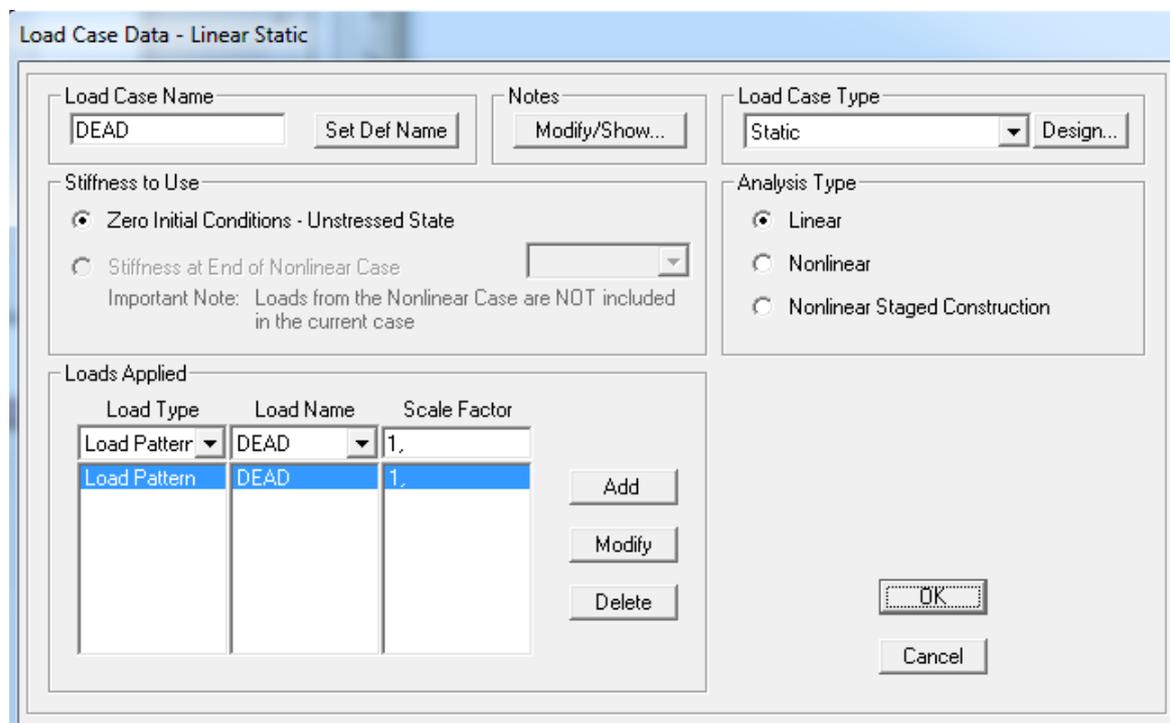


Figura 4. 42 Carga muerta.

Load Case Data - Linear Static

Load Case Name: Notes:

Load Case Type:

Stiffness to Use:

Zero Initial Conditions - Unstressed State

Stiffness at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Analysis Type:

Linear

Nonlinear

Nonlinear Staged Construction

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
<input type="text" value="Load Pattern"/>	<input type="text" value="VIENTO"/>	<input type="text" value="1."/>
<input type="text" value="Load Pattern"/>	<input type="text" value="VIENTO"/>	<input type="text" value="1."/>

Figura 4. 43 Carga viento.

Load Case Data - Linear Static

Load Case Name: Notes:

Load Case Type:

Stiffness to Use:

Zero Initial Conditions - Unstressed State

Stiffness at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Analysis Type:

Linear

Nonlinear

Nonlinear Staged Construction

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
<input type="text" value="Load Pattern"/>	<input type="text" value="SISMO"/>	<input type="text" value="1."/>
<input type="text" value="Load Pattern"/>	<input type="text" value="SISMO"/>	<input type="text" value="1."/>

Figura 4. 44 Carga sismo.

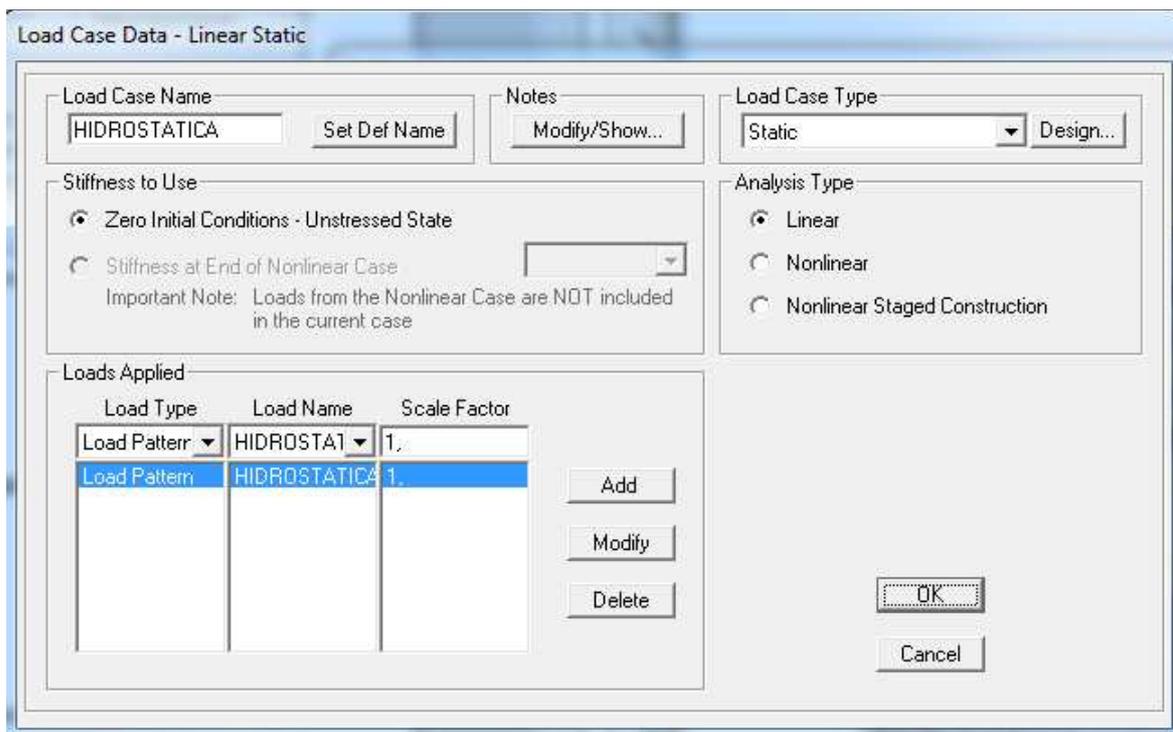


Figura 4. 45 Carga hidrostática.

4.11.6 DEFINICIÓN DE COMBINACIONES DE CARGA.

Las combinaciones de carga que se utilizaron en el programa son recomendaciones que da la normativa API 650 apéndice P , las cuales contempla 2 combinaciones importantes para el estudio dinámico de la estructura las cuales son:

- $1,2 * \text{Carga muerta} + 1,4 * \text{Carga hidrostática} + 0.5 * \text{Carga de sismo} + 0.5 * \text{Carga de viento}.$

Esta combinación de carga resulta la más crítica contemplada en la normativa API 650 por lo que si se obtiene buenos resultados se considerará que el diseño es el apropiado.

- Carga muerta + Carga hidrostática + Carga de sismo.

Se ha tomado esta combinación de carga debido a que los valores obtenidos en el diseño son mas altos en la carga de sismo que en la carga del viento por lo que se ha decidido simular con la carga de sismo.

Estas dos combinaciones de carga serán las más influyentes para el diseño debido a que si ocurrieran los casos nombrados el tanque debe soportar las cargas aplicadas.

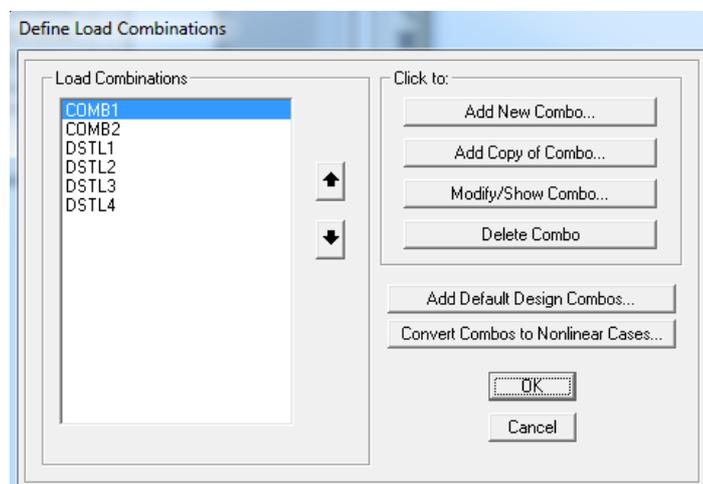


Figura 4. 46 Combinaciones de carga

Se ha definido como comb1 y comb2 a las combinaciones antes mencionadas para efectos simulación en el programa SAP 2000.

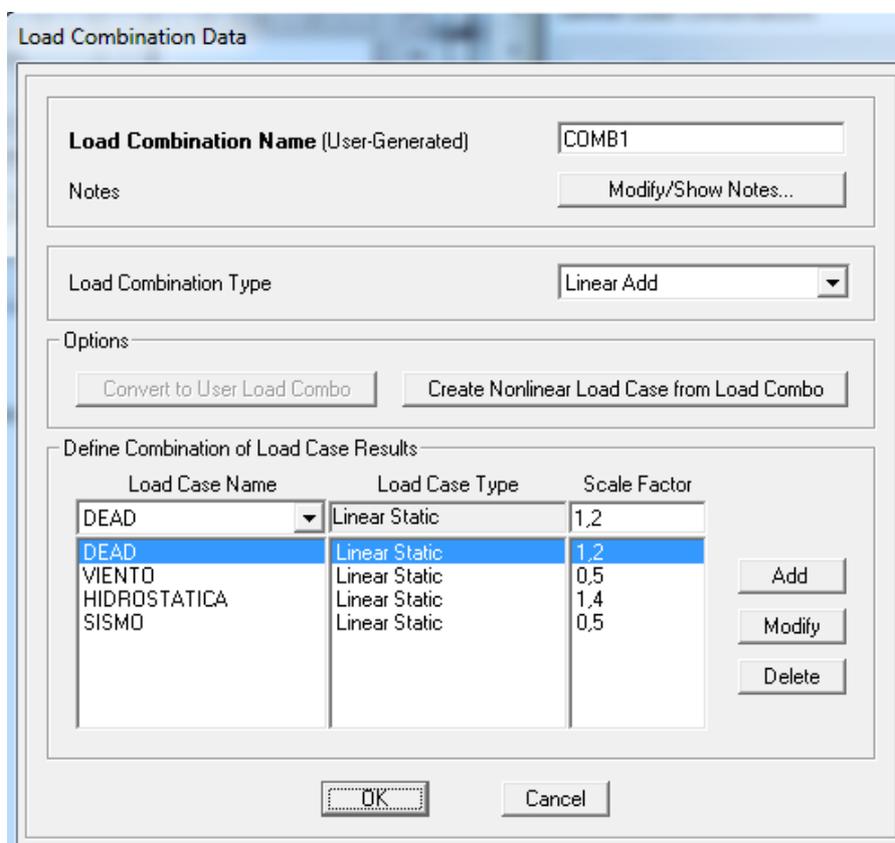


Figura 4. 47 Combinaciones de carga comb1.

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	1.
DEAD	Linear Static	1.
SISMO	Linear Static	1.
HIDROSTATICA	Linear Static	1.

Figura 4. 48 Combinaciones de carga comb2.

4.11.7 ASIGNACIÓN DE CARGAS.

Se procedió a asignar las cargas bajo los patrones y casos de carga concebidos en la definición de parámetros, siguiendo las cargas ya calculadas en el diseño.

4.11.7.1 Carga hidrostática.

Se aplicó con la asignación del patrón de carga de punto (hidrostática), definido en los parámetros, calculando las ecuaciones de frontera que permiten notar el comportamiento de la carga de presión en la superficie de los anillos de plancha en forma triangular en relación al eje z.

Cálculo de presión hidrostática.

$$P_h = \delta * g * h$$

$$P_h = \left(1000 \frac{Kg}{m^3}\right) * \left(9,8 \frac{m}{s^2}\right) * (17,07 m)$$

$$P_h = 167456,7 Pa.$$

Donde:

P_h = Presión hidrostática.

δ = Densidad del agua a temperatura ambiente.

g = Gravedad.

h= Altura columna de agua.

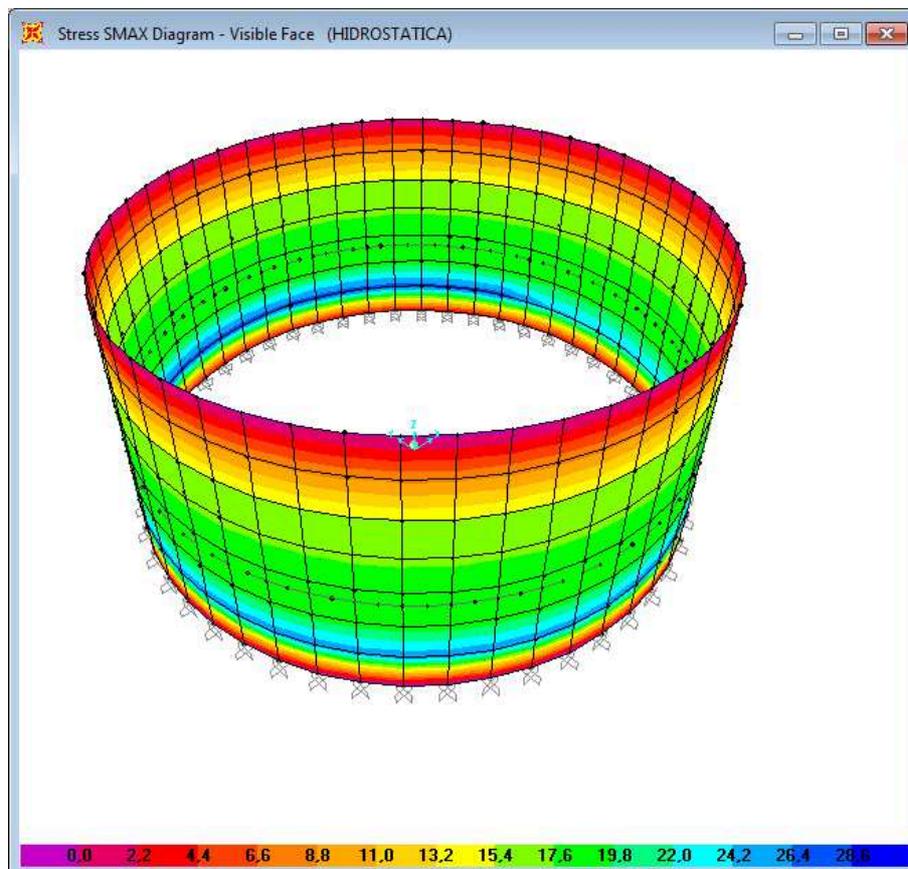


Figura 4. 49 Presión sobre el cuerpo, producto de la prueba hidrostática.

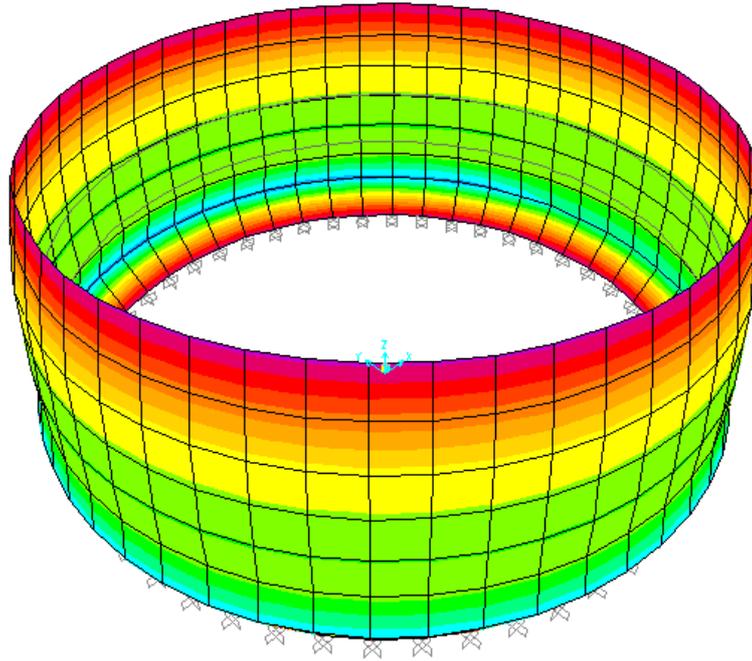


Figura 4. 50 Deformación sobre el cuerpo, producto de la prueba hidrostática

4.11.7.2 Carga de viento.

Se la aplico con la asignación del patrón de carga (VIENTO), definido en los parámetros, calculando las ecuaciones de frontera que permiten notar el comportamiento de la carga de presión en la superficie de los anillos de planchas en forma rectangular. Se ha considerado las recomendaciones dadas por la API 650.

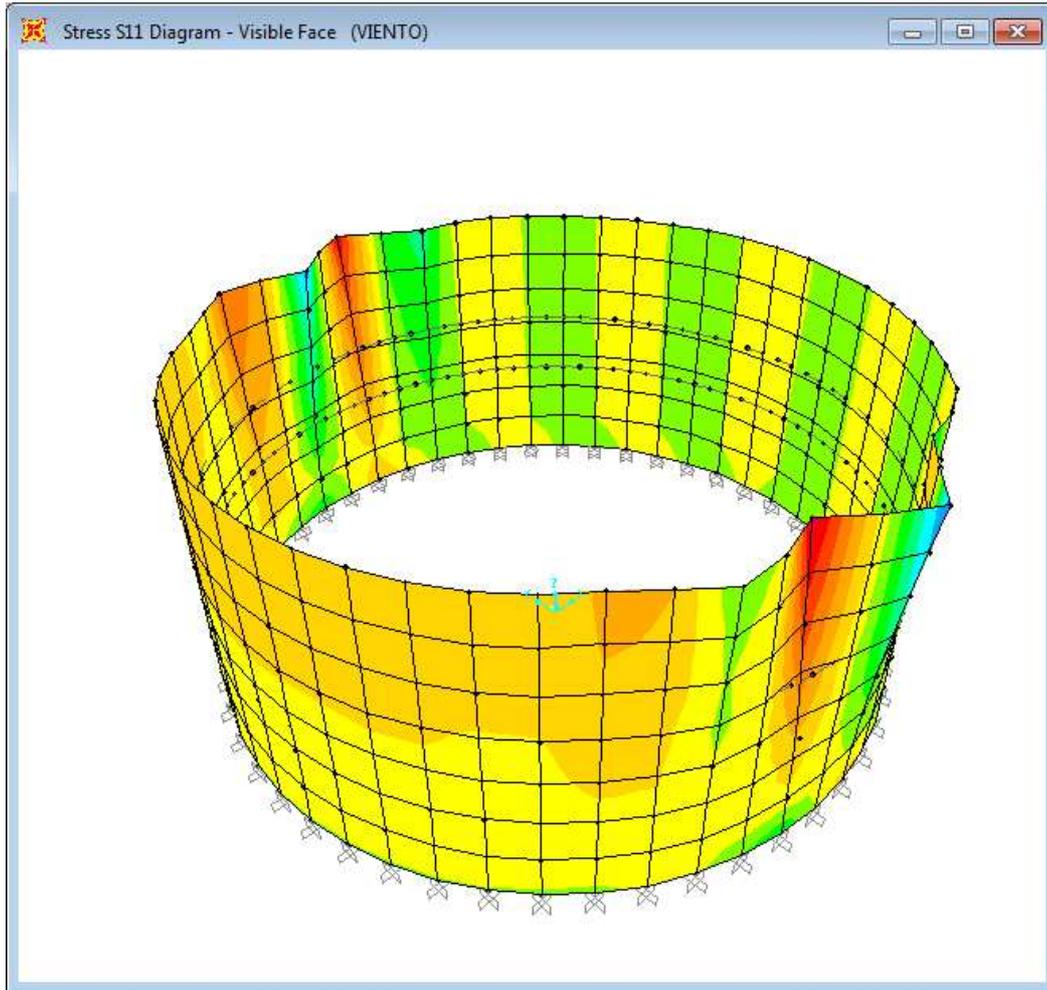


Figura 4. 51 Deformación sobre el cuerpo, producto de la carga de viento.

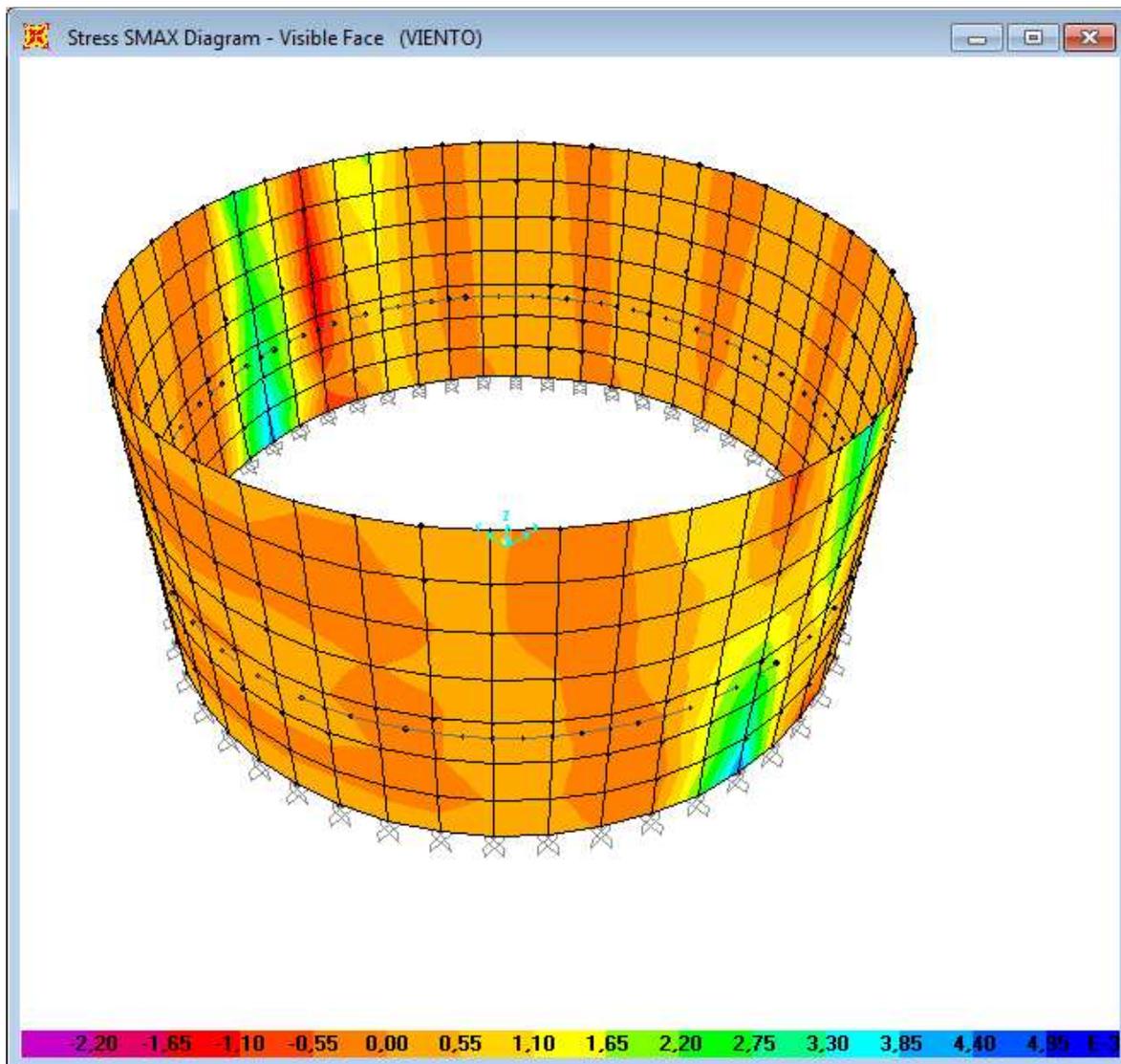


Figura 4. 52 Carga sobre el cuerpo, producto de la carga de viento.

4.11.7.3 Carga de sismo.

Se la aplicó con la asignación del patrón de carga (SISMO), definido en los parámetros, calculando las ecuaciones de frontera que permiten notar el comportamiento de la carga de presión en la superficie de los anillos de planchas en forma rectangular. Se ha considerado las recomendaciones dadas por la API 650.

Para ubicar la carga de sismo se procede de la siguiente manera:

Una vez calculados los pesos efectivo convectivo (W_c) y peso efectivo impulsivo (W_i)⁸⁹, además de conocer las alturas a las que son aplicadas se procede a distribuir toda la fuerza a lo largo del perímetro a las alturas determinadas siguiendo la siguiente fórmula⁹⁰:

$$\text{carga de sismo} = \frac{\frac{1}{2} * W_i + \frac{1}{2} W_c}{\frac{\pi * D}{2}}$$

Una vez determinado esta carga se la ubica a las alturas correspondientes y en un mismo sentido para luego proceder a la simulación.

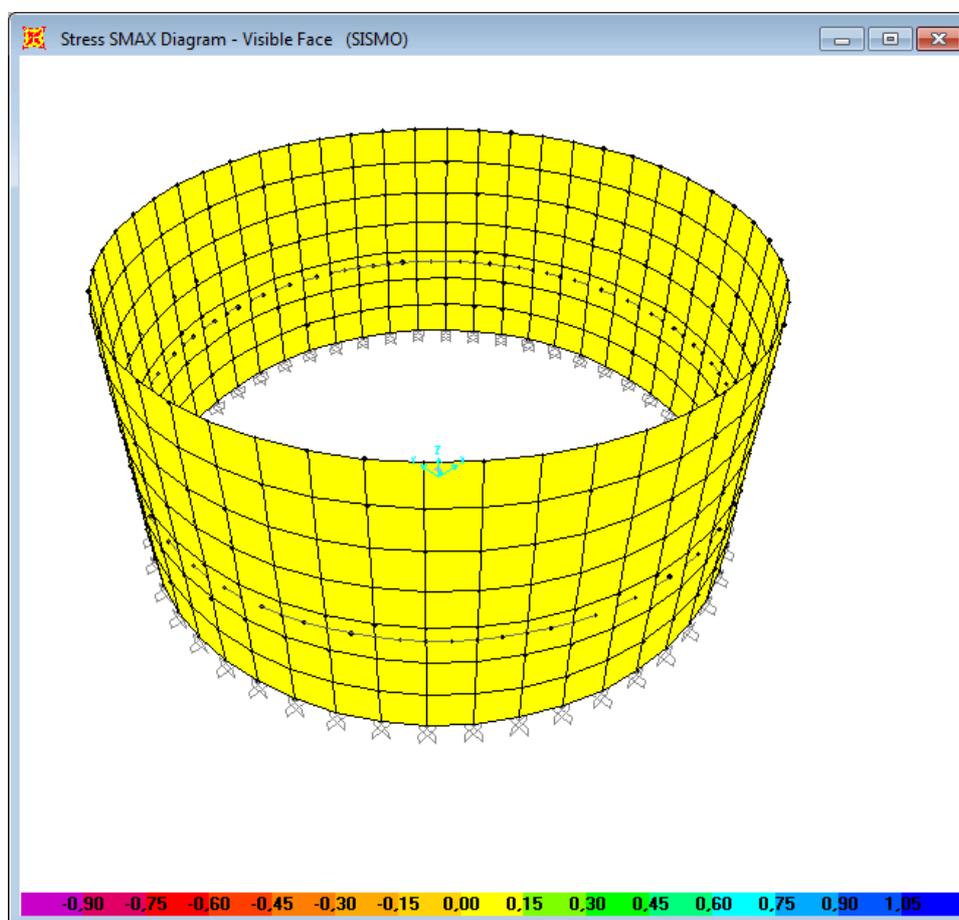


Figura 4. 53 Carga sobre el cuerpo, producto de la carga de sismo.

⁸⁹ Parámetros definidos en el capítulo 3 parte 3.11.5

⁹⁰

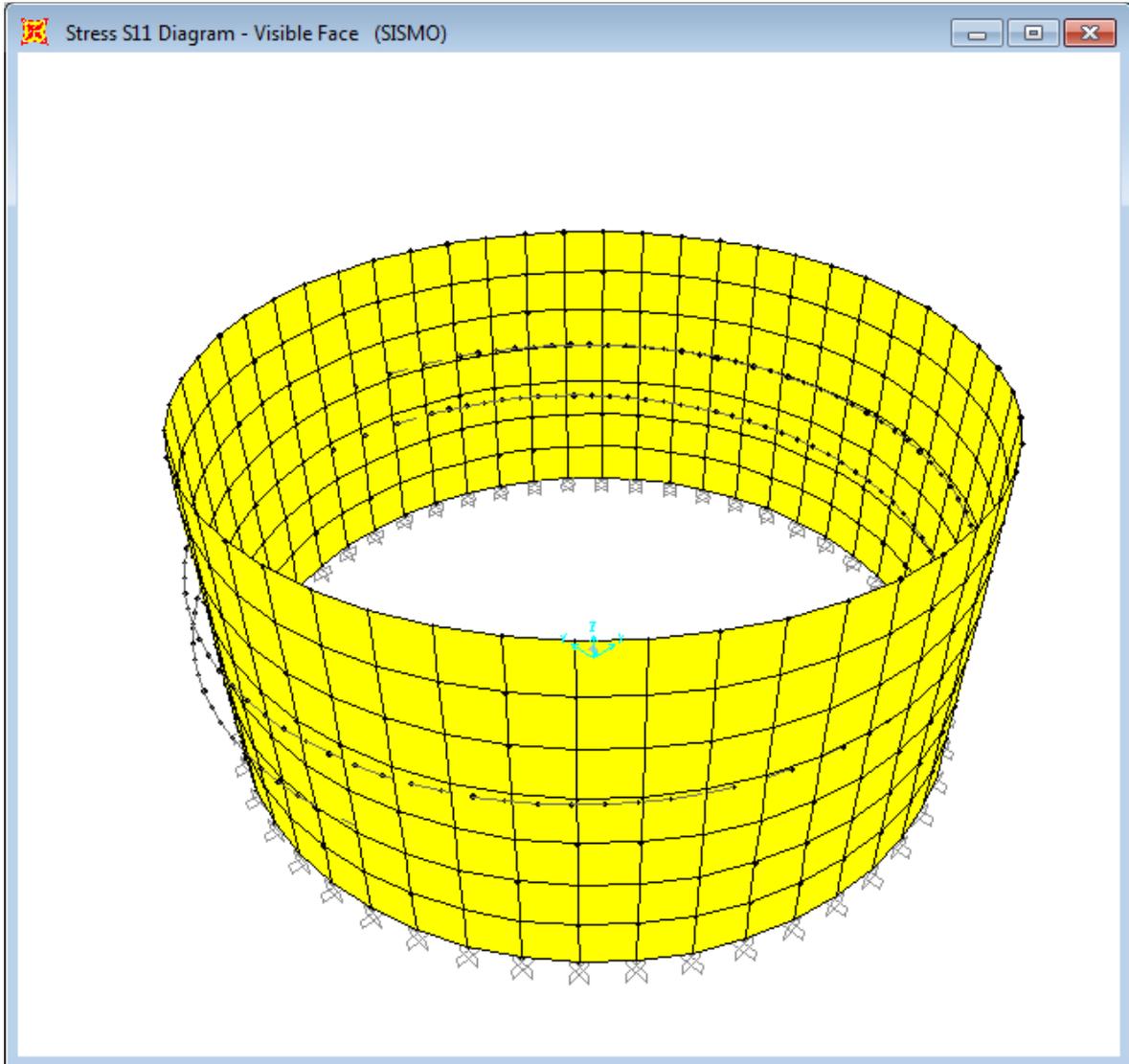


Figura 4. 54 deformaciones del cuerpo, producto de la carga de sismo.

4.11.7.4 Combinación de carga 1

Como se había determinado la combinación 1 es la más crítica en el desarrollo de la simulación por lo que se debe poner especial cuidado en la interpretación de los resultados obtenidos ya que pueden ser cruciales al momento de tomar una decisión.

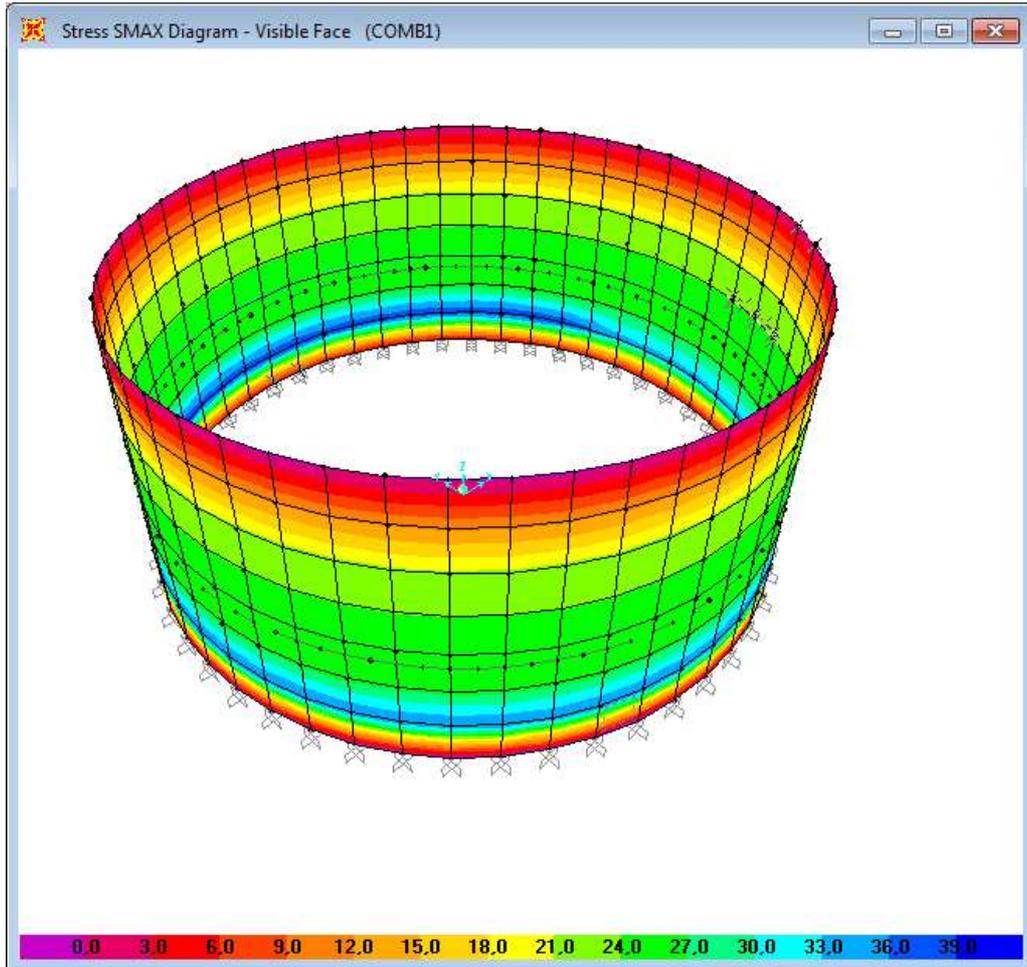


Figura 4. 55 Esfuerzo sobre el cuerpo por combinación de cargas 1.

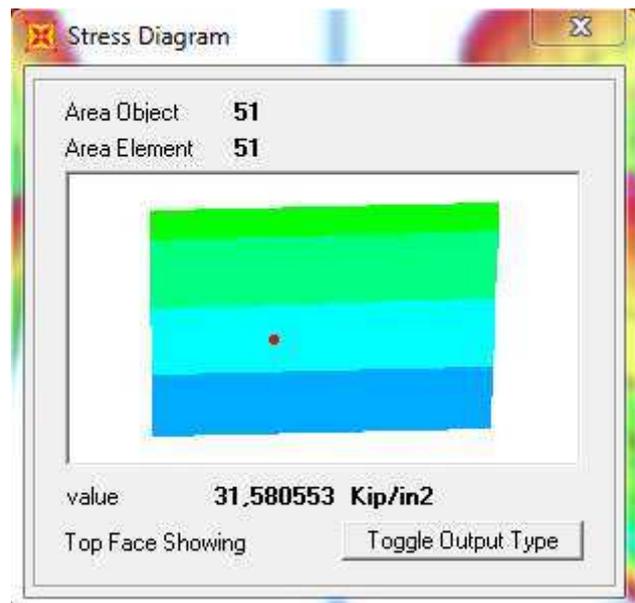


Figura 4. 56 Máximo valor de esfuerzo en el cuerpo del tanque.

Como se puede apreciar el mayor valor que soporta el cuerpo del tanque es de 31,5 Kpsi por lo que el material elegido ASTM A36, soporta debido a que tiene un límite de fluencia de 36 Kpsi por lo que el material soportaría sin problemas la condición mas crítica de la simulación.

Es importante recalcar que los parámetros introducidos fueron aumentados en un 30% aproximadamente para la prueba hidrostática carga que es de mayor importancia en el tanque de almacenamiento.

CAPITULO 5

CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

5.1 INTRODUCCIÓN.

El propósito del presente capítulo es el de proporcionar una guía rápida, sencilla y de fácil entendimiento con respecto al montaje del tanque de almacenamiento.

Se debe indicar que en el análisis del montaje existen varias alternativas a las cuales se puede acoger el diseñador, con el objeto de que este proceso sea viable tanto económica como técnicamente.

Cada constructor normalmente posee un método en particular para el ensamble de tanques, las cuales generalmente son adoptados como resultado de las experiencias, y han desarrollado una técnica de construcción más óptima, economizando tiempo, mano de obra y optimización de recursos en campo.

A continuación se detallará el método clásico en el montaje de techos flotantes, estos métodos ayudarán a dar una idea general sobre cómo se construye un tanque de almacenamiento.

Para construir los tanques de una buena calidad, buena apariencia y libre de distorsiones en el cuerpo, es necesario una correcta secuencia de soldadura para evitar distorsiones en la geometría del tanque.

Las secuencias correctas de soldadura deben ser controladas por un supervisor capacitado en el control de soldaduras.

5.2 CIMENTACIÓN.

Es necesario verificar si la cimentación realizada cuenta con las especificaciones y requerimientos dado por el diseñador.

Para el montaje de tanques techo flotante es necesario que la cimentación este en la capacidad de soportar la carga aplicada para ello se recomienda usar una cimentación a base de anillos bajo el cuerpo del tanque que puede ser de concreto armado o piedra triturada.

En nuestro país se ha generalizado el uso de los anillos de concreto armado para cualquier capacidad de tanques, los cuales son diseñados y construidos de acuerdo a las recomendaciones que la normativa API 650 Apéndice B.

Las cimentaciones construidas sean de concreto o de piedras, estarán sujetas a los siguientes revisiones antes de proceder al montaje del tanques.

- El radio medio del anillo deberá ser el correcto, según el diseño con una tolerancia de ± 25 mm (1´´).
- Las dimensiones del anillo serán revisadas, así como la localización de rebajes para las puertas de limpieza.
- La pendiente de la base (pendiente del fondo del tanque) y la elevación de la corona en el centro del tanque, serán revisadas y probadas, de acuerdo a los planos de cimentación.
- La base deberá ser compactada, uniforme y configurada apropiadamente. La superficie deberá estar libre de piedras de diámetros mayores de 25 mm. (1´´).

Uno de los parámetros a manejar en el diseño y la construcción de la base del tanque es el momento de vuelco y la fuerza cortante en la base del tanque debido carga sísmica, y los pernos de anclaje su disposición y tamaño.



Figura. 5.1 Cimentación tanque de almacenamiento.

Antes de colocar las planchas de fondo del tanque, se debe realizar la resistencia de suelos, mediante cuatro perforaciones realizadas una en el centro y las tres restantes en la periferia de la base del tanque (ubicadas a 120°). Si la resistencia

del suelo es mayor a 2 Kg/cm², no se necesita cambio del material base, caso contrario es necesario el cambio del material de la base como indique el tecnico de suelos o proceder al pilotaje.

5.3 CENTRO.

Es necesario localizar el centro del tanque en la base, antes que sean tendidas las placas del fondo, algunas veces se conserva el centro original que sirvió para la construcción del anillo de cimentación (localizado por coordenadas en los planos generales del proyecto).

Después de haber localizado el centro, se medirá el radio del tanque en todas sus direcciones (deberá coincidir con el eje del anillo) para confirmar que las dimensiones de la base son adecuadas para el tanque que se va a montar y que el centro este correctamente definido.

5.4 ORIENTACIÓN Y EJES DEL TANQUE.

La orientación indicada en los planos, está referenciada generalmente al norte o eje 0°. Este norte constructivo o de dibujo puede o no coincidir con el norte real de modo que es muy importante verificar que la orientación de boquillas, puerta de limpieza manholes, etc. Estén de acuerdo con lo especificado en el diseño del tanque.

Para referencias posteriores, deberán trazarse con exactitud los ejes N-S y E-W (0°-180° y 90°-270°) de acuerdo con las indicaciones de los planos.

Una vez encontrado los ejes deberán ser proyectados a la cara exterior de anillo de concreto, esto para que no se puedan borrar, de esta manera se podrá localizar los ejes con mayor facilidad una vez que este tendidas las planchas de fondo.

5.5 REVISIÓN DEL ANILLO DE CIMENTACIÓN.

Colocar un nivel en el centro de la base del tanque, y a partir del norte convencional ó 0°, tomar lecturas del nivel del anillo de cimentación moviéndose de derecha a izquierda y cada lectura deberá registrarse en una forma adecuada. Estas operaciones topográficas se harán antes que se tienda el fondo y servirán

para revisiones posteriores, durante el montaje de la envolvente y después que el tanque ha pasado por las pruebas de calidad, se comparen a fin de detectar posibles asentamientos de la cimentación.

Si en la primera nivelación resulta el anillo de cimentación fuera de las tolerancias admisibles, notifíquese inmediatamente antes de tender el fondo. El constructor de la cimentación desarrollará los anillos dentro de las tolerancias indicadas. Sin embargo, en muchos casos no se logrará esta exactitud por lo que se tiene la opción de recomendar el uso de calzas con láminas delgadas de acero, en cuyo caso el primero de éstas deberá estar a nivel con una tolerancia de ± 1.5 mm ($\pm 1/16$ "). La base deberá estar a nivel con el borde del anillo para que se tenga un apoyo efectivo de las placas del fondo.

5.6 REQUERIMIENTOS DE HORIZONTALIDAD DE LA ENVOLENTE.

El borde superior de cada anillo del cuerpo debe estar a nivel con una tolerancia de ± 3 mm ($\pm 1/8$ ") en una longitud de 9.00 m (30') en cualquier parte del perímetro del tanque y una tolerancia de ± 6 mm ($\pm 1/4$ ") en la circunferencia total desde un punto de referencia.

Estas tolerancias son aplicables a cualquier tipo de cimentación adoptada.

5.7 VERTICALIDAD.

La máxima desviación de la vertical desde la parte más alta de la envolvente a un punto situado a 300 mm, arriba del fondo, no deberá exceder de $1/200$ de la altura total H del cuerpo.

La desviación en cada anillo, será proporcional a la máxima. Para el presente caso se tiene:

El tanque posee 7 anillos de 2438 mm (8') de ancho cada uno, la altura total H es 17066 mm (56'). La desviación total será de 86 mm (3,4") y en cada anillo, la tolerancia se incrementará 12.5 mm ($1/2$ ") como máximo.

La desviación con respecto a la vertical en cualquier placa de la envolvente no excederá de los valores especificados anteriormente.

5.8 REDONDEZ.

Los radios de la envolvente medidos a 300 mm (1') arriba del fondo, no excederán de las tolerancias indicadas en la siguiente tabla:

Tabla. 5. 1 Tolerancia de los radios del cuerpo del tanque.⁹¹

Diámetro del tanque	tolerancia en el radio
hasta 12 metros (40')	± 13 mm ($\pm \frac{1}{2}$ ")
de 12 a 45 metros (40' a 150')	± 19 mm ($\pm \frac{3}{4}$ ")
de 45 a 76 metros (150' a 250')	± 25 mm (± 1 ")
mayor de 76 metros (mayor de 250'), incluido.	± 32 mm ($\pm 1 \frac{1}{4}$ ")

5.9 "PEAKING" (DISTORSIÓN VERTICAL).

La tolerancia por "peaking" en la envolvente será de 13 mm medida con una cercha de madera de 900 mm (36") de longitud, curvada al radio exterior del tanque.

5.10 "BANDING " (DISTORSIÓN HORIZONTAL).

La tolerancia por "banding" en la envolvente será de 13 mm medida con una cercha de madera recta de 900 mm (36") de longitud.

5.11 NIVELACIÓN DE LOS ANILLOS DEL CUERPO.

Llevar registros de las lecturas de nivelación de la envolvente, después que cada uno de los primeros tres anillos ha sido montado, si ha ocurrido un asentamiento diferencial mientras se está montando el segundo y el tercer anillo, continuar revisándolos hasta que dos anillos consecutivos no registren hundimientos diferenciales. Asentar lecturas antes y después de cada re-nivelación. También registrar los diámetros de tanques de techo flotante en todos los anillos que requieran lecturas de nivel. Véase la Tabla. 5. 2, para las diferencias admisibles en dichos diámetros.

⁹¹ API Standard 650, 11 Edition Junio 2007, addendum 2 , Part . 7.5.3. pag 7-8

Tabla. 5. 2 Diferencias admisibles de diámetros.

Diámetro del tanque.		Diferencia admisible.	
m	ft	mm.	in.
0-12	0-40	25	1
12-45	40-150	38	1 ½
45-76	150-250	51	2
MAYOR DE 76		64	2 ½

5.12 EQUIPOS DE MEDICIÓN Y MEDICIONES.

A. CINTAS DE MEDIR

Usar únicamente cintas de acero para efectuar mediciones. Está demostrado que las cintas de género o de fibra de vidrio no son seguras por la índole de las mediciones que se realizan durante el montaje de un tanque. Las cintas metálicas se calibran comúnmente a 4.5 kg (10 lb) de tensión cuando están apoyadas en toda su extensión. Por lo tanto, cuando se efectúan mediciones con la cinta tendida en el fondo o suspendida verticalmente adosada a la pared de la envolvente, deberá ser tensada al valor antes mencionado.

B. EQUIPO DE TOPOGRAFÍA.

Además del equipo de topografía convencional, actualmente se cuenta con el sistema digital conocido como GPS (Global Positioning System) el cual mide distancias utilizando el tiempo de viaje de señales de radio mediante la triangulación satelital, este método es de alta precisión y nos permite manejar los siguientes tipos de coordenadas :

- **ARBITRARIAS**
- **UTM**
- **GEODESICAS**
- **CARTESIANAS**

Los trabajos realizados con este tipo de equipo se pueden interpretar en los programas CARTOMAP o AUTOCAD, realizándose las siguientes mediciones:

- **TIEMPO REAL:** Determina las coordenadas en el momento en que se realiza la medición.

- **POST-PROCESO:** Se efectúa la medición y se procede a calcular las coordenadas.

5.13 MONTAJE FONDO DEL TANQUE.

Distribuir y tender las placas del fondo del tanque, con el equipo disponible: grúa, pluma, montacargas, etc., las placas se tenderán en su lugar siguiendo la secuencia señalada en los planos, empezando del centro hacia la periferia, dependiendo de la dirección del traslape. Puntear las placas entre sí no más de lo requerido para asegurarlas en su lugar.

El control de la deformación de las placas es muy importante en la soldadura del fondo. En tanques muy grandes, es más crítico dicho control. Únicamente un estricto apego a los procedimientos, harán mínimos los problemas de la deformación.

La limpieza e inspección de la soldadura del fondo deberá hacerse simultáneamente con el avance de la soldadura. Preferiblemente, lo que se suelda en un día, debe inspeccionarse y probarse el mismo día. Marcar con pintura el avance de estas operaciones.

5.13.3 MONTAJE DE FONDO Y SECUENCIA EN LA APLICACIÓN DE LA SOLDADURA.

Fondos con placas anulares, soldadas a tope con bisel en V láminas de respaldo. Montar el fondo de tanques de acuerdo con las instrucciones dadas en el orden indicado en los siguientes párrafos:

Colocar la placa correspondiente al centro del tanque y transportar a la misma dicho centro, previamente localizado haciendo coincidir la intersección de los ejes N-S y E-W con la intersección de las diagonales de la placa. Soldar en el nuevo centro, un perno de 13 mm (1/2") de diámetro y 100 mm (4") de longitud. Conservar esta importante marca pues es un auxiliar para trazos y mediciones posteriores.

Tabla. 5. 3 Aumento al radio por placa anular.

Número de placas anulares	13	19	25	32	38	44	50
Aumento al radio del plano en mm	6	10	13	16	19	22	25

Tender y ajustar las placas anulares a fin de obtener una separación apropiada entre placa y placa, usar el radio indicado en los planos para la periferia de las placas, aumentando algunos milímetros, según la Tabla. 5. 3.

Iniciar el montaje de las placas rectangulares traslapadas del fondo, de acuerdo con su colocación y la secuencia marcada en el plano respectivo.

Soldar los 250 mm (10") del extremo exterior de todas las juntas radiales de las placas anulares, esmerilarlas e inspeccionar la soldadura con tintas penetrantes o partículas magnéticas.

Montar el primer anillo de la envolvente y soldar las juntas verticales.

Fijar la junta entre fondo y envolvente. En los tanques de gran capacidad, las placas del primer anillo son tan gruesas que los punzones o cuñas de ajuste entre la envolvente y las tuercas punteadas en las placas anulares, deforman éstas en lugar de redondear la envolvente.

Puntear las placas irregulares a las anulares para agregar resistencia cuando sea necesario.

Soldar la junta circular entre la placa anular y el primer anillo de la envolvente. Esta soldadura origina que el lado interior (lado recto) de las placas anulares tienda a levantarse debido a la contracción. Uno o todos de los siguientes métodos deberán ser usados para controlar esta deformación.

- Puntear canales (de los usadas como rigidizantes) entre la envolvente y las placas anulares.
- Tender placas irregulares sobre las anulares para que sirvan como contrapeso y ayuden en esta forma a evitar que las placas anulares se levanten.
- Soldar primero el cordón exterior de la junta fondo-envolvente (soldadura de filete) para que las placas anulares deformadas tiendan a volver a su posición horizontal.

Con oxicorte desbastar las juntas radiales no soldadas entre las placas anulares abriéndolas a la separación apropiada.

Terminar de soldar estas juntas sin interrupción y botar la lámina de respaldo. Examinar el primer paso (fondeo). Si las placas irregulares han sido tendidas antes de soldar las placas anulares, asegurarse de levantarlas por la orilla para soldar completamente las juntas de las placas anulares.

Fijar y soldar las placas irregulares unas a otras. Cuando hayan sido soldadas todas las placas rectangulares, soldar las irregulares. El uso de candados entre estas costuras, ayudará a mantener las placas anulares planas.



Figura. 5. 2 Distribución planchas de fondo.

5.13.3 TENDIDO DEL FONDO CON PLACAS TRASLAPADAS RECTANGULARES.

El arreglo del tendido de las placas del fondo, puede adoptar varias formas. A continuación se describe el tipo más común:

Fondo con las placas formando hileras longitudinales y filas transversales. Las placas periféricas de cierre son anulares e irregulares. Este arreglo es para tanques de gran capacidad (de 100000 a 500,000 BLS).

En el arreglo de placas descrito en el párrafo anterior se usa en los grandes tanques de almacenamiento con techo flotante, las filas de placas

transversales deberán traslaparse por encima de las hileras longitudinales adyacentes, a menos que lo prohíba alguna especificación particular del diseñador.

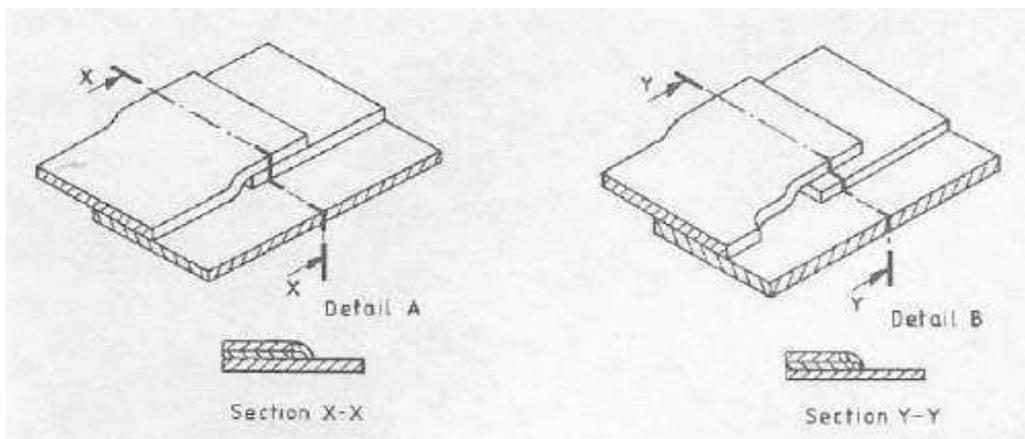


Figura. 5. 3 Traslape típico de planchas de fondo

5.13.3 SECUENCIA DE APLICACIÓN DE SOLDADURA EN EL FONDO CON PLACAS TRALAPADAS.

Es importante que se adopten los procedimientos de soldadura de fondos una secuencia determinada previamente calificada. A continuación se describe la técnica de aplicación de soldadura:

La soldadura puede iniciarse tan pronto como las placas rectangulares son colocadas y fijadas en su lugar con un mínimo de puntos de soldadura (punteo). Soldar las juntas traslapadas a lo largo de las placas rectangulares de cada hilera y las de las filas transversales a lo ancho con costuras en un solo sentido y del centro hacia la periferia. Las juntas deberán estar libres de escoria, chisporroteo cuando se suelden. Usar electrodos especificados en los WPS respectivos.

- Soldar las juntas entre hileras y filas en forma ininterrumpida y siempre del centro hacia la periferia.
- Ajustar los traslapes en las esquinas de las placas irregulares.
- Montar el primer anillo del cuerpo y soldar las juntas verticales.

- Ajustar y soldar una de las juntas circunferenciales entre fondo y envolvente. Soldar o puntear las placas irregulares entre sí, antes de montar el segundo anillo.
- Soldar el segundo cordón circunferencial de la junta fondo-envolvente.
- Soldar las placas irregulares entre sí y a las rectangulares.

Estas costuras pueden realizarse en cualquier momento y después que se han completado la junta fondo-cuerpo y las verticales del primer anillo.

NOTA: Para tener en cuenta la contracción en tanques con diámetros mayores de 60 metros (200'), soldar juntas alternadamente al mismo tiempo que se eliminan los puntos en las juntas no soldadas aún

5.14 MONTAJE CUERPO TANQUE.

A continuación se indica un método general de montaje:

1. Montar el anillo número 1.
3. Fijar y soldar las juntas verticales del primer anillo.
4. Ajustar y soldar la junta circunferencial entre las placas del primer anillo de la envolvente y las anulares.
5. Montar dos (2) placas del segundo anillo.
6. Ajustar, fijar y soldar la junta vertical en estas dos placas.
7. Continuar el montaje del segundo anillo ajustando, fijado y soldando sus juntas verticales.
8. Ajustar y soldar la junta horizontal entre el primero y el segundo anillo.
9. Montar los anillos restantes: 3, 4, etc., siguiendo la misma secuencia. Soldar siempre las juntas verticales antes que las horizontales.



Figura. 5. 4 Detalle montaje cuerpo dentro del tanque.



Figura. 5. 5 Montaje de planchas usando grúa

5.14.3 RECOMENDACIONES PREVIAS AL MONTAJE DEL PRIMER ANILLO.

Revisar, para asegurarse que el centro ha sido exactamente transferido de la base a la placa central del fondo. Cuando las placas anulares (o las irregulares se han tendido y ajustado, transferir los ejes N-S y E-W marcados en el anillo de cimentación, a dichas placas.

5.14.3 NIVELACIÓN, VERTICALIDAD, REDONDEZ Y TOLERANCIAS.

Para asegurar el montaje correcto de un tanque tipo techo flotante y que posteriormente deba funcionar sin problemas, se necesita revisar primero en la

cimentación y después en las distintas etapas del montaje del cuerpo, que los requerimientos de nivelación, verticalidad y redondez de estas partes, se encuentren dentro de las tolerancias marcadas en la normativa API 650.

En este punto se fijan las tolerancias y se establecen los procedimientos para mantener la cimentación de un tanque a nivel, así como la redondez del mismo durante el montaje. El desnivel en el anillo de concreto, puede originar:

- A. Deformación (pandeo y partes planas) en la envolvente
- B. Tanques fuera de redondez.
- C. Tanques fuera de verticalidad.
- D. Separaciones irregulares en las juntas horizontales de los anillos del cuerpo.
- E. Dificultades en el ajuste y en el soldeo de las placas del cuerpo.

La experiencia ha demostrado que el tiempo consumido en revisar y corregir el desnivel de una cimentación, puede evitar serios problemas durante la construcción, pruebas y operación de un tanque. Complementando lo anterior se recomienda tomar lecturas periódicas de nivelación y llevar un registro de los asentamientos que hubiera, así como cualquier otro problema en la cimentación que pudiera afectar la operación de un tanque durante su vida útil.

5.14.3 LEVANTAMIENTO DEL PRIMER ANILLO.

Cuando los planos de montaje indican que varios anillos tienen las mismas dimensiones pero que las placas están marcadas con el número del anillo correspondiente o tienen una marca especial, deberán ser ordenadas por grupos y montadas con la marca de montaje indicada en el plano correspondiente. Aun suponiendo que no se tiene un reporte de discrepancias, es conveniente revisar dimensiones puesto que puede haber un anillo más angosto que los otros y pueden haber en el mismo una placa más larga o más corta.

Soldar en cada placa del cuerpo, correspondientes a las juntas verticales, así como las soleras para apoyar las ménsulas del andamiaje, todo esto antes de montarlas.

Montar las placas usando el equipo de maniobras apropiado: grúa, montacargas, balancín, pernos, estrobos, etc., y los herrajes especificados: candados, separadores, etc.

Sentar el extremo de la placa en la marca hecha previamente en el fondo que indica la localización de la junta vertical y sostenerla. Mover la placa hacia adentro o hacia fuera lo necesario para situar el otro extremo en la marca correspondiente. Las marcas señaladas con puntos en el fondo son muy importantes para localizar problemas de montaje si hay errores de fabricación.

Poner a plomo la placa y puntear con soldadura la placa y el fondo para sostenerla en su lugar.

Enganchar y montar sin soldar la segunda placa, háganse coincidir su orilla vertical con la de la placa montada y fijela a ésta. Mover la placa hacia fuera o hacia adentro lo requerido para hacer coincidir el otro extremo con la marca punteada en el fondo. Fijar ambas placas.

Cuando las placas se están montando, usar punzones, cuñas y fijarlas en su posición exacta. Continuar montando placas del primer anillo de la manera descrita hasta cerrarlo.



Figura. 5. 6 Montaje primer anillo.



Figura. 5. 7 Uso de Buggys en el montaje de tanques.

5.14.3 PLACAS CON PUERTAS DE LIMPIEZA.

Estas placas así como sus refuerzos y las mismas puertas de limpieza, deben ser diseñadas y detalladas por ingeniería de diseño para que posteriormente sean fabricadas en los talleres. Nunca deberán cortarse en el campo. Antes de iniciar el montaje de la envolvente, revisar si el material de la puerta está completo para que el montaje de éstas no se deje incompleto.

Colocar, las placas en su ubicación correcta como se indica en el plano respectivo, manejar en la misma forma que las demás placas de los anillos. Después de hacer coincidir los bordes extremos verticales con las de las placas adyacentes, sujétense con canales y placas de sujeción. No usar placas separadoras. No desenganchar el equipo de levantamiento, hasta que los candados estén correctamente instalados.

Una vez montadas, ajustadas y sujetas las placas de la puerta de limpieza, revisar la instalación y libérese el equipo de montaje.

Para contar con uno o más accesos hacia el interior del tanque, hay necesidad de remover las placas de las puertas. Esta remoción se hace hasta que sea absolutamente necesario introducir o sacar del tanque materiales, equipo y herramienta.

Las placas de las puertas no se quitarán hasta que las operaciones siguientes hayan sido ejecutadas:

1. Al menos dos anillos superiores, deberán estar completamente soldados.
2. La junta circunferencial fondo-cuerpo y la primera junta horizontal entre el primero y el segundo anillo estén soldadas.
3. La abertura que deja la placa al retirarla ha sido perfectamente reforzada con canales.
4. No empezar a quitar candados ni placas de sujeción, hasta que el equipo de izaje esté enganchado a la placa que se removerá.

Cuando las placas de las puertas se colocan en forma definitiva en su lugar, una vez que se terminó el montaje, fijarlas en ambas juntas verticales.

Cuando se suelden las juntas verticales, este pandeo desaparecerá debido a la contracción del metal de soldadura. Suéldese la costura horizontal de la placa de la puerta en la forma usual.

Se debe estar siempre pendiente de proteger al trabajador de objetos que puedan caer cerca, colocando tablonés en las ménsulas arriba de cada puerta de limpieza y de los registro de hombre por fuera y por dentro del tanque.

5.14.3 UNIÓN Y SOLDEO DE JUNTAS VERTICALES.

El uso de herrajes en las juntas verticales puede iniciarse tan pronto como dos placas de la envolvente son montadas. Cada junta deberá permanecer centrada. Los herrajes pueden colocarse interior o exteriormente pero siempre se colocarán en el lado opuesto al primer lado soldado.

NOTA: Nunca se corte una placa de envolvente o se suelde una abertura de raíz muy ancha sin conseguir la autorización.

5.14.3 AJUSTE DE JUNTAS VERTICALES.

Háganse los ajustes y unión de las juntas verticales siguiendo el orden indicado a continuación:

1. Emparejar las placas en el extremo superior de la junta para que queden al mismo nivel.
2. Revisar el extremo inferior de las juntas. Si los anchos de las placas varían en más de 3 mm, investigar si hay error de fabricación antes de fijar la

jointa. Medir el ancho de ambas placas y, dependiendo de la localización del error, o bien, fijar la jointa al ras en el extremo superior o inferior, o dividir el error. Entonces aumentar al lado conveniente de la placa con soldadura. Cualquier variación de ajuste en la parte superior se requiere que sea hecha antes de proceder a puntear.

3. Ajustar y amarrar la jointa empezando desde arriba hasta llegar a la parte inferior. Instalar separadores de lámina y punzones para asegurarse que la abertura de la raíz en los biseles es la correcta.

Es importante que la placa esté nivelada y a plomo después de ajustada y fijada con sus correspondientes herrajes.

5.14.3 SOLDADURA DE JUNTAS VERTICALES.

Soldar las jointas verticales de acuerdo con el procedimiento de soldadura indicado así como con el electrodo seleccionado, tanto para soldadura manual como para la automática.

Primero, soldar completo el lado de la jointa que no tiene herrajes sobre ella, si se suelda el lado que posee herrajes primero, puede originar grietas y fusión incompleta.

Los candados y los demás herrajes pueden ser removidos después que se ha soldado completamente el lado libre, puede dejarse si es necesario el rigidizante extremo para mantener una curvatura correcta, si ésta no se adquiere en la vertical cuando se ha terminado el soldeo, deberá corregirse la jointa.

Una moderada cantidad de martilleo puede dar la forma, pero no martillar en placas de 10 mm o más de espesor.

En el caso de necesitar vaciar la soldadura, se procede a sacar con arco-aire y resoldar, no corregir solamente el extremo. La vertical entera debe estar correcta.

5.14.3 SOLDADURA EN LA JUNTA CIRCUNFERENCIAL FONDO-CUERPO.

Esta soldadura puede ser trabajada en el momento que se quiera después que el primer anillo de la envolvente ha sido montado y todas las jointas verticales ajustadas y ensambladas.

El ajuste y el soldeo de la junta puede iniciarse antes que todas las verticales sean soldadas pero no hacer ninguna operación bajo una vertical que no ha sido completamente soldada. Parar a un metro aproximadamente de la vertical no soldada.

Sin embargo, para evitar problemas de contracciones mayores, es aconsejable soldar la junta fondo-cuerpo hasta completar la soldadura del tercer anillo de la envolvente.

La soldadura de un lado de la junta fondo-envolvente deberá hacerse antes que las placas irregulares sean soldadas una a la otra. soldar un lado primero y hacer la prueba con líquidos penetrantes. Soldar el otro lado tiempo después.

Si existe diferencia de espesores entre las placas de la envolvente y las anulares o irregulares, es conveniente precalentar la junta antes de soldar.

5.14.3 MONTAJE DEL SEGUNDO Y DEMÁS ANILLOS DEL CUERPO.

Amarrar cada placa al anillo inferior con canales rigidizantes y separadores. Los separadores se usarán en la junta horizontal aun cuando no haya abertura de la raíz. Los separadores deberán espaciarse alrededor de 1.20 m (4'), y siempre asegurar el borde extremo de la primera placa montada. Usar cuando menos tres (3) canales rigidizantes por placa.

Las placas de menos de 6 mm (1/4") de espesor presentan problemas especiales, debido a que éstas generalmente no son roladas, deberá usarse un tamaño apropiado de separadores para curvar las placas y sujetarlas para evitar se lleguen a caer.

- Ajustar y soldar las juntas verticales.
- Ajustar y soldar juntas horizontales (circunferenciales).

Sin embargo no sujetar la junta horizontal si se pasa por cualquier vertical que no haya sido completamente soldada, las juntas verticales deben tener libertad para contraerse cuando se están soldando y no deben estar frenadas por las juntas horizontales punteadas o soldadas.

Si se diseña un cuerpo de tanque cuyos anillos están formado por un número determinado de placas exactamente de igual longitud, si las placas de cada anillo no son montadas y ajustadas en su posición correcta, podría haber dificultades en

montar y ajustar la última placa, pues la longitud del claro donde debería alojarse dicha placa, podría no corresponder a la longitud de la placa.

Con la junta horizontal ya parcialmente soldada, llegaría a ser muy dificultoso distribuir el exceso de placa en la envolvente ya montada. Se acostumbra diseñar con cierto número de placas iguales y una última placa, de mucho menos longitud, llamada “placa de ajuste”, la cual se envía un poco más larga y se corta y adapta en el campo.

Con la tolerancia aceptable para la longitud de las placas, puede suceder que el desarrollo del anillo resulte ligeramente largo o más corto. Cuando se trabaja con herrajes en cualquier tipo de junta, el ajustador deberá estar consciente de cómo sus herrajes están afectando otra parte de la estructura.

Mientras se está ajustando la junta horizontal, deberá observar una y media o dos placas más adelante y tomar las medidas pertinentes según el caso.

1. Si hay una placa corta adelante, el ajustador puede aflojar algo las placas de adelante y hacer el ajuste.
2. O, si el ajustador está trabajando en una placa corta, él puede conseguir el aflojamiento de una placa larga de adelante.

Los códigos cubren la tolerancia admisible en el desalineamiento de la junta horizontal, la tolerancia por desalineamiento se refiere a la cantidad que la placa superior sobresale horizontalmente de la inferior ya sea hacia adentro o hacia fuera.



Figura. 5. 8 Montaje anillos tanque.

5.14.3 VARIACIÓN EN LA ABERTURA DE LA RAÍZ DE LA SOLDADURA.

Separaciones no uniformes en la junta horizontal, puede ser el resultado de una mala fabricación. En estos casos el borde de la placa deberá rellenarse con soldadura para producir una abertura uniforme. Puesto que la contracción es igual en cada mitad de la abertura, habrá problemas si no es rellenada apropiadamente. La contracción es una abertura irregular y hala el anillo poniéndolo fuera de nivel con el resultado de zonas planas u ondulaciones o dobleces.

Terminado el montaje y la soldadura del último anillo se procederá a montar los miembros estructurales como ángulos de rigidez, traveses de refuerzo contra el viento y ángulos atiestadores adicionales. El montaje de estos miembros, es una operación común y solamente se dan comentarios generales.

5.14.3 ÁNGULOS RIGIDIZADORES.

Antes de proceder al montaje de estos elementos deben revisarse de acuerdo con los planos de fabricación, como sigue

1. Revisar cada pieza para asegurarse que estén rolados apropiadamente.
2. Antes de soldar el ángulo de rigidez a la envolvente, plomear el ala vertical del ángulo.
3. Soldar el ángulo de rigidez.

5.14.3 SOPORTES INFERIORES DE REFUERZO VIGA DE VIENTO.

Antes de montar estos miembros, revisar la redondez de la parte superior del tanque. También revisar la verticalidad de la envolvente en cada junta vertical del último anillo. Si el tanque no está redondo o la envolvente no está a plomo, revisar la horizontalidad del anillo de cimentación y hacer las correcciones requeridas antes de montar la trabe de refuerzo.

- Trazar la localización de la sección correspondiente de la escalera exterior en la envolvente.
- Trazar la localización de las ménsulas de soporte en la envolvente.
- Montar las ménsulas.

Ajustar y fijar todas las juntas a tope de la trabe excepto una, asegúrese que estas juntas tengan la abertura apropiada a todo su largo. Esto ayudará a mantener la trabe redondeada al radio de diseño.

- Soldar todas las juntas a tope de la trabe.
- Ajustar y soldar la junta a tope que quedó pendiente.
- Soldar la trabe a la envolvente.
- Ajustar y soldar la trabe a las ménsulas.
- Revisar el diámetro del tanque nuevamente.

5.14.3 REVISIÓN DEL CUERPO DEL TANQUE.

A continuación, se sugiere un método para revisar la redondez de la envolvente de tanques abiertos en su parte superior donde se instalan techos flotantes.

Para revisar si la envolvente del tanque en su parte más alta está dentro de la redondez, se procede como sigue:

1. Hacer mediciones y registrarlas en todas las juntas verticales y a la mitad de todas las placas del último anillo.
2. Registrar todas las lecturas correspondientes.

Úsese la siguiente expresión para determinar tolerancias:

$$\text{Tolerancia} = 0,01 * (D + H)$$

Donde:

D = Diámetro del tanque.

H = Altura tanque.

Si la diferencia entre la más grande y la más pequeña dimensión en todo el perímetro del tanque es igual o menor que la tolerancia del diámetro calculada, la redondez de la envolvente se considera correcta para un funcionamiento satisfactorio del techo flotante.

5.14.3 LIMPIEZA DEL TANQUE.

La superficie exterior e interior de todos los tanques y todas las que se van a pintar se limpiarán como sigue:

1. Remover la escoria y las salpicaderas de las soldaduras.
2. Con cincel limpiar las rebabas de los cordones.
3. Cincelar, alisar y pulir esmerilando donde se requiere remover salientes puntiagudos y ásperos.
4. Remover acumulaciones de lodo, polvo y otras sustancias extrañas antes de levantar y montar las placas en su lugar.

5.15 MONTAJE DEL TECHO FLOTANTE.

Los tanques tipo techo flotante fabricados y montados, han sido diseñados con los techos a base de diafragmas sencillos, pontón perimetral, tubo-sello y una serie de boyas repartidas simétricamente en toda la superficie exterior del diafragma.

El funcionamiento en conjunto del pontón y las boyas es, por lo tanto, la más simple, lógica y económica respuesta al problema de suministrar flotación en tanques de gran diámetro. El tamaño, forma y cantidad de boyas varía con las condiciones especiales de cada proyecto y capacidad de los tanques. El volumen de flotabilidad proporcionado por el pontón y las boyas es más que el adecuado para sostener el diafragma flotando si ocurriese una rotura.

5.15.3 SECUENCIA DE MONTAJE DEL TECHO.

El montaje del techo flotante se puede iniciar una vez que se haya terminado de soldar el fondo y los tres primeros anillos de la envolvente del tanque. En términos generales, las maniobras del montaje se llevan a cabo siguiendo el orden indicado a continuación:

1. Ensamble del pontón y su montaje.
2. Armado de una obra provisional de apuntalamiento para apoyar el diafragma.
3. Arreglo y tendido de las placas del diafragma del techo.
4. Secuencia de soldeo del diafragma.
5. Instalación de boyas y los postes de soporte definitivos del techo y pontón.

6. Instalación de accesorios como el sistema de drenaje del techo, escaleras, interior y exterior, guía antirotación, válvulas, etc.

5.15.3 SUBEMSAMBLE Y MONTAJE DEL PONTÓN.

Las partes principales del pontón son: el anillo exterior e interior, el sector superior y el inferior. Lleva además otros elementos como registros de hombre, placas separadoras de compartimientos, soporte del pontón en el fondo, etc.

Normalmente, el pontón se fabrica en secciones, estas secciones se transportan al campo con todos sus elementos sueltos para ensamblarlos en la obra misma. Esto se puede hacer fuera del tanque sobre una cama bien nivelada o, en el interior del mismo directamente sobre el fondo, nivelando cada sección, con calzas.

A continuación se detalla el orden de armado comúnmente usado pero consultando siempre los planos de montaje respectivos.

1. Iniciar el ensamble por secciones, tendiendo las placas del sector inferior de cada sección sobre la cama nivelada o dentro del tanque, donde se prefiera. Calzarlas para ponerlas a nivel. Unirlas entre sí punteando las juntas radiales.
2. Los anillos del pontón, como ya se indicó, consta de dos partes en los tanques tipo techo flotante, colocar el anillo interior sobre la cubierta o sector inferior punteándola y en seguida el anillo exterior.
3. Colocar placas divisorias de los compartimientos del pontón, punteándolas a la envolvente y al sector inferior.
4. Colocar y puntear en la misma forma el anillo exterior.
5. Montar, ajustar y puntear el sector superior a los anillos exteriores e interiores, puntear también las placas divisorias de los compartimientos conforme se vaya cerrando el pontón. Cuidar que no coincidan las juntas verticales de las envolventes con las uniones radiales de ambos sectores.
6. Seguir la misma secuencia de ensamblado indicada para la primera sección del pontón en las restantes, montándolas a una altura adecuada y en forma provisional. Pueden emplearse separadores en las juntas verticales de las envolventes, ajustando y ligando todas las secciones

hasta cerrar el círculo del pontón. Se permite usar placas de cierre en el ajuste final.

7. Soldeo del pontón. Una vez ensamblada y montada con apoyos provisionales, cada una de las secciones, iniciar el soldeo de las mismas, primero las envolventes exterior e interior al sector inferior, soldar luego las juntas radiales y las verticales entre las secciones, al mismo tiempo soldar las placas de los compartimientos a los anillos y al fondo del pontón y finalmente el sector superior o tapa a las mismas envolventes. Es necesario disponer en todo momento de un juego de planos de montaje del pontón y consultarlo constantemente para los efectos del soldeo y trazos de todos los elementos adicionales que lleva, como registros, guía anti rotación, camisas para los soportes y sus refuerzos, ángulos de sostén del sello y solera circunferencial de apoyo del diafragma.



Figura. 5. 9 Soldadura pontones.



Figura. 5. 10 Pontones armados.

5.15.3 OBRA FALSA PARA APOYO Y ARMADO DEL TECHO.

Una vez soldado en su totalidad el pontón pero instalado provisionalmente, a fin de tener una superficie nivelada para el montaje del diafragma, es necesario proyectar un sistema de obra falsa para tener las placas del techo en un plano horizontal con respecto al fondo cónico del tanque.

Un proyecto sencillo de obra falsa, es utilizar un sistema de apoyos ajustables del diafragma, con tabloncillos colocados radialmente. Se pueden introducir variantes a este arreglo, siempre que se mantenga la condición de lograr una superficie a nivel para recibir la placa del diafragma.

5.15.3 ARREGLO Y TENDIDO DE LAS PLACAS DEL DIAFRAGMA DE TECHO (DECK).

Con un método semejante al usado para el tendido de las placas del fondo, se tienden y se ajustan las placas del techo a base de diafragma sencillo, sobre la obra provisional de apuntalamiento avanzado de la periferia hacia el centro del tanque. Los distintos conceptos tales como líneas de drenaje, boyas, registros, etc., deberán introducirse al tanque antes de completar el tendido del diafragma.



Figura. 5. 11 Obra falsa montaje deck.

5.15.3 SECUENCIA DE SOLDEO DEL DECK.

La secuencia de la soldadura en las placas del diafragma, como en el fondo, se inicia siempre del centro hacia la periferia. El uso de candados en las juntas entre las placas horizontales y las irregularidades está permitido pues evitarán deformaciones mayores del diafragma en estas partes. Todas las recomendaciones dadas para el soldeo del fondo del tanque, son aplicadas a la soldadura del diafragma.

5.15.3 INSTALACIÓN DE SOPORTES DEFINITIVOS DE TECHO.

Se notará que algunos de los postes tubulares caen directamente en costuras de soldadura. Se recomienda, en estos casos, que estos apoyos sean relocalizados en el campo de modo que no coincidan con las juntas soldadas del diafragma, agregando a lo anterior, será necesario desviar boyas (donde sea necesario) una pequeña distancia a fin de situarlas a unos 75 mm mínimos, o bien moverlas hasta quedar fuera de la costura. Soldarlas al diafragma y abrir agujeros para el paso de las camisas de sus postes de apoyo. Insertarlas en el agujero de la placa de refuerzo y soldarlas.

Después de la instalación total de los accesorios y colocados los postes de apoyo en sus camisas en el diafragma y el pontón, es necesario asegurarlos mediante pasadores.

Se harán las pruebas correspondientes de toda la instalación y de las soldaduras finales.

Para asegurar los postes a su camisa correspondiente como se indica en el plano de montaje, es necesario elevar el diafragma para insertar el perno de sujeción. Se sugiere una técnica a base de gatos apoyados en bastidores hechos de fierro. Después que se ha terminado la instalación definitiva de la totalidad de los postes, la obra falsa de soporte puede ser desmantelada y siguiendo a esto ya se pueden instalar los drenajes del techo y accesorios faltantes.



Figura. 5. 12 Soportes techo flotante.

5.15.3 INSTALACIÓN DE ACCESORIOS.

Terminado el montaje del diafragma, proceder a la instalación de los accesorios complementarios requeridos para el funcionamiento del techo flotante, de acuerdo con las recomendaciones siguientes:

1. Localizar y alinear los carriles de la escalera rodante. Tener especial cuidado en la instalación de los carriles para el desplazamiento de la escalera.
2. Armar las secciones de la escalera sobre los carriles en su posición extrema horizontal. Soldar las secciones entre sí, y levantar el extremo superior hasta ensartar el perno de articulación. Hacer la instalación completa antes de la prueba de llenado con agua.
3. Escalera exterior en espiral. El montaje de esta escalera se lleva a cabo después de terminada la erección y soldeo de la envolvente del tanque. Seguir el orden del montaje de la envolvente del tanque. Seguir el orden del montaje del extremo inferior al superior.
4. Localizar el indicador de nivel sobre la extensión de la envolvente y con plomada localizar sobre el pontón el pozo del flotador.
5. Localizada la posición de la guía antirotación, colocar el soporte superior y con plomada transportar la abertura de la camisa guía en el pontón y la posición del soporte inferior. Armar y soldar el conjunto y verificar la hermeticidad de la camisa-guía. La instalación se hará antes del llenado del tanque con agua.
6. Localizar las válvulas automáticas de venteo, abrir sus agujeros, montar camisas sobre el diafragma y soldar.
7. Localizar e instalar pozos y registros de muestreo, ventilas manuales, barras centradoras guarda manguera, parrillas de drenaje, etc. Toda perforación hecha al diafragma deberá verificarse con líquido penetrante después de soldar el accesorio.

5.16 PRUEBAS EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.

5.16.3 PRUEBAS EN EL FONDO DEL TANQUE.

Una vez terminado de soldar las placas del fondo del tanques, estas deben ser probadas para asegurar que el fondo está libre de fugas, para esto se realiza una prueba de vacío.

Esta prueba es preferible hacerla tan pronto se termine de soldar y antes de aplicar cualquier recubrimiento, para proceder con la prueba de vacío es necesario utilizar una caja de vacío como se muestra.

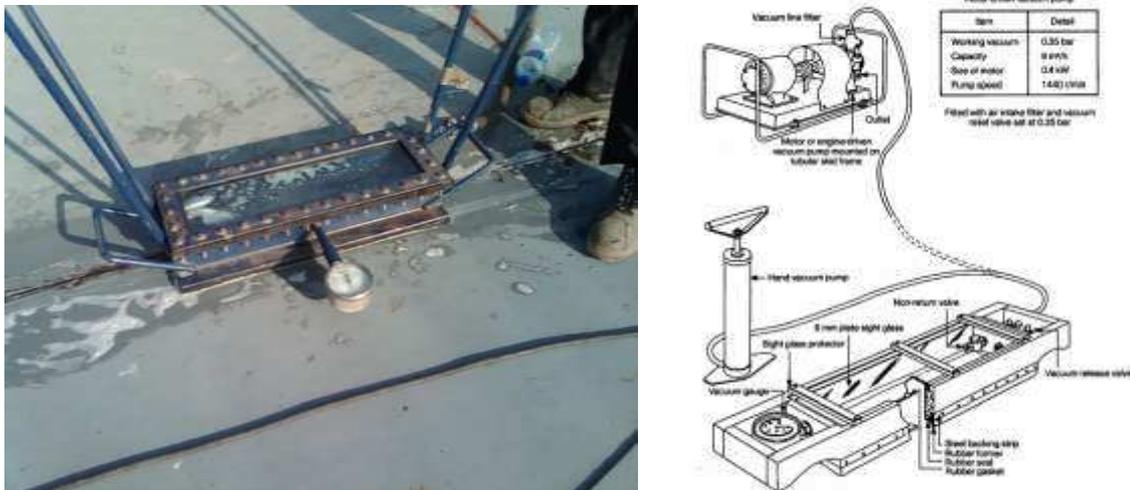


Figura. 5. 13 Soportes techo flotante

Una caja de vacío consta de un panel de cristal en la parte superior de 6 in. de ancho y 30 in de largo y en el fondo de la caja posee una junta de goma que funciona como empaque (sello) hermético alrededor de la sección de la soldadura a ensayar, cuando la caja de vacío se presiona contra la placas de fondo un vacío parcial se empieza a crear por medio de una bomba que succiona el aire contenido en la caja.

Posee además un vacuómetro con el cual se puede calibrar la presión de vacío deseada.

Para realizar la prueba de vacío se procede de la siguiente manera:

Tabla. 5. 4 Procedimiento prueba de vacío.

N°	RESPONSABLE	ACTIVIDAD
1.	Supervisor QA/QC	<p>Calificación de Personal</p> <p>El personal que ejecuta el control con caja de vacío según este procedimiento tiene que ser calificado. La calificación consisten en la verificación que el personal empleado para ejecutar este control tenga la necesaria experiencia y capacidad en la ejecución de lo dispuesto en este procedimiento.</p>
2.	Supervisor QA/QC	<p>Equipo</p> <p>Para el control será necesario disponer de los siguientes equipos:</p> <p>Caja para la generación del vacío</p> <p>Generador de vacío o compresor de aire</p> <p>Vacuómetro</p> <p>Cepillo de alambre</p> <p>Trapo Limpio</p> <p>Solución jabonosa o Spray</p> <p>La superficie a controlar será iluminada, si fuera necesario con lámpara de bolsillo u otro accesorio de iluminación para conseguir un mínimo de 15 footcandle (161 lux)</p>
3.	Supervisor QA/QC	<p>Actividades Preliminares:</p> <p>Las soldaduras a inspeccionar deberán limpiarse antes de la prueba con un cepillo de alambre para evitar que óxido, escorias, etc. pudiesen interferir o desvirtuar el resultado del ensayo.</p> <p>El tamaño de la caja de vacío será de dimensión de acuerdo a la fabricación y dispondrá de una mirilla superior que permita la entrada de luz y la observación del área antes mencionada. Además dispondrá de un vacuómetro en buen estado de conservación que permita determinar la presión diferencial existente y detectar la falta de hermeticidad de la junta o cualquier otro tipo de fuga que pudiera existir.</p> <p>El vacío se conseguirá conectando la caja a una bomba generadora de vacío o un compresor de aire que asegure una presión menor o igual a 0,20 bares (3psi)</p>

N°	RESPONSABLE	ACTIVIDAD
		La temperatura de las planchas en el momento del control tiene que estar entre los 10 grados C y los 50 grados C
4.	Supervisor QA/QC	<p>Ejecución de la Prueba</p> <p>La prueba se realizará como sigue:</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Obtener una solución jabonosa formada mediante la dilución de jabón líquido o detergente en 10 litros de agua. b. Aplicar con brocha u otro medio adecuado sobre la superficie que se va a ensayar. c. Una vez aplicada la solución se colocará la caja aplicando un vacío mínimo de 0,2 bares (3psi) durante mínimo de 5 segundos. d. Durante este tiempo se observará detenidamente la superficie ensayada para comprobar la ausencia o presencia de burbujas indicantes de la existencia de un posible poro en dicho sitio. Esto permite detectar defectos inmediatos que pueden pasar por alto el diferencial de presión. e. Todas las fugas que se detecten serán reparadas y nuevamente inspeccionadas con el mismo método extendiendo la inspección a 50 mm a cada lado de la reparación. f. Se realizará un solape de aproximadamente unos 50 mm entre un ensayo y otro para asegurar el ensayo de toda la superficie. g. Se emitirá un informe de la inspección identificando la superficie ensayada y el resultado del control.

5.16.2 PRUEBAS EN EL CUERPO DEL TANQUE.

5.16.2.1 Prueba gasoil.

Este procedimiento define la técnica y los criterios de aceptabilidad de las pruebas con gasoil para los ensayos de estanqueidad (sellado) de la soldadura de unión entre las planchas del fondo y las planchas del primer anillo del cuerpo de los tanques cumpliendo el principio de capilaridad del gasoil

Tabla. 5. 5 Procedimiento prueba de vacío.

N°	RESPONSABLE	ACTIVIDAD
5.	Personal Calificado	<p>El Personal que ejecuta la prueba según el presente procedimiento debe tener la experiencia y el entrenamiento apropiado.</p> <p>Se verificará que el personal empleado sea capaz de conducir el control de acuerdo al presente procedimiento.</p>
6.	Supervisor QC	<p>Instrumentación y Productos:</p> <p>La instrumentación del ensayo es constituida por un recipiente donde es ubicado el medio detector (GASOIL), y un rociador o brocha para su aplicación.</p>
7.	Supervisor QC	<p>Examen:</p> <p>El Control se efectuará sobre el primer pase de soldadura de ángulo del perímetro interior, entre las bases y las planchas de la primera virola.</p>
8.	Supervisor QC	<p>Preparación de las Superficies:</p> <p>La superficie a examinar será como al estado de soldado.</p> <p>La soldadura a examinar deberá ser liberada de aceite, grasa, escoria u otras sustancias que pudieran interferir negativamente sobre el examen y sobre la interpretación de resultados.</p> <p>Para la limpieza se usarán herramientas o medios mecánicos y solventes, etc.</p> <p>Antes de la prueba la superficie a examinar deberá estar seca.</p>
9.	Supervisor QC	<p>Temperatura de la superficie a Examinar:</p> <p>La temperatura de la superficie a examinar tendrá que ser comprendido entre 4 C y 50 C.</p>
10.	Supervisor QC	<p>Aplicación de Gasoil:</p> <p>El gasoil será aplicado sobre la soldadura del primer pase del lado externo del perímetro del tanque a través de una brocha o rociadores.</p> <p>El Tiempo de aplicación del gasoil tendrá que ser tal</p>

N°	RESPONSABLE	ACTIVIDAD
		para permitir la penetración del mismo por un tiempo mínimo previsto de 24 horas.
11.	Supervisor QC	<p>Criterio de Aceptabilidad:</p> <p><u>Examen visual</u></p> <p>El examen visual será conducido a una distancia no superior a 600mm de la superficie por examinar, este último será iluminado suficientemente.</p> <p><u>Valoración de las indicaciones:</u></p> <p>Todas las discontinuidades a través del material serán observadas por la formación de una serie de manchas de gasoil en el lado interno del perímetro del tanque.</p> <p><u>Criterio</u></p> <p>Todas las indicaciones de discontinuidad serán consideradas inaceptables y serán reparadas y reexaminadas en acuerdo al presente procedimiento.</p>

5.16.2.2 Tintas penetrantes.

La aplicación de este procedimiento se refiere exclusivamente a la individualización y valoración de discontinuidades que afloran a la superficie, de todo lo relativo al criterio de aceptabilidad establecido en el código ASME VIII Anexo A.

La extensión y momento de examen será el indicado en el programa de puntos de inspección y especificaciones aplicables.

DEFINICIONES:

Indicaciones relevantes: Se refiere a las discontinuidades resultado del revelado luego de aplicación de las técnicas de tintas penetrantes y cuya dimensión es superior a 1,6mm

Indicaciones lineales: Son las discontinuidades resultado del revelado que tienen un largo mayor que 3 veces su diámetro.

Indicaciones redondeadas: Son discontinuidades resultado del revelado de la forma circular o elíptica cuyo largo es menos que 3 veces su diámetro.

ASNT: American Society for Non Destructive Testing. Sociedad Americana de Ensayos No Destructivos.

Decapante: Decapar es el proceso de eliminar la pintura, el barniz o cualquier material que recubra una madera o superficie, antes de volver a realizar uno de estos procesos: pintar, barnizar u otra.

Tabla. 5. 6 Procedimiento control tintas penetrantes.

N°	RESPONSABLE	ACTIVIDAD
12.	Supervisor QA/QC	<p>Inspección de las soldaduras</p> <p>Para empalmes a llena penetración del cuerpo, además del examen radiográfico, el inspector del cliente puede predisponer un control visual por la determinación de defectos superficiales, como grietas, golpes de arco, excesivas incisiones u otros defectos.</p>
13.	Supervisor QA/QC	<p>Líquidos a utilizar</p> <p>Para la aplicación del presente procedimiento se utilizarán líquidos penetrantes a contraste de color (rojo) eliminables con agua o solventes.</p> <p>Los líquidos a utilizar (penetrante, limpiador y revelador), corresponderán a alguno de las siguientes marcas:</p> <p>Limpiador: MET-L-CHECK NPU o Equivalente Penetrante: MET-L-CHECK VP30 o Equivalente Solvente: MET-L-CHECK NPU o Equivalente Revelador: MET-L-CHECK D70 o Equivalente</p> <p>La inspección se realizará utilizando los componentes (penetrantes, limpiador y revelador), de la misma marca y correspondientes al mismo proceso según las indicaciones del fabricante de los líquidos.</p>
14.	Supervisor QA/QC	<p>Estado Superficial:</p> <p>Las superficies a examinar y todas las áreas adyacentes</p>

N°	RESPONSABLE	ACTIVIDAD
		hasta 1" (25mm) deberán estar exentas de óxido, pinturas, aceite, salpicaduras, grasa, agua, escorias, polvo y en general de cualquier materia extraña que pudiera dificultar la buena realización del examen.
15.	Supervisor QA/QC	<p>Calificación de Personal:</p> <p>El personal que realice el examen deberá ser calificado y certificado al menos como personal competente nivel 1 según la SNT-TC-1A de la ASNT.</p> <p>El personal que supervise el examen, realice la evaluación y quien firmará el informe será calificado y certificado al menos como nivel 2 de acuerdo a la ASNT SNT-TC-1A</p>
16.	Supervisor QA/QC	<p>Rango de Temperaturas:</p> <p>La temperatura de las superficies a examinar y de los materiales penetrantes será comprendida entre los 10 °C y los 52 °C durante el período de prueba.</p> <p>Serán permitidos calentamientos o enfriamientos locales para lograr dicho rango.</p>
17.	Supervisor QA/QC	<p style="text-align: center;">REALIZACION DE LA PRUEBA</p> <p>Limpieza Previa:</p> <p>La superficie de examen deberá ser limpiada previamente de forma que se obtenga un estado superficial como el descrito en Estado Superficial.</p> <p>Para la eliminación de escorias, salpicaduras u óxido podrá utilizarse cepillos metálicos o esmerilado teniendo en cuenta que en el caso de que la superficie a inspeccionar sea de acero inoxidable o de aleaciones a alto contenido de níquel-cromo, los cepillos deberán ser de acero inoxidable.</p>
18.	Supervisor QA/QC	<p>Para la eliminación de pintura superficial se utilizará solvente o decapante específico al tipo de pintura (consulta previa al proveedor de pintura).</p> <p>Deberá tenerse en cuenta que la pintura incrustada en las posibles discontinuidades requerirá una limpieza enérgica</p>

N°	RESPONSABLE	ACTIVIDAD
		antes del decapante por lo que es recomendable repetir al menos dos veces. Posteriormente, debe eliminarse el decapante para evitar la contaminación del penetrante.
19.	Supervisor QA/QC	<p>La aplicación de los agentes limpiadores se realizará mediante paños húmedos, cepillos suaves y/o spray. Una vez realizada la limpieza previa, se dejará secar la zona por evaporación normal por lo menos 5 minutos.</p> <p>Se finalizará la limpieza de la suciedad superficial con acetonas o limpiador del tipo descrito en líquidos a utilizar.</p>
20.	Supervisor QA/QC	<p>Aplicación del Penetrante</p> <p>El penetrante se aplicará por pulverización, inmersión, spray o mediante brocha, procurando dejar una capa abundante de penetrante sobre la superficie a examinar.</p> <p>Si la aplicación se efectúa por spray mediante un compresor, este dispondrá de un filtro en la emulsión de aire al fin de evitar la contaminación del penetrante por aceite, suciedad, agua o sedimentos en las líneas de salida.</p> <p>El tiempo de penetración será el recomendado por el fabricante del penetrante dentro del rango de tiempo de entre los 10 minutos y los 60 minutos.</p>
21.	Supervisor QA/QC	<p>Eliminación del Exceso de Penetrante:</p> <p>Transcurrido el tiempo de penetración, se procederá a eliminar el exceso de penetrante de la superficie de acuerdo a con los siguientes criterios:</p> <p>Penetrante eliminable con agua</p> <p>El exceso de penetrante se eliminará por rociado manual con trapos secos y las trazas que se quedarán se eliminarán con trapos bañados de agua. La temperatura del agua no excederá los 40 °C.</p> <p>Penetrante eliminable con solvente:</p> <p>El exceso del penetrante se eliminará utilizando papel absorbente o trapos limpios secos. Se repetirá la operación hasta obtener una superficie limpia con leves trazas de penetrante. Estas trazas deberán eliminarse mediante papel</p>

N°	RESPONSABLE	ACTIVIDAD
		<p>absorbente o trapos limpios libres de hilachas ligeramente humedecidos con solvente.</p> <p>Está prohibido limpiar la zona de inspección echando directamente el solvente.</p>
22.	Supervisor QA/QC	<p>Secado:</p> <p>Terminada la limpieza de las superficies, estas deberán secarse mediante papel secante limpio, por evaporación normal o circulación de aire caliente, con la precaución de que la temperatura de la superficie no exceda los 52 °C.</p>
23.	Supervisor QA/QC	<p>APLICACIÓN DEL REVELADOR</p> <p>Reveladores secos y húmedos no acuosos:</p> <p>El revelador deberá aplicarse inmediatamente después de terminada la operación de secado. Antes de ser aplicado el revelador deberá agitarse enérgicamente la bombona de spray para homogeneizar la suspensión de polvo con el vehículo de suspensión.</p> <p>Con penetrantes visibles por contraste de color se utilizará solo reveladores húmedos.</p> <p>La aplicación se efectuará depositando sobre la superficie una capa fina y homogénea. Deberá tenerse en cuenta que un exceso de espesor en la capa de revelador, podría “enmascarar” indicaciones y que una capa suficiente puede no lograr sacar el penetrante fuera de las discontinuidades.</p> <p>Revelador húmedo acuoso:</p> <p>Cuando entre los materiales se utilicen reveladores húmedos acuosos, se aplicará por spray o inmersión inmediatamente después de la eliminación de penetrante, antes del secado.</p> <p>Terminada la aplicación del revelador sobre la superficie, esta deberá secarse por evaporación normal o por aire caliente en circulación con la precaución de que la temperatura de la superficie no exceda de 52°C.</p>
24.	Supervisor QA/QC	<p>INTERPRETACION DE LAS INDICACIONES</p> <p>Durante la aplicación del revelador deberán observarse las superficies con el fin de seguir la evolución de las posibles</p>

N°	RESPONSABLE	ACTIVIDAD
		<p>indicaciones que afloran a la superficie.</p> <p>La interpretación final deberá efectuarse una vez transcurridos de 5 a 15 minutos luego de que la película de revelador se haya secado y nunca después de 30 min.</p> <p>Leer en la bombona de spray el tiempo de espera para la lectura recomendado por el fabricante.</p> <p>Penetrantes a contraste de color:</p> <p>Las discontinuidades se mostrarán como indicaciones de color rojo sobre el fondo blanco.</p> <p>En los siguientes supuestos se deberá repetir el proceso a partir de la limpieza preliminar.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Indicaciones con ligeros tonos rosados pueden indicar exceso de limpieza. • Indicaciones procedentes de suciedad o amplias zonas coloreadas indican una limpieza incorrecta. • Irregularidades superficiales debidas a marcas superficiales o condiciones geométricas de estas, pueden producir indicaciones falsas. • Áreas extensas de pigmentación que puedan enmascarar indicaciones de discontinuidades, son inaceptable y serán reexaminadas, con el mismo proceso, desde la limpieza inicial. <p>La iluminación de las superficies será con luz blanca natural o artificial y tendrá la suficiente intensidad para asegurar la correcta interpretación de los resultados.</p> <p>Una intensidad mínima de 530 lux (50footcandle) es requerida para asegurar la adecuada sensibilidad durante el examen y evaluación de indicaciones.</p>
25.	Supervisor QA/QC	<p>La valoración de las indicaciones relevantes se realizará en conformidades de los criterios de aceptación ASME VIII.</p> <p>Para efectuar esta valoración distinguiremos dos tipos de indicaciones relevantes:</p> <p><u>Indicaciones Lineales:</u> Son aquellas que tiene una longitud mayor que 3 veces su diámetro.</p>

N°	RESPONSABLE	ACTIVIDAD
		<p>Indicaciones de este tipo cuya dimensión sea superior a 1,6 mm, serán consideradas relevantes y son rechazables.</p> <p>Indicaciones Redondeadas: Son aquellas indicaciones circulares o elípticas cuya longitud es menos que 3 veces su diámetro.</p> <p>Indicaciones de este tipo cuyo diámetro sea superior a 4,8 mm, serán consideradas relevantes y son rechazables.</p> <p>También se consideran relevantes y rechazables cuatro o más indicaciones <u>redondeadas</u> alineadas, <u>separadas de borde a borde</u> por 1,6 mm o menos.</p>
26.	Supervisor QA/QC	<p>Limpieza Final:</p> <p>Una vez realizada la evaluación y registrados los resultados, se limpiarán las superficies ensayadas con papel o absorbente o trapos empapados con limpiador o solvente.</p>
27.	Supervisor QA/QC	<p>Reparaciones:</p> <p>Las áreas reparadas como consecuencia de la aplicación del procedimiento serán nuevamente examinadas, de acuerdo con el mismo método de examen y parámetros que el examen inicial a partir de la limpieza previa después del resanado y recargue.</p>

5.16.2.3 Inspección radiográfica.

Las guías que a continuación se detalla son de acuerdo a la sección 6 del API 650.

Los siguientes requisitos se aplican a juntas verticales:

- A. Para juntas de soldaduras en las cuales la plancha más delgada es menor o igual a 3/8 de pulgadas de espesor deberá tomarse una radiografía localizada en los 10 primeros pies, de la unión vertical de cada tipo y espesor efectuadas por cada soldador u operador de suelda. Las radiografías localizadas tomadas en las uniones verticales de curso más bajo deben ser usadas conforme a los requisitos de la nota tres, figura 6.1

para uniones individuales. De aquí en adelante sin considerar el número de soldadores u operadores de sueldas, una radiografía localizada adicional deberá tomarse en cada 100 pies adicionales (aprox.), y cualquier fracción mayor remanente de la unión vertical del mismo tipo y espesor. Por lo menos el 25% de los lugares seleccionados deberán estar en uniones verticales y horizontales, con un mínimo de 2 en tales intersecciones por tanque. Además de los requerimientos indicados una radiografía localizada tomada al azar se deberá hacer en cada unión vertical en el curso más bajo (vea el panel superior de la figura 6-1 del API 650)

- B. Para soldaduras de uniones en las cuales la chapa más delgada es más que 3/8 de pulgada pero menor o igual a una pulgada en espesor deberán tomarse radiografías localizadas de acuerdo al ítem A. Sumado esto, todas las uniones verticales y horizontales en chapas en este alcance de grosor deberá radiografiarse; cada película claramente mostrará no menos de 2 pulgadas de soldadura longitudinal a cada lado de la intersección vertical en el curso más bajo, deberán tomarse 2 radiografías en cada unión vertical: una de las radiografías deberá estar tan cerca al fondo como sea practicable y la otra deberá tomarse al azar (véase el panel central de la fig. 6-1)
- C. Las uniones verticales en las cuales las chapas son más gruesas que una pulgada de espesor deberán ser radiografiadas totalmente todas las uniones verticales y horizontales en este alcance de grosor; cada película claramente mostrará no menos de 2 pulgadas de suelda longitudinal en cada lado de la intersección vertical (ver el panel final de la figura 6-1).
- D. La suelda alrededor de la periferia de una escotilla o una boquilla deberá ser radiografiado completamente.

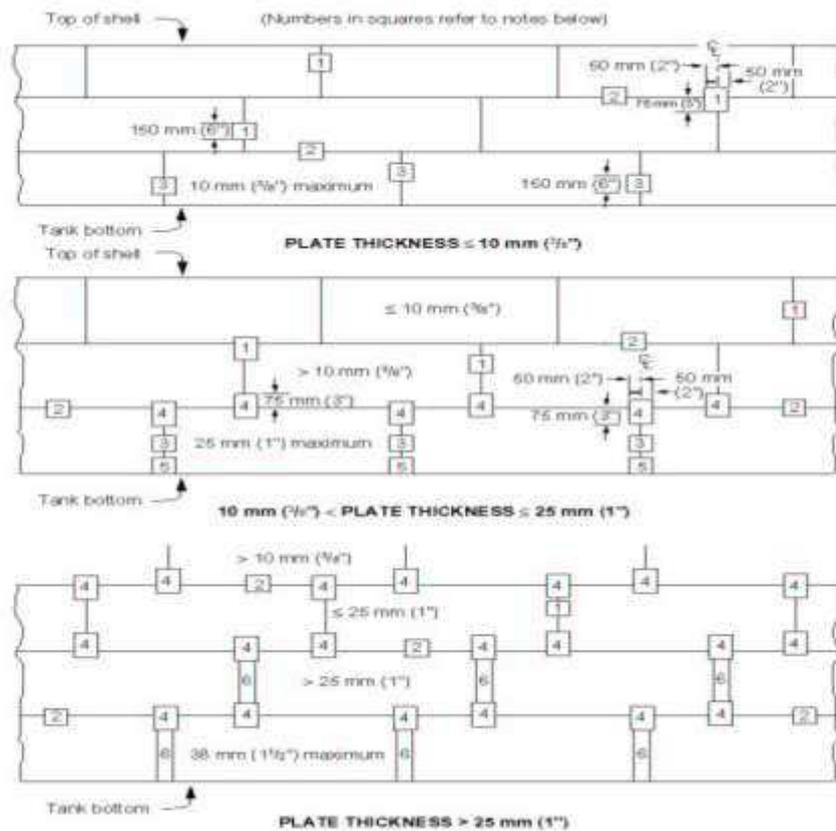


Figura. 5. 14 Esquema ubicación radiografías tanque.

NOTAS:

Radiografías verticales locales de acuerdo con 8.1.2.2 ítem a: una en los 10 primeros pies y una en cada 100 pies de ahí en adelante, 25% de las cuales serán en intersecciones.

Radiografías horizontales locales de acuerdo con 8.1.2.3: una en los 10 primeros pies y una en cada 200 pies de ahí en adelante.

Radiografías locales verticales en cada costura vertical en la soldadura más baja, 8.1.2.2 ítem b radiografías locales que satisfacen los requerimientos de la nota 1 para la soldadura más baja pueden utilizarse para satisfacer estos requerimientos.

Radiografías locales de todas las intersecciones sobre 3/8 de pulgada. 8.1.2.2 ítem b

Radiografías locales del fondo de cada costura vertical en la línea de chapa concha sobre 3/8 de pulgada (ver 8.1.2.2 ítem b)

Radiografía completa de cada costura vertical sobre una pulgada. La radiografía completa debe incluir las radiografías locales de las intersecciones si la película tiene una anchura mínima de 4 pulgadas (ver 8.1.2.2 ítem c)

5.16.2.4 Prueba hidrostática.

Este procedimiento tiene el objetivo de definir los criterios generales por la ejecución de la prueba hidrostática.

Tabla. 5. 7 Procedimiento prueba hidrostática.

Nº	RESPONSABLE	ACTIVIDAD
28.	Supervisor QA/QC	<p>Controles previos a la ejecución de la Prueba Hidrostática</p> <p>Antes de llenar el tanque con agua es oportuno una completa inspección, verificando los siguientes aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Que haya sido completado con éxito satisfactorio el examen radiográfico de las juntas soldadas, dónde sea lo requerido; • Que haya sido completada la inspección visual de todas las juntas soldadas y las reparaciones de los defectos hayan sido todas ejecutadas; • Que todos los accesorios provisionales en el interior y exterior de los anillos hayan sido removidos y las zonas afectadas hayan sido controladas; • Que todas las partes sueltas del material, todos los equipos no necesarios a la prueba y cada basura hayan sido llevadas fuera del tanque; • Qué ningún tubo de enlace permanente haya sido conectado al tanque; • Qué las tuberías provisionales para el relleno de agua tengan suficiente distancia o se encuentren bien instaladas de manera que soporten sin daños el eventual asentamiento del tanque durante el llenado.
29.	Supervisor QA/QC	<p>Verificación del estado de asentamiento del tanque</p> <p>Antes de proceder a la prueba hidrostática es necesario averiguar el asentamiento alcanzado por el plan de apoyo del tanque sobre la fundación a causa de su propio peso. Se lo hace ejecutando medidas de nivel con respecto a un hito fijo, tomadas en 8 puntos a lo largo de la periferia del</p>

N°	RESPONSABLE	ACTIVIDAD
		<p>envolvente (cuerpo del tanque) a intervalos de 45 grados, en posiciones marcadas sobre el borde externo del anillo. El resultado de estas mediciones deben ser registradas consecutivamente en tablas y gráficos.</p>
30.	Supervisor QA/QC	<p>Relleno del tanque</p> <p>La calidad de agua para la correspondiente prueba (porcentaje de pH del agua), tal análisis será realizado en un laboratorio calificado.</p> <p>La prueba hidrostática del tanque será efectuada llenándolo de agua hasta el nivel de la conexión de sobre flujo.</p> <p>El llenado tendrá que gradualmente ser hecho efectuando respectivamente paradas programadas a 50%, y 100% del llenado total del nivel máximo de agua.</p> <p>El tiempo de llenado y vaciado del tanque varían en función de la bomba que se utilice durante la prueba.</p> <p>Cuando el tanque está al 100% el tiempo de parada será de 24horas.</p> <p>Durante el relleno es necesario inspeccionar frecuentemente el envolvente, para verificar la ausencia de pérdidas y/o deformaciones anormales.</p> <p>En caso de que esto se presentara, el relleno tendrá que ser inmediatamente interrumpido, para valorar las causas del fenómeno y tomar las oportunas precauciones</p>
31.	Supervisor QA/QC	<p>Control del asentamiento del tanque durante el relleno</p> <p>En el curso de las fases de relleno del tanque, comprendidos los períodos de parada programados, es necesario tener bajo control el asentamiento del tanque, para poder prevenir hundimientos anormales del plan de fundación y consiguientes excesivas e irreversibles deformaciones del envolvente. A tal fin, durante los períodos de parada, se ejecutarán las mediciones de nivel, como se describe en Verificación del estado de asentamiento del</p>

N°	RESPONSABLE	ACTIVIDAD
		<p>tanque.</p> <p>Los resultados de estas mediciones, con la indicación de la altura de nivel de agua, tienen que ser registrados sobre tablas y gráficos, para confrontar continuamente entre ellos y con las medidas hechas a tanque vacío.</p> <p>Los asentamientos no tendrán que exceder cuanto previsto por la norma API STD 650 par. 7.3.6.</p> <p>Todas las zonas localizadas con infiltraciones de agua o defectos de soldadura serán cuidadosamente marcadas para ser reparados después del vaciado del tanque.</p>
32.	Supervisor QA/QC	<p>Renivelación de Tanque</p> <p>Si durante la fase de llenado del tanque se presentara algún fenómeno inaceptable de asentamiento del plan de fundación será necesario informar en seguida el cliente.</p>
33.	Supervisor QA/QC	<p>Vaciado y limpieza del tanque</p> <p>Después del cumplimiento con buen éxito de la prueba hidrostática, se podrá proceder al vaciado del tanque, con el procedimiento inverso de llenado.</p> <p>Antes de iniciar el vaciado del agua, es necesario sacar una muestra de agua y hacerla analizar en un laboratorio calificado.</p> <p>Una vez el tanque vacío será barrido para librar de restantes de agua-humedad, lodo u otra suciedad depositadas sobre el fondo, de manera que se devuelve el interior bastante limpio y listo para entrar en operación.</p>

5.16.3 PRUEBAS EN EL TECHO FLOTANTE.

5.16.3.1 Pruebas en el deck.

Las soldaduras de las placas del deck deberán ser inspeccionadas por caja de vacío método explicado anteriormente.

5.16.3.2 Pruebas en el pontón.

Antes de que las placas superiores de los pontones estén instalados, los siguientes cordones de soldadura deben ser ensayados con tintas penetrantes:

- Las soldaduras entre el fondo y las paredes laterales del pontón.
- Las soldaduras entre el fondo y los mamparos (divisiones).
- Las soldaduras en las esquinas de los mamparos (divisiones), debes ser inspeccionados con especial cuidado debido a que son construidos con muescas que generalmente aumentan el cordón de soldadura, pudiendo existir mayores fallas en esta zona.
- La soldadura de unión entre el deck y el pontón

5.16.3.3 Prueba de hermeticidad en el pontón.

Una vez terminado de ensamblar los pontones y revisadas las soldaduras con tintas penetrantes, es necesario revisar la hermeticidad del compartimiento mediante el llenado de aire comprimido a una presión de 0.25 bar.

5.16.3.4 Prueba de drenaje de techo.

Los sistemas de drenaje de techo se ensayaran con agua a una presión de 3.5 bar, y durante la prueba hidrostática el drenaje debe permanecer abierto para verificar que no existan fugas en la tubería de drenaje.

CAPITULO 6

ESTUDIO FINANCIERO Y ANÁLISIS DE COSTOS

6.1 INTRODUCCIÓN.

El presente capítulo tiene como objetivo el desarrollo de una estimación presupuestaria para la construcción, y montaje de un tanque de almacenamiento. En primer lugar, se realiza una descripción de los factores más importantes en los costos de fabricación y montaje.

Es importante notar que estudio financiero no se lo hará muy minucioso debido a que el enfoque de la presente tesis viene dado al diseño estructural de los tanques de almacenamiento.

Los datos proporcionados en el siguiente capítulo son provientes de experiencias de constructores, casas comerciales, etc.

6.2 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN.

En este punto se detalla todo lo referente a costos de construcción y montaje para los cuales se indican los siguientes costos:

DIRECTOS:

- Materiales
- Consumibles de soldadura y materiales de desbaste
- Personal.
- Maquinaria

INDIRECTOS

- Protección anticorrosiva.

GENERALES:

- Gastos varios

6.2.1 COSTO DE MATERIALES.

Para analizar los costos de los materiales a utilizar es importante cuantificar los kilogramos de material que se necesitan para montar las partes del cuerpo como el fondo, cuerpo, techo, y accesorios.

También se detallaran el número de planchas requerido, sus respectivos pesos unitarios y pesos totales, para con estos datos obtener los costos totales de las planchas.

Según se ha consultado en las diferentes casas comerciales se ha logrado establecer el precio del Kilogramo de acero en \$1,20 por lo que se tomara este valor de referencia para el cálculo de los costos en los materiales.

Para los costos de materiales como tubería, bridas, empaques, válvulas, codos, etc. se ha recurrido a la empresa SUINCO & INGIN cia.ltda.

Con los valores referenciales obtenidos se procederá a hacer un análisis de los costos involucrados.

Tabla 6. 1 Costos pontón

COSTOS PONTON								
Denominación	largo	ancho	espesor	Cantidad	Peso unitario Kg	Peso total Kg.	Costo USD/Kg.	USD total
Placa anillo exterior	6318	1000	6,35	18	314,94	5668,9	1,2	6802,63
Placa anillo interior	5376	500	12,7	18	267,98	4823,6	1,2	5788,37
Placa divisora	2700	1000/500	4,76	18	75,67	1362,0	1,2	1634,39
Placa superior	PLACA VER PLANO			18	595,90	10726,1	1,2	12871,32
Placa inferior	PLACA VER PLANO			18	589,88	10617,8	1,2	12741,36
ángulo de compresión	6000	L125*125*14		8	154,44	1235,5	1,2	1482,62
ángulo superior	6000	L40*40*5		10	16,9	169,0	1,2	202,80
							Total	41523,49

Tabla 6. 2 Costos planchas

Denominación		largo	ancho	espesor	Cantidad	Peso unitario Kg	Peso total Kg.	Costo USD/Kg.	USD total
Placas fondo		12192	2438	9	40	2100,0	84000,3	1,2	100800,36
Placas 1 anillo	A	12192	2438	22	9	5133,4	46200,2	1,2	55440,24
	B	6096	2438	22	1	2566,7	2566,7	1,2	3080,04
Placas 2 anillo	C	12192	2438	17,5	9	4083,3	36750,1	1,2	44100,12
	D	6096	2438	17,5	1	2041,7	2041,7	1,2	2450,04
Placas 3 anillo	E	12192	2438	14,3	9	3336,7	30030,1	1,2	36036,12
	F	6096	2438	14,3	1	1668,3	1668,3	1,2	2001,96
Placas 4 anillo	G	12192	2438	12,7	9	2963,3	26670,1	1,2	32004,12
	H	6096	2438	12,7	1	1481,7	1481,7	1,2	1778,04
Placas 5 anillo	I	12192	2438	9,5	9	2216,7	19950,1	1,2	23940,12
	J	6096	2438	9,5	1	1108,3	1108,3	1,2	1329,96
Placas 6 anillo	K	12192	2438	8	9	1866,7	16800,1	1,2	20160,06
	L	6096	2438	8	1	933,4	933,4	1,2	1120,02
Placas 7 anillo	M	12192	2438	8	9	1866,7	16800,1	1,2	20160,06
	N	6096	2438	8	1	933,4	933,4	1,2	1120,02
Placa Deck		12192	2438	4,76	27	1110,7	29988,1	1,2	35985,708
TOTAL									381506,988

Tabla 6. 3 Costos viga de rigidez

VIGA DE RIGIDEZ									
Denominación	largo	ancho	espesor	Cantidad	Peso unitario Kg	Peso total Kg.	Costo USD/Kg.	USD total	
Angulo	6000	75x75x6		19	40,36	766,84	1,2	920,208	
Perfil C UPN 120	6000	120x55x7		19	66,36	1260,84	1,2	1513,008	
Plancha antideslizante	3000	1000	6	38	161	6118	1,2	7341,6	
TOTAL									9774,816

Tabla 6. 4 Costos escalera helicoidal

ESCALERA HELICOIDAL								
Denominación	largo	ancho	Esp.	Cant.	Peso unitario Kg	Peso total Kg.	Costo USD/Kg.	USD total
Peldaño	Especificadas en planos			78	8,16	636,48	1,2	763,776
Placa de montaje exterior	Especificadas en planos			2	100,83	201,66	1,2	241,992
Placa de montaje interior	Especificadas en planos			2	98,4	196,8	1,2	236,16
Plataforma	Especificadas en planos			2	42,24	84,48	1,2	101,376
Conjunto soporte ménsulas	Especificadas en planos			11	22,65	249,15	1,2	298,98
Baranda	Especificadas en planos			1	203,74	203,74	1,2	244,488
TOTAL								1886,77

Tabla 6. 5 Costos escalera flotante

ESCALERA FLOTANTE					
Denominación	Cantidad	Peso unitario Kg	Peso total Kg.	Costo USD/Kg.	USD total
Perfiles C 10 X 15.3	38	22,58	858,04	1,2	1029,648
Peldaños	78	8,16	636,48	1,2	763,776
Ejes guías	19	0,89	16,91	1,2	20,292
Misceláneos	1	400	400	1,2	480
TOTAL					2293,716

Tabla 6. 6 Costos poste guía

POSTE GUÍA					
Denominación	Cantidad	Peso unitario Kg	Peso total Kg.	Costo unitario USD.	USD total
Tubo 8'' Sch 40	18	NA	NA	82,3	1481,4
Brida 8'' ANSI 150	1	NA	NA	97,15	97,15
Soporte	1	103,26	103,26	1,5	154,89
TOTAL					1733,44

Tabla 6. 7 Costos tubería drenaje

TUBERIA DRENAJE					
Denominación	Cantidad	Peso unitario Kg/m	Peso total Kg.	Costo USD.	USD total
Longitud total tubería 4"	39,1	NA	NA	30,9	1208,19
Codos 90°	3	NA	NA	10,95	32,85
Codos flexibles	5	NA	NA	13	65
Bridas 4"	2	NA	NA	22,95	45,9
Soportes.	6	6,72	40,32	1,2	48,384
TOTAL					1400,33

Tabla 6. 8 Costos sistemas contra incendios

SISTEMA CONTRA INCENDIOS.					
Denominación	Cantidad	Peso unitario Kg/m	Peso total Kg.	Costo USD/Kg.	USD total
Tubería de 4"	176,8	16,07	2841,176	30,9	5463,12
Accesorios varios	1	1500	1500	1,2	1800
Bridas 4"	20	NA	NA	22,9	458
Soportes	10	103,26	1032,6	1,5	1548,9
TOTAL					9270,02

Tabla 6. 9 Costos varios

VARIOS				
Denominación	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	USD total
Manhole 30" cuerpo	2	u	1303,04	2606,08
Viga de viento	3036	Kg.	2	6072
Puerta de limpieza	1	u	968,4	968,4
Pasamanos de seguridad	727	Kg.	3	2181
Venteo 10"	1	u	800	800
TOTAL				12627,48

Tabla 6. 10 Resumen costos materia prima

COSTOS MATERIA PRIMA	
Denominación	Costo
Pontón	41523,49
Planchas	381507
Viga de rigidez	9774,816
Escalera helicoidal	1886,77
Escalera flotante	2293,7
Poste guía	1733,44
Drenaje	1400,33
Sistema contra incendios	9270,02
Varios	12627,48
TOTAL USD	462017,1

6.2.2 ALQUILER DE EQUIPOS.

A continuación se detallan los equipos que se requieren para llevar a cabo la construcción y montaje de tanques de almacenamiento. Se detalla también el costo de alquiler por día y el número de días que se considera necesario alquilarlos para la fabricación de los elementos y el montaje de la obra.⁹²

Tabla 6. 11 Cantidad de electrodos a utilizar para el fondo

MAQUINARIA MONTAJE					
Ítem	Descripción	Cantidad	USD/día (c/u)	días	Total
1	Máquina soldadora completa 250 AMP.	15	\$ 338,65	180	914355
2	Equipo de corte de oxígeno acetileno	3	\$ 7,72	180	4168,8
3	Generador Eléctrico 250 KVA	1	\$ 500,00	180	90000
4	Horno secador de electrodos 180 Kg	1	\$ 30,41	180	5473,8
5	Amoladora 7" & 4"	15	\$ 9,55	180	25785
6	Máquina cortadora biseladora 4 a 20"	1	\$ 86,55	180	15579
7	Grúa Hidráulica de 40 Ton (autopropulsada)	1	\$ 1.000,00	180	180000
8	Tecla 6 t (manual)	1	\$ 26,19	180	4714,2
EQUIPO SANDBLASTING⁹³					
9	Equipo de pintura 5 gal/min con mangueras	1	\$ 197,41	20	3948,2
10	Equipo de sandblasting 100 libras	1	\$ 216,91	20	4338,2
				TOTAL	1248362,2

6.2.3 MATERIALES PARA SOLDADURAS

Para el cálculo de los materiales de soldadura se toma en cuenta la longitud soldada y el área de soldadura aproximada con lo cual se obtiene el volumen de soldadura aproximado este valor representa la cantidad en kilogramos de material a depositar.

A este ítem también corresponden aspectos de difícil cuantificación como son: los equipos de protección personal de los obreros (guantes, botas, cascos de protección, orejeras, gafas de protección, indumentaria de soldadores, etc.), discos de corte, este valor se le ha agregado un 5% del valor de la mano de obra. Los valores indicados en el siguiente estudio ha sido proporcionados GASEQUIP SCC.

⁹² Los valores entregados son aproximados.

⁹³ Los costos de pintura incluyen mano de obra y materiales necesarios.

Tabla 6. 12 Cantidad de electrodos a utilizar para el fondo

FONDO							
	Longitud (mm)	Cantidad	Peso 1 cordón (kg)	Longitud Total (mm)	Peso total (kg)	∅ Electrodo	# Electrodos
A TOPE	681	19	0,26	12939	4,94	3.2 mm	23
A TRASLAPE	1391275	1	--	1391275	72,55	3.2 mm	4257
TOTAL					77,49		4280

Tabla 6. 13 Cantidad de electrodos a utilizar para el cuerpo

CUERPO							
	Longitud (mm)	Cantidad	Peso 1 cordón (kg)	Longitud Total (mm)	Peso total (kg)	∅ Electrodo	# Electrodos
FILETE T	115095	2	73	230190	146	3,2	5256
ANILLO 1	115095	1	94,8	115095	94,8	3,2	3413
ANILLO 2	115095	1	74,83	115095	74,83	3,2	2694
ANILLO 3	115095	1	43,72	115095	43,72	3,2	1573
ANILLO 4	115095	1	39,66	115095	39,66	3,2	1428
ANILLO 5	115095	1	27,97	115095	27,97	3,2	1007
ANILLO 6	115095	1	25,94	115095	25,94	3,2	934
VERTICAL X	2438	10	3,59	24380	35,9	3,2	1293
VERTICAL V 1	2438	10	3,95	24380	39,5	3,2	1422
VERTICAL V 2	2438	10	2,76	24380	27,6	3,2	994
VERTICAL V 3	2438	10	2,19	24380	21,9	3,2	788
VERTICAL V 4	2438	10	1,39	24380	13,9	3,2	500
VERTICAL V 5	2438	20	1,07	48760	21,4	3,2	770
VIGA RIGIDEZ FILETE	236215	1	68,75	236215	68,75	3,2	2475
PASAMANOS	54067	1	15,28	54067	15,28	3,2	550
TOTAL					697,15		25098

Tabla 6. 14 Cantidad de electrodos a utilizar para el deck

TECHO DECK							
	Longitud (mm)	Cantidad	Peso 1 cordón (kg)	Longitud Total (mm)	Peso total (kg)	∅ Electrodo	# Electrodos
TRASLAPE	403463	1	35,88	403463	35,88	3,2	1292

Tabla 6. 15 Cantidad de electrodos a utilizar para el pontón

PONTON							
	Longitud (mm)	Cantidad	Peso 1 cordón (kg)	Longitud Total (mm)	Peso total (kg)	∅ Electrodo	# Electrodos
Perímetro exterior	113726						
Perímetro interior	96761						
Placa inferior	259087	1	23	259087	23	3	830
Placa superior	259087	1	23	259087	23	3	830
placa anillo exterior	245451	1	22	245451	22	3	786
Placa anillo interior	202522	1	18	202522	18	3	648
Placa divisora	76392	1	7	76392	7	3	245
ángulo de compresión	96761	1	9	96761	9	3	310
Varios (manhole techo, cámara de revisión etc.	35000	1	3	35000	3	3	112
TOTAL					104		3760

Tabla 6. 16 Cantidad de electrodos a utilizar para los accesorios

ACCESORIOS							
	Longitud (mm)	Cantidad	Peso 1 cordón (kg)	Longitud Total (mm)	Peso total (kg)	∅ Electrodo	# Electrodos
Escalera flotante	112896	1	35,892		35,8924608	3,2	1292
Escalera helicoidal	112896	1	35,892		35,8924608	3,2	1292
Manhole 30"	13450	2	4,276		8,5521825	3,2	308
Manhole 24"	10000	2	3,179		6,3585	3,2	229
Puerta limpieza	21000	1	6,676		6,676425	3,2	240
Drenaje techo	600	1	0,191		0,190755	3,2	7
Patas	300	42	0,095		4,005855	3,2	144
Tubo guía	638,4	1	0,203		0,20296332	3,2	7
Varios 5%							176
TOTAL					97,77160242		3696

Tabla 6. 17 Costos de consumible de soldadura.

	USD/KILO	PESO SOLD.(Kg).	TOTAL USD
FONDO	2,3	77,49	178,2
CUERPO	2,3	697,15	1603,4
TECHO DECK	2,3	35,88	82,5
PONTON	2,3	104,44	240,2
ACCESORIOS	2,3	97,77	224,9
TOTAL			2329,3

6.2.4 MANO DE OBRA DIRECTA

En la siguiente tabla se detalla la cantidad de personal que se requieren para llevar a cabo la construcción y montaje del tanque de almacenamiento en un plazo de 6 meses⁹⁴. Los valores calculados son totales para el proyecto.

Tabla 6. 18 Cantidad de electrodos a utilizar para los accesorios

COSTO PERSONAL					
Ítem	Descripción	Cantidad	USD/día (c/u)	días	Total
1	Jefe de Obra	1	\$ 180,00	180	\$ 32.400,00
2	Supervisor de seguridad	1	\$ 60,00	180	\$ 10.800,00
3	Administrador proyecto	1	\$ 60,00	180	\$ 10.800,00
4	Supervisor de calidad (Ingeniero Mecánico)	1	\$ 70,00	180	\$ 12.600,00
5	Capataz de montaje de tanques	1	\$ 30,00	180	\$ 5.400,00
6	Soldadores de tanques	15	\$ 80,00	180	\$ 216.000,00
7	Ayudantes	15	\$ 20,00	180	\$ 54.000,00
8	Montador de tanques II (con más de 5 años de experiencia)	2	\$ 80,00	180	\$ 28.800,00
9	Bodeguero	1	\$ 22,00	180	\$ 3.960,00
					\$ 0,00
TOTAL					\$ 374.760,00

6.2.5 OTROS GASTOS

A este ítem corresponde estos aspectos de difícil cuantificación como son la energía a utilizar, agua y ciertos imprevistos⁹⁵, se asume que este costo es igual al 2% de los costos de materia prima.

Tabla 6. 19 Costos de otros gastos.

Ítem	C.M.P USD	Total USD (2% C.M.P)
OTROS GASTOS	464346,4	9287

⁹⁴ Tanto el número de obreros y la duración de la obra son valores estimados visto en experiencias anteriores

⁹⁵ Eventos esporádicos que atentan contra la ejecución de la obra, como por ejemplo el daño en algún equipo de alquiler que posteriormente debe ser costado por la empresa.

6.3 COSTOS TOTALES DEL PROYECTO.

A continuación se hace un resumen de los costos detallados anteriormente y se obtiene el costo total del proyecto.

Tabla 6. 20 Costos de otros gastos.

Presupuesto general para la ejecución de Obra mecánica				
Ítem	Denominación	Cantidad	Unidad	Precio Total
1	Ingeniería	1	Global	30000
2	Materia prima	1	Global	462017,1
3	consumibles soldadura	1	Global	2329,3
4	Maquinaria	1	Global	1248362,2
5	Personal	1	Global	374760
6	Otros gastos	1	Global	9287
			TOTAL	2126755,6

Como se puede observar, el proyecto tiene un costo estimado de tomado **2.126.755,6 dólares americanos** analizados para la presente fecha.

6.4 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD.

El análisis de rentabilidad de un proyecto es el estudio financiero en el cual mediante la aplicación de ciertos indicadores podemos tomar decisiones con respecto a la factibilidad del proyecto.

Los indicadores básicos que se utilizan para analizar la rentabilidad del proyecto son el VAN (Valor Actual Neto), TIR (Tasa Interna de Retorno), CB (Costo Beneficio).

Para poner en marcha el proyecto se necesita el financiamiento del mismo o en otras palabras el Capital del Trabajo, esto se puede obtener de varias fuentes como son: Financiamiento propio, Asociación de personas o empresas, préstamo, etc.

El caso a utilizar será un préstamo a una institución financiera, donde se pedirá el capital necesario para el proyecto, y el cual después de un tiempo de gracia debe empezar a ser cancelado generalmente de forma periódica y con una tasa de interés impuesta por aquella institución.

Para cubrir el Capital de Trabajo del Proyecto, se consultó a la CFN (Corporación Financiera Nacional), institución la cual detalla: La línea de crédito a la que corresponde el proyecto y la cantidad máxima a ser financiada, plazos, interés, entre otras características que son apreciables en el Anexo 12.

En base al financiamiento aplicable a nuestro proyecto, se obtuvo la siguiente tabla.

Tabla 6. 21 Cobertura del préstamo.

COBERTURA DEL PRÉSTAMO				
	MONTO	TIEMPO MAXIMO	PERIODO DE GRACIA	PORCENTAJE INTERÉS
CAPITAL DE TRABAJO	2126755,6	3 AÑOS	4 MESES	10,50%
En base a requerimientos de la CFN, estipulados en los anexos se conoce que la amortización es anual y el pago en efectivo				

Tomando en cuenta que se va a pagar el préstamo en el tiempo de un año y se empezará a cancelar a partir del cuarto mes a partir de la fecha que se realizó el préstamo.

Para obtener la cuota que se cancelará mensualmente a la institución prestamista, se utilizara la siguiente fórmula.

$$C = \frac{R * [1 - (1 + i)^{-n}]}{i} \quad \text{Ec. 6.1}$$

Donde:

C: Cuota mensual.

R: Capital de Trabajo o Monto.

i: Porcentaje de interés.

n: Número de periodos.

Como el porcentaje de interés (i) es anual y se va a cancelar mensualmente tenemos que dividir para el número de meses, en los que esta programado la cancelación del préstamo.

En la siguiente tabla se muestra el cálculo de la cuota mensual a pagar, a demás del desglose del saldo de capital que queda pendiente cada mes, el valor que se paga por pagar, valor que se cancela por la amortización del capital.

Tabla 6. 22 Cobertura del préstamo.

CAPITAL DE TRABAJO					
MESES	SALDO DE CAPITAL	CUOTA	INTERES	AMORTZ. CAPITAL	SALDO POR PAGAR
Periodo de Gracia 4 MESES					
1	2.126.755,60	187.470,53	18609,1115	168861,4233	1.957.894,18
2	1.957.894,18	187.470,53	17131,57405	170338,9608	1.787.555,22
3	1.787.555,22	187.470,53	15641,10814	171829,4267	1.615.725,79
4	1.615.725,79	187.470,53	14137,60066	173332,9341	1.442.392,86
5	1.442.392,86	187.470,53	12620,93748	174849,5973	1.267.543,26
6	1.267.543,26	187.470,53	11091,00351	176379,5313	1.091.163,73
7	1.091.163,73	187.470,53	9547,682607	177922,8522	913.240,87
8	913.240,87	187.470,53	7990,85765	179479,6771	733.761,20
9	733.761,20	187.470,53	6420,410475	181050,1243	552.711,07
10	552.711,07	187.470,53	4836,221888	182634,3129	370.076,76
11	370.076,76	187.470,53	3238,17165	184232,3632	185.844,40
12	185.844,40	187.470,53	1626,138472	185844,3963	0,00
TOTAL		2.249.646,42	122.890,82	2.126.755,60	11.917.909,32
$Cuota = \left(1 - \left(1 + \frac{0,12}{12} \right)^{-12} \right) * \frac{2.126.755,6}{\frac{0,12}{12}}$					CUOTA
					187.470,53

De la tabla anterior, se obtiene el valor que se cancelará por concepto de intereses en el año en el que se ha estimado cancelar el préstamo.

Este valor ha sido considerado como un gasto en el que incurrimos y por tal motivo se lo adiciona a los costos, lo cual nos permite obtener el costo total

En función de Las aspiraciones de la empresa la obra debe ser vendida con un margen de utilidad, el cual es aplicado una vez que se ha determinado el costo total del proyecto

Este Este porcentaje de utilidad se lo ha tomado en base a estándares contables en los que se estima que la rentabilidad mínima de un producto o servicio ofrecido debe ser del 30%

Para no correr riesgos se considera una utilidad del 40% sobre el costo total de la obra, en la Tabla 6. 23 se muestra el cálculo del precio de venta.

Tabla 6. 23 Calculo del precio de venta.

CÁLCULO DEL PRECIO DE VENTA					
	COSTO MATERIALES	INTERESES PRÉSTAMO	COSTO TOTAL	PORCENTAJE UTILIDAD 40%	PRECIO DE VENTA
Tanque 100.000 Barriles	2126755.6	122,890.82	2,249,646.42	899,858.57	3,149,504.99

6.4.1 VALOR ACTUAL NETO. (VAN)

Para el cálculo del VAN (Valor Actual Neto) se necesita el flujo de caja, y tomar una tasa de interés que debe ser mayor que el interés aplicado por la financiera para así determinar si el valor que se esta cancelando por el dinero prestado es compensable con la rentabilidad.

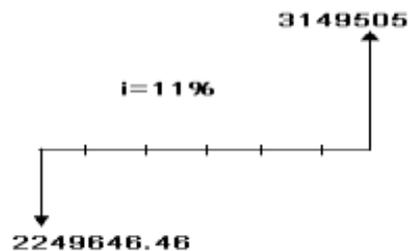


Figura 6. 1 Diagrama de flujo de caja.

La tasa de descuento está en función de la tasa de interés del financiamiento del capital de trabajo y para que el proyecto sea considerado factible debe ser mayor.

$$X = \frac{1}{(1+i)^n}$$

Ec. 6.2

i=0.11/12

n= 12 meses

Tabla 6. 24 Cálculo del valor actual neto.

AÑO	PRECIO DE VENTA	(X) FACTOR DESCUENTO	FLUJOS NETOS DESCONTADOS
1	3,149,504.99	0.8962	2,822,586.37
		SUMATORIA	2,822,586.37
		(-) INVERSION INICIAL	-2249646.42
		(=) VAN AL 11%	572,939.95

Como este valor es positivo tenemos en tiempo presente una ganancia de capital de **VAN = 572,939.95 USD**

6.4.2 CÁLCULO TIR.

La TIR (Tasa Interna de Retorno) es la máxima tasa de descuento que puede tener un proyecto para que sea rentable o también es cuando la tasa de interés correspondiente al VAN igual a cero.

Para obtener la tasa interna de retorno, se debe tener un VAN negativo, el cual se obtiene de las variaciones de la tasa de descuento con la que se obtuvo el VAN positivo.

Existen varios métodos para calcular la TIR; aquí lo vamos a calcular por medio de interpolación, para lo cual se facilitara con el Figura 6. 2, donde se muestra el valor del VAN en función de la tasa de interés.

Para obtener el valor del VAN negativo se debe probar con varios valores de la tasa de interés para luego poder interpolar entre dos valores. En la Tabla 6. 25 muestra la prueba de valores hasta que se encuentra un valor negativo del VAN.

Tabla 6. 25 Cálculo de VAN negativo.

i	x	P.V. presente	Inversión	VAN
0.11	0.8963	2822848.28	2249646.42	573201.86
0.3	0.7436	2341832.98	2249646.42	92186.56
0.35	0.7082	2230559.25	2249646.42	-19087.17
0.5	0.6127	1929732.44	2249646.42	-319913.98

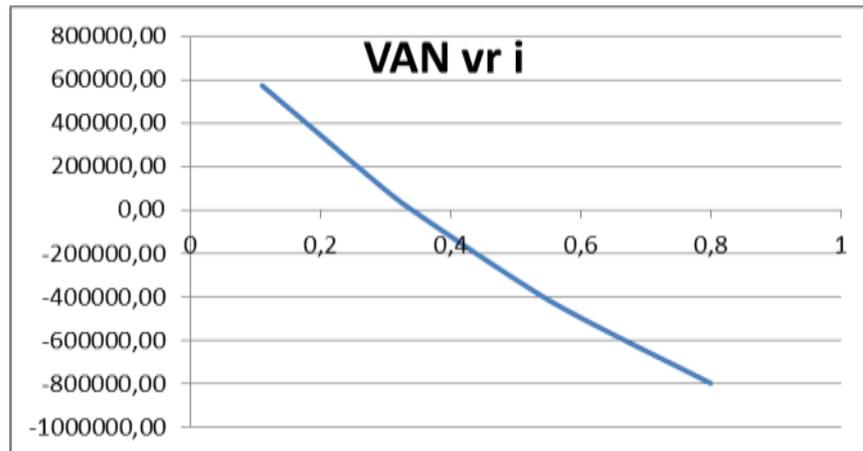


Figura 6. 2 VAN vs. i

Con los valores respectivos del VAN y tasa de interés, positivos y negativos se prosigue al cálculo de la TIR, para lo cual se utiliza la interpolación lineal, donde tenemos los valores.

$$\frac{VAN_{+} - VAN_{-}}{VAN_{+} - 0} = \frac{i_{-} - i_{+}}{TIR - i_{+}} \quad \text{Ec. 6.3}$$

Donde:

$i (+)$ = Es la Tasa de interés que hace al VAN positivo y cercano al cero

$i (-)$ = Es la Tasa de Interés que hace al VAN negativo y cercano al cero

$VAN (+)$ = Es el VAN Positivo

$VAN (-)$ = Es el VAN Negativo

En la Tabla 6. 26 Se muestra los valores para ser remplazados en la Ec. 6.3.

Tabla 6. 26 Resumen parámetros

Variable	Valor
VAN (+)	573201.85
$i (+)$	0.11
VAN (-)	-19087.17
$i (-)$	0.35
TIR	34.22

CONCLUSIÓN: Es factible realizar el proyecto puesto que se obtiene una recuperación del 34.22% y además el valor del TIR es mayor que el valor de la tasa del préstamo de la CFN.

6.4.3 RELACIÓN COSTO BENEFICIO.

La razón Costo Beneficio es el cociente entre el valor de la sumatoria de los flujos de ventas y la inversión, este índice permite conocer si la inversión es viable cuando es uno o superior a uno, por el contrario si es inferior a uno o peor aún es negativo, la inversión no es viable.

$$CB = \frac{\sum \text{Ingresos} * (1+i)^{-n}}{\sum \text{Egresos} * (1+i)^{-n}} \quad \text{Ec. 6.4}$$

$$\sum \text{Ingresos} * (1+i)^{-n} = 2'981636.37$$

$$\sum \text{Egresos} * (1+i)^{-n} = 2'249646.42$$

$$CB = 1.325$$

Por lo tanto el proyecto es viable, puesto que el índice de relación costo beneficio supera a 1 lo cual quiere decir que se va a obtener mayor ganancia.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES.

1. Para el desarrollo del presente proyecto de titulación se utilizó como pilar fundamental a la Norma API 650, “Tanques Soldados para Almacenamiento de Petróleo del Instituto Americano del Petróleo”. El mismo que orienta al diseñador, proporcionando herramientas útiles tanto para el diseño mecánico, métodos de fabricación, calificación y procedimientos de soldadura, montaje, inspección técnica, etc. Este sistema obliga a una estrecha relación entre el cliente y el constructor; minimiza el factor de error en la toma de decisiones, tiene una total aceptación en la mayoría de los países del planeta. Se le caracteriza como una norma válida, fiable y realizable, el trabajo hecho es comparable en cualquier parte del mundo, y su influencia tiende a dar estabilidad a la economía, ahorrar gastos, promover el empleo local en la zona de construcción y garantizar el funcionamiento rentable y seguro a las empresas petroleras.

2. El proceso de montaje de una estructura metálica no es una ciencia cierta, o un tópico que tenga un algoritmo perfectamente desarrollado. Este proceso, es sin duda una ciencia empírica combinada con aspectos fundamentales de la ciencia teórica (como las deformaciones debidas a las altas temperaturas de soldadura) que se ha desarrollado a través de los años, y cuyos fundamentos han sido establecidos por la experiencia de ingenieros eruditos en este campo. En definitiva, no hay otra manera de aprender acerca del montaje de una estructura metálica que estar presente en él.

3. El diseño de la estructura a si como de todos los elementos que la conforman tienen como objetivo salvaguardar la economía, la seguridad de la estructura y de las personas que trabajaran en ella.

4. Se desarrolló un diseño para tanques de almacenamiento tipo techo flotante basado en normas, guías, manuales y necesidades planteadas por la empresa para dar una solución óptima, eficiente y realizable del proyecto.
5. El diseño en general implica una serie de cálculos que deben ser comprobados mediante una simulación en SAP 2000 con la cual se verificara si los espesores calculados soportan las cargas establecidas.
6. El presente proyecto de titulación demuestra los trabajos de ingeniería que se requieren previo a la construcción de un tanque de almacenamiento de petróleo, asegurando los pasos a seguir cumpliendo los parámetros de la Norma API 650.
7. Los espesores elegidos para el cuerpo del tanque fueron establecidos por el método de un pie, este método es muy confiable en el diseño de tanques de almacenamiento ya que toma aproximadamente un factor de seguridad de 1.5 con lo que se garantiza la confiabilidad de los espesores tomados.
8. Los elementos que garantizan una funcionalidad permanente y rentable son los accesorios del tanque, tales como manhole, bridas, placas de refuerzo, manhole de techo. Serán fabricados, montados y ubicados conforme los establece la Normativa API 650.
9. El anillo de rigidez en un elemento de los tanques de almacenamiento que son de suma importancia porque, rigidiza al cuerpo evitando una posible deformación en la parte superior del cuerpo.
10. Los procesos de soldadura descritos para el montaje del tanque de almacenamiento son avalados por la Norma API 650, estos ha sido detallados en los WPS respectivos para cada junta de soldadura, los cuales han sido del determinados debido a factores técnicos, económicos y de disponibilidad del equipo en campo.

11. Los esfuerzos obtenidos en la simulación no exceden el punto de fluencia del material elegido por lo que la estructura soporta las cargas que han sido determinadas por los cálculos
12. Con la ayuda del paquete informático SAP 2000 se pudo constatar que el diseño del tanque es correcto ya que se encuentra estable después de soportar tanto las cargas muertas, viva, hidrostática, sismo y viento.
13. Es importante establecer un procedimiento de seguridad para el izaje de las planchas, trabajos en altura, trabajos en espacios confinados, control de emisiones de gases, etc. Con esto se podrá realizar un trabajo seguro y disminuir el riesgo de accidentes en el trabajo.
14. El análisis financiero realizado para el presente proyecto indica que es rentable realizar el presente proyecto. Esto se llevo a determinar con los indicadores de factibilidad como son: VAN, TIR Costo beneficio.
15. Es importante indicar que los costos indicados son de referencia para tener una idea mas clara del costo total del tanque por lo que es importante ahondar mas en el análisis financiero para llegar a tener un valor mas preciso y real del costos del tanque.
16. Los traslapes realizados para las planchas de fondo garantizan que nno existan derrames ya que son difíciles de detectar.
17. El diseño del techo flotante se basa en formulas empíricas de flotabilidad las cuales garantizan un buen diseño de l techo.
18. Los materiales utilizados en la construcción del tanque son aprobados por la normativa API 650, los cuales después de una serie de ensayos garantizan la funcionabilidad de la estructura.

7.2 RECOMENDACIONES.

1. Es importante antes de empezar el diseño mecánico de tanques de almacenamiento, conocer las condiciones de operación del tanque como: volumen a almacenar, temperatura, opresión de trabajo, peso específico del líquido almacenado, corrosión permisible, velocidad del viento, coeficientes sísmicos de la zona, etc. Esta información debe ser proporcionada por el cliente, dado que debería conocer con exactitud las características del fluido que almacenará
2. Se recomienda hacer un análisis del tipo de suelo, en el que indique el nivel freático del mismo ya que esto nos ayudara a determinar el tipo de suelo real y a la vez evitar colapsos de la estructura debido a problemas del suelo.
3. La cimentación del tanque es importante que sea verificada por el especialista en suelos ya que en esta sobre esta descansara el tanque de almacenamiento por lo que debe ser analizada previo montaje de las planchas del fondo.
4. Se recomienda tomar en cuenta los ejes del tanque para que la ubicación de los accesorios y planchas sea la correcta según los planos de ingeniería con esto se disminuirán los desperdicios de material.
5. A pesar de que la norma API 650 permite el diseño de tanques de almacenamiento de petróleo y derivados con espesores de hasta 3/16". Se recomienda para todo diseño utilizar espesores de por lo menos 1/4".
6. Las pruebas a realizar en el tanque de almacenamiento deben ser realizadas por personal con experiencia en este tipo de pruebas para que no existan fallas en la construcción del tanque de almacenamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] API 650; Welded Tanks for Oil Storage; 11va Ed. ADDENDUM 2; 2009
- [2] API 650; Welded Tanks for Oil Storage; APENDIX A 11va Ed. ADDENDUM 2; 2009
- [3] API 650; Welded Tanks for Oil Storage; APENDIX B 11va Ed. ADDENDUM 2; 2009
- [4] API 650; Welded Tanks for Oil Storage; APENDIX E 11va Ed. ADDENDUM 2; 2009
- [5] API 650; Welded Tanks for Oil Storage; APENDIX H 11va Ed. ADDENDUM 2; 2009
- [6] AMERICAN WELDING SOCIETY; Structural Welding Code-Steel; AWS D1.1/D1.1 M; 2006
- [7] AISC; Manual of Steel Construction; 8va Ed.
- [8] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERING, Welding and Brazing Qualifications, CÓDIGO ASME IX, 2001
- [9] CEC; Código Ecuatoriano de la Construcción; 1era Ed.; Quito, Ecuador; 2001
- [10] CAJAS L., MUGLISA P.; Elaboración del procedimiento para la certificación de tanques atmosféricos para almacenamiento de crudo; Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, EPN, Quito, Ecuador; 2007
- [11] CEPEDA J., MORILLO A.; Desarrollo de un plan de mantenimiento para tanques de almacenamiento de petróleo de Petroecuador en el terminal marítimo de balao.; Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, EPN, Quito, Ecuador; 2010
- [12] SHIGLEY E.; Diseño en Ingeniería Mecánica; 8va Ed.; McGraw-Hill; México; 2008.
- [13] Seminario Manejo norma API 650, Escuela Politécnica Nacional, ASME section student, 2010.
- [14] Load resistance factor design specification for structural Steel buildings, Manual AISC, 1999 pag 27

- [15] Procedimientos control de calidad, TESCA INGENIERIA DEL ECUADOR, 2011.
- [16] L. BLANK; A. TARQUIN; Ingeniería Económica; sexta edición.
- [17] <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1715/1/cd-2753.pdf>
- [18] www.tauniversity.org/tesis/Tesis_Ricardo_Castillo.doc.
- [19] http://www.agnchile.cl/prontus_agn/site/artic/20081030/pags/20081030154017.html
- [20] <http://es.scribd.com/doc/19414750/Tanques-de-Almacenamiento-de-Hidrocarburos>\
- [21] http://es.123rf.com/photo_5826422_tanques-de-almacenamiento-de-informacion-agricola.html
- [22] <http://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=4826&nombreproducto=>
- [23] PDVSA CIED (Centro Internacional de Educacion y Desarrollo). (1995, Febrero); TANQUES DE ALMACENAMIENTO PARA DERIVADOS DEL PETROLEO, PDVSA. Venezuela.
- [24] <http://es.wikipedia.org/wiki/Pandeo>
- [25] <http://www.lmnoeng.com/TankDischarge.htm>
- [26] <http://www.mycheme.com/technicaldata/standard-pipe-sizes.html>
- [27] <http://www.focatanques.com/cms/Default.asp?Page=11>
- [28] http://www.inamhi.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=203:anuario-hidrologico-2009&catid=45:anuarios&Itemid=84
- [29] http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca_codigo=3801
- [30] <http://www.slideshare.net/jesusfbf/flujo-tuberias-cap-3-y-4>
- [31] http://www.redproteger.com.ar/long_equivalente.htm
- [32] <http://www.inamhi.gov.ec/boletinesprensa/abril/bprensa50.pdf>
- [33] www.inglesa.com.mx/books/DYCTA.pdf
- [34] es.wikipedia.org/wiki/Tanque_de_almacenamiento
- [35] KUAN,SIEW YENG ; Operation of the floating roof tank, 2009.
- [36] http://materias.fi.uba.ar/6756/Tanques_de_almacenamiento_de_hidrocarburos_1C_07.pdf

ANEXOS

ANEXO 1

ESFUERZO MÁXIMO PERMISIBLE

Table 5-2a—(SI) Permissible Plate Materials and Allowable Stresses

Plate Specification	Grade	Plate Thickness t mm	Minimum Yield Strength Mpa	Minimum Tensile Strength Mpa	Product Design Stress S_d Mpa	Hydrostatic Test Stress S_t Mpa
ASTM Specifications						
A 283M	C		205	380	137	154
A 285M	C		205	380	137	154
A 131M	A, B, CS		235	400	157	171
A 36M	—		250	400	160	171
A 131M	EH 36		360	490*	196	210
A 573M	400		220	400	147	165
A 573M	450		240	450	160	180
A 573M	485		290	485*	193	208
A 516M	380		205	380	137	154
A 516M	415		220	415	147	165
A 516M	450		240	450	160	180
A 516M	485		260	485	173	195
A 662M	B		275	450	180	193
A 662M	C		295	485*	194	208
A 537M	1	$t \leq 65$ $65 < t \leq 100$	345 310	485* 450*	194 180	208 193
A 537M	2	$t \leq 65$ $65 < t \leq 100$	415 380	550* 515*	220 206	236 221
A 633M	C, D	$t \leq 65$ $65 < t \leq 100$	345 315	485* 450*	194 180	208 193
A 678M	A		345	485*	194	208
A 678M	B		415	550*	220	236
A 737M	B		345	485*	194	208
A 841M	Class 1		345	485*	194	208
A 841M	Class 2		415	550*	220	236
CSA Specifications						
G40.21M	260W		260	410	164	176
G40.21M	260 WT		261	411	165	177
G40.21M	300W		300	450	180	193
G40.21M	300WT		301	451	181	194
G40.21M	350W		350	450	180	193
G40.21M	350WT	$t \leq 65$ $65 < t \leq 100$	350 320	480* 480*	192 192	206 206
National Standards						
			235	365	137	154
			250	400	157	171
			275	430	167	184
ISO 650						
E 275	C, D	$t \leq 16$ $16 < t \leq 40$	275 265	410 410	164 164	176 176
E 355	C, D	$t \leq 16$ $16 < t \leq 40$ $40 < t \leq 50$	355 345 335	490* 490* 490*	196 196 196	210 210 210

*By agreement between the Purchaser and the Manufacturer, the tensile strength of ASTM A 537M, Class 2, A 678M, Grade B, and A 841M, Class 2 materials may be increased to 585 MPa minimum and 690 MPa maximum. The tensile strength of the other listed materials may be increased to 515 MPa minimum and 620 MPa maximum. When this is done, the allowable stresses shall be determined as stated in 5.6.2.1 and 5.6.2.2.

*By agreement between the Purchaser and the Manufacturer, the tensile strength of ASTM A 537M, Class 2 materials may be increased to 550 MPa minimum and 690 MPa maximum. The tensile strength of the other listed materials may be increased to 485 MPa minimum and 620 MPa maximum. When this is done, the allowable stresses shall be determined as stated in 5.6.2.1 and 5.6.2.2.

ANEXO 2

**MATERIALES ACEPTADOS PARA TANQUES DE
ALMACENAMIENTO.**

Table 4-4a—(SI) Material Groups (See Figure 4-1a and Note 1 Below)

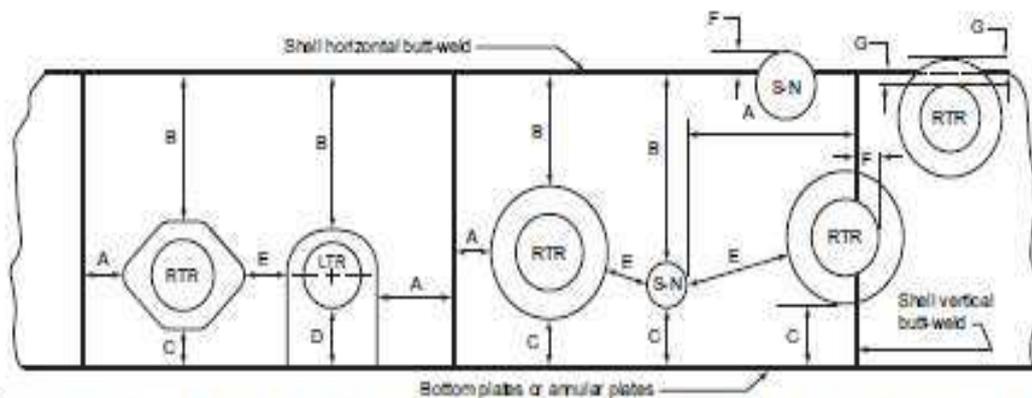
Group I As Rolled, Semi-Killed		Group II As Rolled, Killed or Semi-Killed		Group III As Rolled, Killed Fine-Grain Practice		Group IIIA Normalized, Killed Fine-Grain Practice	
Material	Notes	Material	Notes	Material	Notes	Material	Notes
A 283M C	2	A 131M B	7	A 573M-400		A 131M CS	
A 285M C	2	A 36M	2, 6	A 516M-380		A 573M-400	10
A 131M A	2	G40.21-260W		A 516M-415		A 516M-380	10
A 36M	2, 3	Grade 250	5, 8	G40.21-260W	9	A 516M-415	10
Grade 235	3, 5			Grade 250	5, 9	G40.21-260W	9, 10
Grade 250	6					Grade 250	5, 9, 10
Group IV As Rolled, Killed Fine-Grain Practice		Group IVA As Rolled, Killed Fine-Grain Practice		Group V Normalized, Killed Fine-Grain Practice		Group VI Normalized or Quenched and Tempered, Killed Fine-Grain Practice Reduced Carbon	
Material	Notes	Material	Notes	Material	Notes	Material	Notes
A 573M-450		A 662M C		A 573M-485	10	A 131M EH 36	
A 573M-485		A 573M-485	11	A 516M-450	10	A 633M C	
A 516M-450		G40.21-300W	9, 11	A 516M-485	10	A 633M D	
A 516M-485		G40.21-350W	9, 11	G40.21-300W	9, 10	A 537M Class 1	
A 662M B				G40.21-350W	9, 10	A 537M Class 2	13
G40.21-300W	9					A 678M A	
G40.21-350W	9					A 678M B	13
E 275	4, 9					A 737M B	
E 355	9					A 841M, Grade A, Class 1	12, 13, 14
						A 841M, Grade B, Class 2	12, 13, 14
Grade 275	5, 9						

Notes:

- Most of the listed material specification numbers see ASTM specifications (including Grade or Class); there are, however, some exceptions: G40.21 (including Grade) is a CSA specification; Grades E 275 and E 355 (including Quality) are contained in ISO 630; and Grade 235, Grade 250, and Grade 275 are related to national standards (see 4.2.5).
- Must be semi-killed or killed.
- Thickness ≤ 20 mm.
- Maximum manganese content of 1.5%.
- Thickness 20 mm maximum when controlled-rolled steel is used in place of normalized steel.
- Manganese content shall be 0.80% – 1.2% by heat analysis for thicknesses greater than 20 mm, except that for each reduction of 0.01% below the specified carbon maximum, an increase of 0.06% manganese above the specified maximum will be permitted up to the maximum of 1.35%. Thicknesses ≤ 20 mm shall have a manganese content of 0.80% – 1.2% by heat analysis.
- Thickness ≤ 25 mm.
- Must be killed.
- Must be killed and made to fine-grain practice.
- Must be normalized.
- Must have chemistry (heat) modified to a maximum carbon content of 0.20% and a maximum manganese content of 1.60% (see 4.2.6.4).
- Produced by the thermo-mechanical control process (TMCP).
- See 5.7.4.6 for tests on simulated test coupons for material used in stress-relieved assemblies.
- See 4.2.9 for impact test requirements (each plate-as-rolled tested).

ANEXO 3

DISTANCIAS ABERTURAS DEL CUERPO.



Note:

- RTR = Regular-Type Reinforced Opening (nozzle or manhole) with diamond or circular shape reinforcing plate or insert plate that does not extend to the bottom (see Figure 5-7A and Figure 5-8).
- LTR = Low-Type Reinforced Opening (nozzle or manhole) using tombstone type reinforcing plate or insert plate that extends to the bottom [see Figure 5-8, Detail (a) and Detail (b)].
- S-N = Shell openings with neither a reinforcing plate nor with a thickened insert plate (i.e., integrally reinforced shell openings; or openings not requiring reinforcing).

Variables		Reference	Minimum Dimension Between Weld Toes or Weld Centerline (1)(3)						
Shell t	Condition	Paragraph Number	A (2)	B (2)	C (2)	D (3)	E (2)	F (4)	G (4)
$t \leq 12.5 \text{ mm}$ ($t \leq 1/2 \text{ in.}$)	As welded or PWHT	5.7.3.2	150 mm (6 in.)	75 mm (3 in.) or $2^{1/2}t$	75 mm (3 in.) or $2^{1/2}t$ 75 mm (3 in.) for S-N	Table 5-6a and Table 5-6b	75 mm (3 in.) or $2^{1/2}t$	$8t$ or $1/2 r$	$8t$
		5.7.3.3							
		5.7.3.3							
		5.7.3.3 • 5.7.3.4 • 5.7.3.4							
$t > 12.5 \text{ mm}$ ($t > 1/2 \text{ in.}$)	As Welded	5.7.3.1.a	$8W$ or 250 mm (10 in.)	$8W$ or 250 mm (10 in.)	$8W$ or 250 mm (10 in.) 75 mm (3 in.) for S-N	Table 5-6a and Table 5-6b	$8W$ or 150 mm (6 in.)	$8t$ or $1/2 r$	$8t$
		5.7.3.1.b							
		5.7.3.3							
		5.7.3.3 • 5.7.3.4 • 5.7.3.4							
$t > 12.5 \text{ mm}$ ($t > 1/2 \text{ in.}$)	PWHT	5.7.3.2	150 mm (6 in.)	75 mm (3 in.) or $2^{1/2}t$	75 mm (3 in.) or $2^{1/2}t$ 75 mm (3 in.) for S-N	Table 5-6a and Table 5-6b	75 mm (3 in.) or $2^{1/2}t$	$8t$ or $1/2 r$	$8t$
		5.7.3.3							
		5.7.3.3							
		5.7.3.3 • 5.7.3.4 • 5.7.3.4							

Notes:

1. If two requirements are given, the minimum spacing is the greater value, except for dimension "F." See Note 4.
2. t = shell thickness. $8W$ = 8 times the largest weld size for reinforcing plate or insert plate periphery weld (filler or butt-weld) from the toe of the periphery weld to the centerline of the shell butt-weld.
3. D = spacing distance established by minimum elevation for low-type reinforced openings from Tables 5-6a and 5-6b, column 9.
4. Purchaser option to allow shell openings to be located in horizontal or vertical shell butt-welds. See Figure 5-9.
 t = shell thickness, r = radius of opening. Minimum spacing for dimension F is the lesser of $8t$ or $1/2 r$.

ANEXO 4

**ESPEORES PARA BOQUILLAS DE MANHOLE,
BOQUILLAS DE CUERPO.**

DIMENSIONES PARA BOQUILLAS DEL CUERPO.⁹⁶

g	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7	Columna 8	Columna 9
NPS Diámetro de la boquilla o cuello de manhole	Diámetro Exterior del Tubo Dp	Espesor Nominal de la pared del tubo de la boquilla tn	Diámetro de la placa de refuerzo DR	Longitud del lado de la placa de refuerzo o diámetro L=Do	Ancho de la Placa de refuerzo W	Mínima distancia desde el cuerpo a la cara de la boquilla	Mínima distancia del fondo del tanque al centro de la boquilla	
							Tipo Regular HN	Tipo baja C
Accesorios Bridados								
48	48	e	48 1/8	96 3/4	117	16	52	48 3/8
46	46	e	46 1/8	92 3/4	112	16	50	46 3/8
44	44	e	44 1/8	88 3/4	107 1/4	15	48	44 3/8
42	42	e	42 1/8	84 3/4	102 1/2	15	46	42 3/8
40	40	e	40 1/8	80 3/4	97 3/4	15	44	40 3/8
38	38	e	38 1/8	76 3/4	92 3/4	14	42	38 3/8
36	36	e	36 1/8	72 3/4	88	14	40	36 3/8
34	34	e	34 1/8	68 3/4	83 1/4	13	38	34 3/8
32	32	e	32 1/8	64 3/4	78 1/2	13	36	32 3/8
30	30	e	30 1/8	60 3/4	73 1/2	12	34	30 3/8
28	28	e	28 1/8	56 3/4	68 3/4	12	32	28 3/8
26	26	e	26 1/8	52 3/4	64	12	30	26 3/8
24	24	0.5	24 1/8	49 3/4	60	12	28	24 3/4
22	22	0.5	22 1/8	45 3/4	55 1/4	11	26	22 3/4
20	20	0.5	20 1/8	41 3/4	50 1/2	11	24	20 3/4
18	18	0.5	18 1/8	37 1/2	45 3/4	10	22	18 3/4
16	16	0.5	16 1/8	33 1/2	40 3/4	10	20	16 3/4
14	14	0.5	14 1/8	29 1/2	36	10	18	14 3/4
12	12 3/4	0.5	12 7/8	27	33	9	17	13 1/2
10	10 3/4	0.5	10 7/8	23	28 1/4	9	15	11 1/2
8	8 5/8	0.5	8 3/4	19	23 1/4	8	13	9 1/2
6	6 5/8	0.432	6 3/4	15 3/4	19 1/2	8	11	7 7/8
4	4 1/2	0.337	4 5/8	12	15 1/4	7	9	6
3	3 1/2	0.3	3 5/8	10 1/2	13 1/2	7	8	5 1/4
2	2 3/8	0.218	2 1/2	-	-	6	7	h
1 1/2	1.9	0.2	2	-	-	6	6	h
Accesorios roscados								
3	4 1/4	Acoplado	4 3/8	11 1/4	14 1/4	-	9	5 5/8
2	3	Acoplado	3 1/8	-	-	-	7	h
1 1/4	2 1/2	Acoplado	2 5/8	-	-	-	6	h
1	1 3/4	Acoplado	1 7/8	-	-	-	5	h
3/4	1 3/8	Acoplado	1 1/2	-	-	-	4	h

⁹⁶ API Standard 650, 11 Edition Junio 2001, addendum 2, Tabla. 5-6b, pag 5-28

ESPEORES PARA CUELLO DEL MANHOLES.⁹⁷

Espesores del casco y placa de refuerzo del manhole	Mínimo espesor para el cuello Tn			
	Para diámetro de manhole 20 pulg	Para diámetro de manhole 24 pulg	Para diámetro de manhole 30 pulg	Para diámetro de manhole 36 pulg
3/16	3/16	3/16	3/16	3/16
1/4	1/4	1/4	1/4	1/4
5/16	1/4	1/4	5/16	5/16
3/8	1/4	1/4	5/16	3/8
7/16	1/4	1/4	5/16	3/8
1/2	1/4	1/4	5/16	3/8
9/16	1/4	1/4	5/16	3/8
5/8	1/4	1/4	5/16	3/8
11/16	1/4	1/4	5/16	3/8
3/4	1/4	1/4	5/16	3/8
13/16	5/16	1/4	5/16	3/8
7/8	3/8	5/16	5/16	3/8
15/16	7/16	7/16	7/16	7/16
1	7/16	7/16	7/16	7/16
1 1/16	7/16	7/16	7/16	7/16
1 1/8	1/2	1/2	1/2	1/2
1 3/16	9/16	9/16	9/16	9/16
1 1/4	5/8	9/16	9/16	9/16
1 5/16	5/8	5/8	5/8	5/8
1 3/8	11/16	5/8	5/8	5/8
1 7/16	11/16	11/16	11/16	11/16
1 1/2	3/4	3/4	3/4	3/4

⁹⁷ API Standard 650, 11 Edition Junio 2001, addendum 2, Tabla. 5-6b, pag 5-28

ANEXO 5

**DIMENSIONES PARA BOQUILLAS DE CUERPO Y
BRIDAS**

DIMENSIONES DE BOQUILLAS DEL CUERPO Y PLACA DE REFUERZO.

g	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7	Columna 8	Columna 9
NPS Diametro de la boquilla o cuello de manhole	Diámetro Exterior del Tubo Dp	Espesor Nominal de la pared del tubo de la boquilla tn	Diámetro de la placa de refuerzo DR	Longitud del lado de la placa de refuerzo o diámetro L=Do	Ancho de la Placa de refuerzo W	Mínima distancia desde el cuerpo a la cara de la boquilla	Mínima distancia del fondo del tanque al centro de la boquilla	
							Tipo Regular HN	Tipo baja C
Accesorios Bridados								
48	48	e	48 1/8	96 3/4	117	16	52	48 3/8
46	46	e	46 1/8	92 3/4	112	16	50	46 3/8
44	44	e	44 1/8	88 3/4	107 1/4	15	48	44 3/8
42	42	e	42 1/8	84 3/4	102 1/2	15	46	42 3/8
40	40	e	40 1/8	80 3/4	97 3/4	15	44	40 3/8
38	38	e	38 1/8	76 3/4	92 3/4	14	42	38 3/8
36	36	e	36 1/8	72 3/4	88	14	40	36 3/8
34	34	e	34 1/8	68 3/4	83 1/4	13	38	34 3/8
32	32	e	32 1/8	64 3/4	78 1/2	13	36	32 3/8
30	30	e	30 1/8	60 3/4	73 1/2	12	34	30 3/8
28	28	e	28 1/8	56 3/4	68 3/4	12	32	28 3/8
26	26	e	26 1/8	52 3/4	64	12	30	26 3/8
24	24	0.5	24 1/8	49 3/4	60	12	28	24 3/4
22	22	0.5	22 1/8	45 3/4	55 1/4	11	26	22 3/4
20	20	0.5	20 1/8	41 3/4	50 1/2	11	24	20 3/4
18	18	0.5	18 1/8	37 1/2	45 3/4	10	22	18 3/4
16	16	0.5	16 1/8	33 1/2	40 3/4	10	20	16 3/4
14	14	0.5	14 1/8	29 1/2	36	10	18	14 3/4
12	12 3/4	0.5	12 7/8	27	33	9	17	13 1/2
10	10 3/4	0.5	10 7/8	23	28 1/4	9	15	11 1/2
8	8 5/8	0.5	8 3/4	19	23 1/4	8	13	9 1/2
6	6 5/8	0.432	6 3/4	15 3/4	19 1/2	8	11	7 7/8
4	4 1/2	0.337	4 5/8	12	15 1/4	7	9	6
3	3 1/2	0.3	3 5/8	10 1/2	13 1/2	7	8	5 1/4
2	2 3/8	0.218	2 1/2	-	-	6	7	h
1 1/2	1.9	0.2	2	-	-	6	6	h
Accesorios roscados								
3	4 1/4	Acoplado	4 3/8	11 1/4	14 1/4	-	9	5 5/8
2	3	Acoplado	3 1/8	-	-	-	7	h
1 1/4	2 1/2	Acoplado	2 5/8	-	-	-	6	h
1	1 3/4	Acoplado	1 7/8	-	-	-	5	h
3/4	1 3/8	Acoplado	1 1/2	-	-	-	4	h

ANEXO 6

DIMENSIONES PUERTA DE LIMPIEZA.

DIMENSIONES PARA PUERTA DE LIMPIEZA

Table 5-9a—(SI) Dimensions for Flush-Type Cleanout Fittings (mm)

Column 1	Column 2	Column 3	Column 4	Column 5	Column 6	Column 7	Column 8	Column 9	Column 10	Column 11
Height of Opening	Width of Opening	Arc Width of Shell Reinforcing Plate	Upper Corner Radius of Opening	Upper Corner Radius of Shell Reinforcing Plate	Edge Distance of Bolts	Flange Width ^a (Except at Bottom)	Bottom Flange Width	Special Bolt Spacing ^b	Number of Bolts	Diameter of Bolts
h	b	W	r_1	r_2	e	f_3	f_2	g		
203	406	1170	100	360	32	102	89	83	22	20
610	610	1830	300	740	38	102	95	89	36	20
914	1219	2700	450 ^c	1040	38	114	121	108	46	24
1219 ^d	1219	3200	600	1310	38	114	127	114	52	24

^aFor neck thicknesses greater than 40 mm, increase f_3 as necessary to provide a 1.5 mm clearance between the required neck-to-flange weld and the head of the bolt.

^bRefers to spacing at the lower corners of the cleanout-fitting flange.

^cFor Groups IV, IVA, V, and VI, 600 mm.

^dOnly for Group I, II, III, or IIIA shell materials (see 5.7.7.2).

Note: See Figure 5-12.

Table 5-9b—(USC) Dimensions for Flush-Type Cleanout Fittings (in.)

Column 1	Column 2	Column 3	Column 4	Column 5	Column 6	Column 7	Column 8	Column 9	Column 10	Column 11
Height of Opening	Width of Opening	Arc Width of Shell Reinforcing Plate	Upper Corner Radius of Opening	Upper Corner Radius of Shell Reinforcing Plate	Edge Distance of Bolts	Flange Width ^a (Except at Bottom)	Bottom Flange Width	Special Bolt Spacing ^b	Number of Bolts	Diameter of Bolts
h	b	W	r_1	r_2	e	f_3	f_2	g		
8	16	46	4	14	1 ¹ / ₄	4	3 ¹ / ₂	3 ¹ / ₄	22	3/4
24	24	72	12	29	1 ¹ / ₂	4	3 ³ / ₄	3 ¹ / ₂	36	3/4
36	48	106	18 ^c	41	1 ¹ / ₂	4 ¹ / ₂	4 ³ / ₄	4 ¹ / ₄	46	1
48 ^d	48	125	24	51 ¹ / ₂	1 ¹ / ₂	4 ¹ / ₂	5	4 ¹ / ₂	52	1

^aFor neck thicknesses greater than 1⁹/₁₆ in., increase f_3 as necessary to provide a 1¹/₁₆ in. clearance between the required neck-to-flange weld and the head of the bolt.

^bRefers to spacing at the lower corners of the cleanout-fitting flange.

^cFor Groups IV, IVA, V, and VI, 24 in.

^dOnly for Group I, II, III, or IIIA shell materials (see 5.7.7.2).

Note: See Figure 5-12.

Table 5-10a—(SI) Minimum Thickness of Cover Plate, Bolting Flange, and Bottom Reinforcing Plate for Flush-Type Cleanout Fittings (mm)

Maximum Design Liquid Level m <i>H</i>	Equivalent Pressure ^a kPa	Size of Opening <i>h</i> × <i>b</i> (Height × Width)							
		200 × 400		600 × 600		900 × 1200		1200 × 1200	
		Thickness of Bolting Flange and Cover Plate <i>t_c</i>	Thickness of Bottom Reinforcing Plate ^b <i>t_b</i>	Thickness of Bolting Flange and Cover Plate <i>t_c</i>	Thickness of Bottom Reinforcing Plate ^c <i>t_b</i>	Thickness of Bolting Flange and Cover Plate <i>t_c</i>	Thickness of Bottom Reinforcing Plate ^d <i>t_b</i>	Thickness of Bolting Flange and Cover Plate <i>t_c</i>	Thickness of Bottom Reinforcing Plate ^e <i>t_b</i>
6.1	60	10	13	10	13	16	21	16	22
10.4	101	10	13	13	13	19	25	21	28
12.5	123	10	13	13	14	22	28	22	30
16.1	159	10	13	14	16	24	32	25	33
18.3	179	11	13	16	18	25	33	28	35
19.5	191	11	13	16	18	27	35	28	36
21.9	215	11	13	18	19	28	36	30	40

^aEquivalent pressure is based on water loading.

^bMaximum of 25 mm.

^cMaximum of 28 mm.

^dMaximum of 40mm.

^eMaximum of 45 mm.

Note: See Figure 5-12.

08

Table 5-10b—(USC) Minimum Thickness of Cover Plate, Bolting Flange, and Bottom Reinforcing Plate for Flush-Type Cleanout Fittings (in.)

Maximum Design Liquid Level ft <i>H</i>	Equivalent Pressure ^a psi	Size of Opening <i>h</i> × <i>b</i> (Height × Width)							
		8 × 16		24 × 24		36 × 48		48 × 48	
		Thickness of Bolting Flange and Cover Plate <i>t_c</i>	Thickness of Bottom Reinforcing Plate ^b <i>t_b</i>	Thickness of Bolting Flange and Cover Plate <i>t_c</i>	Thickness of Bottom Reinforcing Plate ^c <i>t_b</i>	Thickness of Bolting Flange and Cover Plate <i>t_c</i>	Thickness of Bottom Reinforcing Plate ^d <i>t_b</i>	Thickness of Bolting Flange and Cover Plate <i>t_c</i>	Thickness of Bottom Reinforcing Plate ^e <i>t_b</i>
20	8.7	3/8	1/2	3/8	1/2	5/8	13/16	5/8	7/8
34	14.7	3/8	1/2	1/2	1/2	3/4	1	13/16	1 1/8
41	17.8	3/8	1/2	1/2	9/16	7/8	1 1/8	7/8	1 3/16
53	23	3/8	1/2	9/16	5/8	15/16	1 1/4	1	1 5/16
60	26	7/16	1/2	5/8	11/16	1	1 5/16	1 1/8	1 3/8
64	27.8	7/16	1/2	5/8	11/16	1 1/16	1 3/8	1 1/8	1 7/16
72	31.2	7/16	1/2	11/16	3/4	1 1/8	1 7/16	1 3/16	1 1/2

^aEquivalent pressure is based on water loading.

^bMaximum of 1 in.

^cMaximum of 1 1/8 in.

^dMaximum of 1 1/2 in.

^eMaximum of 1 3/4 in.

Note: See Figure 5-12.

08

ANEXO 7

**DIAMETROS TÍPICOS DE TANQUES DE
ALMACENAMIENTO PARA CAPACIDADES NOMINALES
EN BARRILES.**

DIÁMETROS TÍPICOS DE TANQUES.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Diámetro del tanque (ft)	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	14.0	225	335	450	-----	-----	-----	-----
15	31.5	505	755	1010	1260	-----	-----	-----
20	56.0	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	

ANEXO 8

**DIAMETROS TÍPICOS DE TANQUES DE
ALMACENAMIENTO PARA CAPACIDADES NOMINALES
EN BARRILES.**

ESPEORES TIPICOS DE TANQUES.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Diámetro del tanque (ft)	Altura del tanque (pies)/numero total de anillos en el cuerpo del tanque.								
	8	16	24	32	40	48	56	64	Max. altura disponible para diámetro
10	3/16	3/16	3/16	3/16	-----	-----	-----	-----	-----
15	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	-----	-----	-----	-----
20	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	-----	-----	-----
25	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	0.20	0.23	-----
30	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	0.21	0.24	0.28	-----
35	3/16	3/16	3/16	3/16	0.20	0.24	0.28	0.33	-----
40	3/16	3/16	3/16	3/16	0.23	0.28	0.32	0.37	-----
45	3/16	3/16	3/16	0.21	0.26	0.31	0.36	0.42	-----
50	1/4	1/4	1/4	0.25	0.29	0.35	0.40	0.46	-----
60	1/4	1/4	1/4	0.27	0.34	0.41	0.48	0.55	-----
70	1/4	1/4	1/4	0.32	0.40	0.48	0.56	0.65	-----
80	1/4	1/4	0.27	0.37	0.46	0.55	0.64	0.74	-----
90	1/4	1/4	0.31	0.41	0.52	0.62	0.72	0.83	-----
100	1/4	1/4	0.34	0.47	0.57	0.69	0.80	0.92	-----
120	5/16	5/16	0.41	0.55	0.69	0.83	0.97	1.10	-----
140	5/16	5/16	0.47	0.64	0.80	0.96	1.13	1.29	-----
160	5/16	0.35	0.54	0.73	0.91	1.10	1.29	1.47	65.3
180	5/16	0.40	0.61	0.82	1.03	1.24	1.45	-----	58.2
200	5/16	0.44	0.67	0.91	1.14	1.37	-----	-----	52.5
220	3/8	0.48	0.74	1.00	1.25	-----	-----	-----	47.8

ANEXO 9

**TABLAS DEL CEC PARA DETERMINAR CARGAS DE
SISMO.**

FIGURA 1. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño

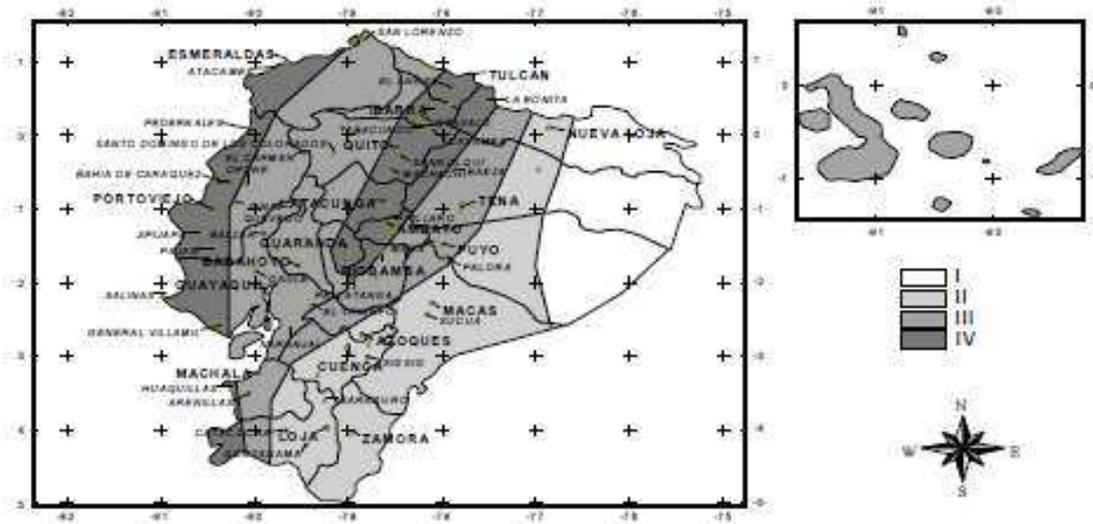


TABLA 1. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

Zona sísmica	I	II	III	IV
Valor factor Z	0,15	0,25	0,30	0,40

TABLA 3. Coeficiente de suelo S y Coeficiente Cm

Perfil tipo	Descripción	S	Cm
S1	Roca o suelo firme	1,0	2,5
S2	Suelos intermedios	1,2	3,0
S3	Suelos blandos y estrato profundo	1,5	2,8
S4	Condiciones especiales de suelo	2,0 *	2,5

(*) = Este valor debe tomarse como mínimo, y no sustituye los estudios de detalle necesarios para construir sobre este tipo de suelos

TABLA 4. Tipo de uso, destino e importancia de la estructura

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Factor I
Edificaciones Esenciales y/o peligrosas	Hospitales, clínicas, centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1,5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente.	1,3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación u otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores.	1,0

TABLA 5. Coeficientes de configuración en planta.

Tipo	DESCRIPCIÓN DE LAS IRREGULARIDADES EN PLANTA	Φ_{pl}
1	Irregularidad torsional Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de frecuencia. La torsión accidental se define en el numeral 6.4.2 del presente código.	0,9
2	Entrantes excesivos en las esquinas La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.	0,9
3	Discontinuidad en el sistema de piso La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.	0,9
4	Desplazamiento del plano de acción de elementos verticales Una estructura se considera irregular cuando existen discontinuidades en los ejes verticales, tales como desplazamientos del plano de acción de elementos verticales del sistema resistente.	0,8
5	Ejes estructurales no paralelos La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.	0,9
6	Sistema de piso flexible Cuando la relación de aspecto en planta de la edificación es mayor que 4:1 o cuando el sistema de piso no sea rígido en su propio plano se debe revisar la condición de piso flexible en el modelo estructural.	-

TABLA 6. Coeficientes de configuración en elevación

Tipo	Descripción de las irregularidades en elevación	Pórticos espaciales y pórticos con vigas banda ΦE_i	Sistemas duales o con diagonales ΦE_i
1	Piso blando (irregularidad en rigidez) La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80% del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.	0,9	1,0
2	Irregularidad en la distribución de las masas La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.	0,9	1,0
3	Irregularidad geométrica La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.	0,9	1,0
4	Desalineamiento de ejes verticales La estructura se considera irregular cuando existen desplazamientos en el alineamiento de elementos verticales del sistema resistente, dentro del mismo plano en el que se encuentran, y estos desplazamientos son mayores que la dimensión horizontal del elemento. Se exceptúa la aplicabilidad de este requisito cuando los elementos desplazados solo sostienen la cubierta de la edificación sin otras cargas adicionales de tanques o equipos.	0,8	0,9
5	Piso débil-Discontinuidad en la resistencia La estructura se considera irregular cuando la resistencia del piso es menor que el 70% de la resistencia del piso inmediatamente superior, (entendiéndose por resistencia del piso la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada).	0,8	1,0
6	Columnas cortas Se debe evitar la presencia de columnas cortas, tanto en el diseño como en la construcción de las estructuras.	-	-

TABLA 7. Coeficientes de reducción de respuesta estructural R

Sistema estructural	R
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas o de acero laminado en caliente, con muros estructurales de hormigón armado (sistemas duales).	12
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas o de acero laminado en caliente.	10
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas banda y muros estructurales de hormigón armado (sistemas duales).	10
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y diagonales rigidizadoras.*	10
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas banda y diagonales rigidizadoras.*	9
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes de hormigón armado con vigas banda.	8
Estructuras de acero con elementos armados de placas o con elementos de acero conformados en frío.	7
Estructura de aluminio.	7
Estructuras de madera.	7
Estructura de mampostería reforzada o confinada.	5
Estructuras con muros portantes de tierra reforzada o confinada.	3

* Cuando se utilizan diagonales, se debe verificar que los elementos en tensión cedan antes que los elementos en compresión.

ANEXO 10

LONGITUDES EQUIVALENTES DE TUBERÍA

ANEXO 1 LONGITUDES EQUIVALENTES DE TUBERÍA.

Fittings and Valves Expressed in Equivalent Feet (Meters) of Pipe														
Fittings and Valves	3½ in.		4 in.		5 in.		6 in.		8 in.		10 in.		12 in.	
	ft	m	ft	m	ft	m	ft	m	ft	m	ft	m	ft	m
45° Elbow	3	0.9	4	1.2	5	1.5	7	2.1	9	2.7	11	3.4	13	4.0
90° Standard elbow	8	2.4	10	3.1	12	3.7	14	4.3	18	5.5	22	6.7	27	8.2
90° Long turn elbow	5	1.5	6	1.8	8	2.4	9	2.7	13	4.0	16	4.9	18	5.5
Tee or cross (flow turned 90°)	17	5.2	20	6.1	25	7.6	30	9.2	35	10.7	50	15.3	60	18.3
Gate valve	1	0.3	2	0.6	2	0.6	3	0.9	4	1.2	5	1.5	6	1.8
Butterfly valve	—	—	12	3.7	9	2.7	10	3.1	12	3.7	19	5.8	21	6.4
Swing check*	19	5.8	22	6.7	27	8.2	32	9.8	45	13.7	55	16.8	65	19.8

Table 3.6 Equivalent Pipe Length Chart [NFPA 15, p15]

ANEXO 11

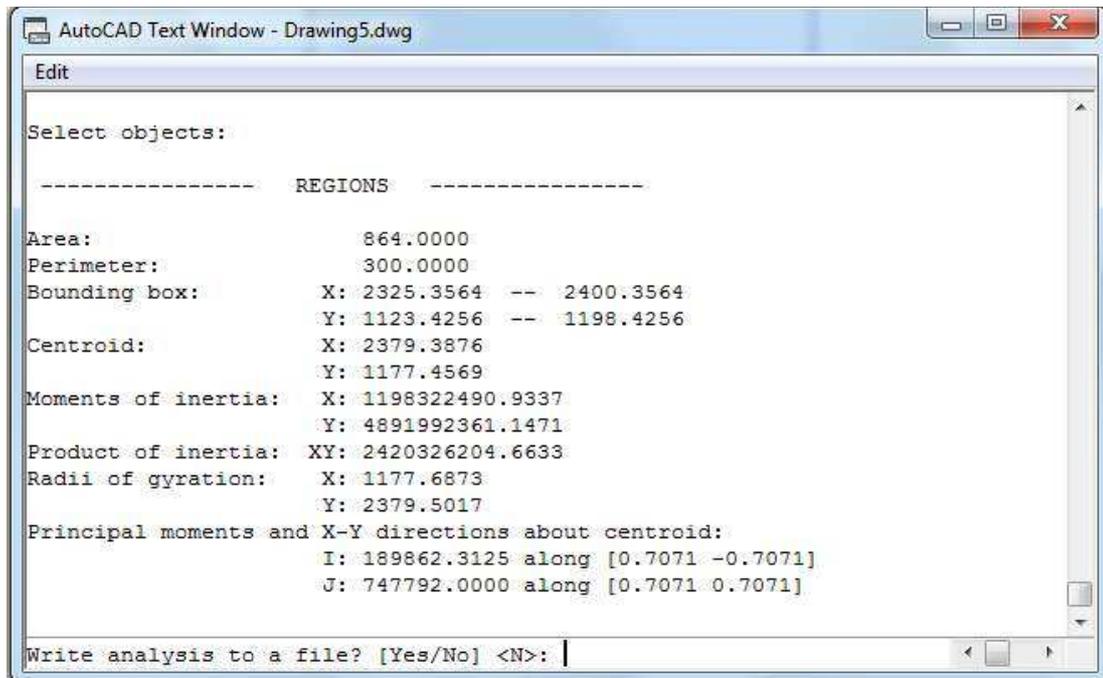
MOMENTOS DE INERCIA AUTOCAD.

```
AutoCAD Text Window - Drawing5.dwg
Edit
Command: massprop
Select objects: 1 found
Select objects:
----- REGIONS -----
Area:                6350.0000
Perimeter:           2012.7000
Bounding box:        X: 1825.6676 -- 2825.6676
                    Y: 1414.3514 -- 1420.7014
Centroid:            X: 2325.6676
                    Y: 1417.5264
Moments of inertia: X: 12759591425.7385
                    Y: 34874601078.8807
Product of inertia: XY: 20934014846.6491
Radii of gyration:  X: 1417.5276
                    Y: 2343.5151
Principal moments and X-Y directions about centroid:
                    I: 21337.3229 along [1.0000 0.0000]
                    J: 529166666.6667 along [0.0000 1.0000]
Write analysis to a file? [Yes/No] <N>: |
```

Momento de inercia elemento A viga de inercia

```
AutoCAD Text Window - Drawing5.dwg
Edit
Command: massprop
Select objects: 1 found
Select objects:
----- REGIONS -----
Area:                1534.3241
Perimeter:           425.9960
Bounding box:        X: 2347.0228 -- 2402.0228
                    Y: 1350.1841 -- 1470.1841
Centroid:            X: 2360.9552
                    Y: 1410.1841
Moments of inertia: X: 3054374397.6468
                    Y: 8552821417.4357
Product of inertia: XY: 5108350452.3579
Radii of gyration:  X: 1410.9206
                    Y: 2361.0009
Principal moments and X-Y directions about centroid:
                    I: 3187956.4536 along [1.0000 0.0000]
                    J: 330493.9704 along [0.0000 1.0000]
Write analysis to a file? [Yes/No] <N>: |
```

Momento de inercia elemento B viga de inercia



Momento de inercia elemento C viga de inercia

ANEXO 12

LÍNEA DE CREDITO MULTISECTORIAL.

LINEA DE CREDITO MULTISECTORIAL.

LÍNEA DE CRÉDITO MULTISECTORIAL	
<i>Destino</i>	Activo fijo:Financiación de terrenos,bienes muebles e inmuebles y construcción. Capital de Trabajo: excluyendo gastos no operativos, Asistencia técnica, Construcción proyectos habitacionales
<i>Beneficiario</i>	Persona Natural o jurídica privada, o mixta legalmente establecida en el país.
<i>Monto</i>	Máximo US\$ 5.000.000
<i>Plazo</i>	Activo fijo: 10 años Capital de trabajo: 3 años Asistencia técnica: 1 año
<i>Tasa</i>	Capital de trabajo: 10.5%; Activos Fijos: 10.5% hasta 5 años. 11% hasta 10 años.
<i>Amortización</i>	Anual Activos Fijos Mensual Capital de Trabajo
<i>Periodo de Gracia</i>	Activo Fijo 3 años Capital de Trabajo 4 meses
<i>Garantías</i>	Negociadas entre la IFI y el BF, de conformidad con lo dispuesto en la Ley General de Instituciones del Sistema Financiero.
<i>REQUISITOS</i>	Para créditos de hasta US\$ 300,000 no se requiere proyecto de evaluación. Para créditos superiores a US\$ 300,000 se requiere completar el modelo de evaluación que la CFN proporciona en medio magnético. Declaración de impuesto a la renta del último ejercicio fiscal. Títulos de propiedad de las garantías reales que se ofrecen. Carta de pago de los impuestos. Permisos de funcionamiento y de construcción cuando proceda. Planos aprobados de construcción, en el caso de obras civiles. Proformas de la maquinaria a adquirir. Proformas de materia prima e insumos a adquirir.

FUENTE: Corporación Financiera Nacional (www.cfn.fin.ec) y Subgerencia Nacional de Crédito de Segundo Piso (segundopiso@q.cfn.fin.ec),

ANEXO 13

PROFORMAS.



SUINCO & INGIN Cía. Ltda.

Desde 1988

PROFORMA SUINCO 19502

Señores: CESAR DE LA CADENA
Direccion: QUITO
Fecha: 04 DE JULIO DEL 2012

ATT:

CANT	DETALLE	V.UNIT	P. TOTAL
18	MTS TUBERIA AN S/C CD40 DE 8"	82.30	1,481.40
2	BRIDA ACERO ENGR0 C/CUELLO DE 8" X 150	97.15	194.30
216	MTS TUBERIA AN S/C CD40 DE 4"	30.90	6,674.40
4	BRIDA ACERO ENGR0 C/CUELLO DE 4" X 150	22.95	91.80
4	CODO AN P/S CD40 DE 4" X 90	10.95	43.80
6	MTS TUBERIA AN S/C CD40 DE 30"	408.25	2,437.50
6	MTS TUBERIA AN S/C CD40 DE 24"	364.25	2,185.50
18	MTS TUBERIA AN S/C CD40 DE 10"	120.00	2,160.00
1	VALVULA CHECK ACERO FUNDIDO WALWORTH BRIDADA DE 4" X 160	399.50	399.50
		SUBTOTAL	15668.20
		DESC. 0%	0.00
		SUBTOTAL	15668.20
		IVA	1880.18
		TOTAL	17548.38

VALIDEZ DE LA OFERTA: 72 HORAS


ALEXANDER ESPINOZA

GASEQUIP SCC
Gases-Soldaduras-Equipos

Gasequip Gases Soldaduras Equipos Sociedad Civil Comercial
IMPORTACION-REPRESENTACION

JUAN FIGUEROA OEA-20 Y AV. 25 DE MAYO TELEF (593-2)2597828/ 2591387/ 2592895

CONTRIBUYENTE ESPECIAL SEGUN RESOLUCION N° 815 DEL 18 DE DICIEMBRE DEL 2009

CLIENTE: CONSUMIDOR FINAL
ATENCION:

PROFORMA N°: PE0000001859

TELEFONO:
FECHA: 07/06/2012

CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UN	TOTAL
1	KL	ELECTRODOS WEST ARCO 6010 1/8 ZIP 10T	2.15	2.15
1	KL	ELECTRODOS WEST ARCO 6010 5/32	2.15	2.15
1	KL	ELECTRODOS WEST ARCO 6011 1/8 CELAC	2.05	2.05
1	KL	ELECTRODOS WEST ARCO 6011 5/32 CELAC	2.05	2.05
1	KL	ELECTRODOS WEST ARCO 7018 1/8 VIZ 18S	2.22	2.22
1	KL	ELECTRODOS WEST ARCO 7018 5/32 VIZ 18-S	2.22	2.22
				0.00

NETO: 12.84
I.V.A.: 1.54
TOTAL: 14.38


GASEQUIP S.C.C.
ELABORADO POR:
GEOVANNY YAMBERLA

ANEXO 14

ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE

SOLDADURA DEL PROYECTO

(WPS)

ANEXO 15

PLANOS DEL PROYECTO