

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR D'ALCOI

Diseño, cálculo y construcción de un depósito
industrial de chapa de acero para fluidos.
(Derivados del petróleo).

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería Mecánica

Autor: Pablo Ferrando García

Tutor: Rafael Plá Ferrando

Curso: 2016-2017

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo el estudio, diseño y cálculo de un depósito con estructura metálica para el almacenamiento y abastecimiento de diésel ubicado en la Planta de Guadalay, en Guadalay, Colombia.

En los diferentes apartados del proyecto se estudiarán diferentes conceptos para el entendimiento y funcionamiento del mismo. Desde sus elementos constructivos hasta el cálculo del tanque para un correcto funcionamiento.

En cada apartado se estudiarán las necesidades específicas y se darán a conocer los resultados que se aplican en el tanque justificados de manera adecuada y con el cumplimiento de la normativa.

En aspectos económicos se detallará el coste del mismo con una correcta elección de los materiales a trabajar, así como el trabajo de los operarios, transporte y otros gastos asociados en su fabricación.

Resum

Aquest treball té com a objectiu l'estudi, disseny i càlcul d'un dipòsit amb estructura metàl·lica per a l'emmagatzematge i proveïment de dièsel situat en la Planta de Guadalay, en Guadalay, Colòmbia.

En els diferents apartats del projecte s'estudiaran diferents conceptes per a l'enteniment i funcionament del mateix. Des dels seus elements constructius fins al càlcul del tanc per a un correcte funcionament.

En cada apartat s'estudiaran les necessitats específiques i es donaran a conèixer els resultats que s'apliquen en el tanc justificats de manera adequada i amb el compliment de la normativa.

En aspectes econòmics es detallarà el cost del mateix amb una correcta elecció dels materials a treballar, així com el treball dels operaris, transport i altres despeses associades en la seua fabricació.

Abstract

The aim of this project is the study, design and calculation of a tank with metallic structure for the storage and provision of diesel in the Planta of Guadalay, Guadalay, Colombia.

In the different parts of the project, different concepts will be studied for its understanding and functioning.

In each part, the specific needs will be studied and the results that apply in the tank will be known and explained in a trained way, complying with regulations.

Therefore, relating to economic aspects, the cost of it will be detailed with a correct election of the used materials, as well as the operatives work, transport and other expenses associated to its manufacturing.

Índex

1. Generalidades	7
1.1. Descripción del problema	7
1.2. Objetivo general	7
1.2.1 Objetivos específicos.....	7
1.3. Alcance	7
1.4. Código aplicable, <i>API 650</i>	9
2. Elementos constructivos del tanque	11
2.1. Definición de conceptos	11
2.2. Tipos de techos	11
2.3. Materiales a emplear en el tanque.....	12
2.3.1. Materiales para la soldadura del tanque	16
2.4. Soldaduras en el tanque.....	16
2.4.1. Juntas verticales del cuerpo	17
2.4.2. Juntas horizontales.....	17
2.4.3. Soldadura del fondo	18
2.4.4. Juntas de la placa anular del fondo	18
2.4.5. Junta del cuerpo-fondo.....	18
2.4.6. Juntas para anillos anulares	20
2.4.7. Juntas del techo y perfil de coronamiento.....	20
2.4.8. Procedimiento de soldadura de nuestro tanque.....	20
2.4.9. Control de calidad de las juntas soldadas.....	22
2.5. Boquillas en el tanque	22
2.5.1 Boquillas en las paredes del tanque	23
2.5.2 Boquillas en el techo	29
2.6 Entrada de hombre y accesorios	32
2.6. 1 Entrada de hombre y accesorios	32
2.6. 2 Venteos	39
2.6.3. Drenajes y sumideros.....	41
2.7. Escaleras y plataformas	46
2.7.1. Requerimientos para plataformas y pasillos	46
2.7.1. Requerimientos para escaleras	47
3. Diseño para el caculo del tanque	48
3.1. Consideraciones a tener en cuenta para el diseño del tanque.....	48
3.2. Diseño del fondo	49
3.3. Diseño del cuerpo	52
3.3.1 Cálculo de espesores del cuerpo por el método de un pie.....	53

3.3.2 Cálculo del espesor del cuerpo por el método de punto de diseño variable	54
3.4. Diseño del techo.....	54
3.4.1 Calculo del techo soportado con estructura	54
3.4.2 Esfuerzos permisibles en el techo	55
3.4.3 Calculo de las vigas con cargas uniformemente repartida	57
3.4.4 Espacio entre largueros y números de largueros.....	58
3.4.4 Cálculo de vigas articuladas con carga uniformemente repartida	59
3.4.5 Selección de traveses y largueros	60
3.4.6 Cálculo de columna con carga axial	61
3.4.7 Selección de las columnas del tanque.....	63
3.4.8 Diseño del perfil de coronamiento	63
3.4.9 Cálculo del perfil de coronamiento.....	63
3.5 Cálculo por sismo.....	64
3.5.1 Momento de volteo.....	64
3.5.2 Masa efectiva contenida en el tanque	67
3.5.3 Coeficiente de fuerzas laterales	67
3.5.4 Resistencia a la volcadura.....	68
3.5.5 Compresión del cuerpo	69
3.5.6 Compresión máxima permisible del cuerpo	69
3.6 Cálculo por viento.....	69
3.6.1 Momento de volteo.....	70
3.6.2 Cálculo de los rigidizadores para el viento.....	71
4. Cálculos del tanque	72
4.1 Resumen de pesos	72
4.2 Cálculo del fondo con anillo perimetral	73
4.3 Estructura del techo	74
4.4 Envoltura/cuerpo.....	77
4.5 Rigidizadores secundarios para el viento	79
4.6 Aro de coronación en techos cónicos con estructura.....	81
4.7 Estabilidad frente al viento	82
4.8 Cálculo sísmico	83
4.9 Cargas	87
4.10 Volteo.....	88
5. Presupuesto	90
5.1 Coste de las chapas del tanque	90
5.2 Coste de los accesorios y otros elementos constructivos	91
5.3 Coste de sueldos, transporte y consumibles	92

5.4 Coste total del tanque.....	93
6. Pliego de Condiciones Técnicas	94
6.1 Definición y condiciones de las partidas de obra ejecutadas	94
6.2 Condiciones del proceso de ejecución	96
6.3 Unidad y criterios de medición.....	99
6.4 Condiciones de control de ejecución y de la obra acabada	99
Bibliografía.....	102
Anexos.....	103

1. Generalidades

1.1. Descripción del problema

El diseño de tanques para el almacenamiento de sustancias se ve implicado en muchos factores. Dependen de las características propias del material, cantidad y entorno en el cual se instalará el equipo mecánico.

En la etapa inicial del diseño, la recopilación de información deber ser precisa para el posterior cálculo. Se ha de realizar un estudio particular para desarrollar el diseño y cálculo del tanque. Las normas aplicables nos facilitan la normalización y estandarización de un único procedimiento para el cálculo de tanques.

La norma a utilizar será la *API 650*. Enfoca su diseño en tanques de acero destinado a almacenar petróleo o subproductos (como el agua, alcohol, etc.) que pueden ser almacenados a una presión cercana a la atmosférica, no mayor a 2.5 PSla^A (119 kPa).

Nuestro tanque va destinado a Colombia, concretamente a la población de Guadalupe a 176 km de la capital, Bogotá. El tanque a construir será para el abastecimiento y almacenamiento de diésel en la planta de Guadalupe.

1.2. Objetivo general

Realizar la construcción de un tanque según *API 650*, utilizando las herramientas y programas computacionales adecuados que nos permitan el cálculo. Se aplicarán las recomendaciones y restricciones indicadas en la norma y el análisis de comprobación de fuerzas a las que está sometido el tanque. En nuestro caso, para el almacenamiento de diésel.

1.2.1 Objetivos específicos

- Analizar el diseño y cálculo del tanque para el almacenamiento de diésel.
- Estudiar y aplicar la norma API 650.
- Conocer los aspectos mecánicos básicos que se deben considerar en el diseño y cálculo del tanque.
- Confeccionar las condiciones de servicio y operación a las cuales será sometido el tanque.

1.3. Alcance

El material del tanque a considerar será de tipo metálico, específicamente acero del tipo estructural bajo norma *ASTM^B* definida por *API 650* en la sección 2.2.2. Considerando como estructura del tanque; fondo o base, envolvente/cuerpo y techo.

Como sustancia de trabajo se utilizará diésel, aunque las pruebas serán realizadas con agua.

El tanque utilizará como referencia de cálculo, tipo cilíndrico de fondo plano y techo con estructura cónica y no se aplicará a tanques elevados o tanques semienterrados o enterrados.

El uso del tanque, debe ser aplicable en diferentes campos industriales donde se requiera almacenar diésel, por ejemplo en agroindustria, minería, obras públicas, etc.

El tanque a realizar posee las siguientes **características generales**:

Capacidad nominal	3.500 m ³
Volumen geométrico	3.510,64 m ³
Volumen de llenado	3.510,64 m ³

Según los **datos de diseño** de nuestro tanque tenemos:

Diámetro Interior, D	19.300 mm
Altura del tanque	12.000 mm
Altura máxima de producto, H	12.000 mm
Tipo de techo	Estructura cónica
Tipo de fondo	Fondo con anillo perimetral
Peso específico del agua	1
Peso específico del fluido, G	1(*)

*Aunque el peso específico del diésel es de 0,85, será utilizado el del agua ya que las pruebas de estanqueidad serán realizadas con agua.

Espesor de corrosión, C.A.	Fondo	1,6 mm
	Cuerpo	1.6 mm
	Techo	0 mm

Calidades del material de nuestro tanque:

Anillo perimetral	S-275 JR
Cuerpo	S-275 JR
Techo/Fondo	S-275 JR
Tubuladuras	A-106 Gr. B
Bridas	A-105
Perfilería	S-275 JR

Las **condiciones de diseño** del tanque son las siguientes:

Temperatura de diseño	30°C
Presión de diseño interna	0,0 Kg/cm ²
Presión de diseño externa	0,0025 Kg/cm ²
Presión de prueba	Lleno de agua
Velocidad del viento	140 km/h

Las **sobrecargas** que tendrá que soportar son:

Sobrecarga de nieve	0 kg/m ²
Sobrecarga de uso	150 Kg/cm ²
Vacío	0 Kg/cm ²

Y para finalizar con las características generales de nuestro tanque tenemos las **características del material** (tensiones admisibles) que posee el tanque:

Tensión de diseño, Sd	164 Mpa
Tensión de diseño en prueba, St	176 Mpa
Límite elástico, Fy	275 Mpa
Límite elástico de la perfilera, Fy	275 Mpa

1.4. Código aplicable, API 650

El diseño y cálculo de tanques de almacenamiento se basa en la publicación que realiza el "Instituto Americano del Petróleo", al que esta institución designa como "STANDAR A.P.I. 650", para tanques de almacenamiento a presión atmosférica. El estándar API 650 sólo cubre aquellos tanques en los cuales se almacenan fluidos líquidos y están contruidos de acero con el fondo uniformemente soportado por una cama de arena, grava, concreto, asfalto, etc, diseñados para soportar una presión de operación atmosférica o presiones internas que no excedan el peso del techo por unidad de área y una temperatura de operación no mayor de 93°C (200 °F), y que no se usen para servicios de refrigeración. Este estándar cubre el diseño y cálculo de los elementos constitutivos del tanque. En lista de los materiales de fabricación se sugieren secuencias en la erección del tanque, recomendación de procedimientos de soldaduras, pruebas e inspecciones, así como lineamientos para su operación.

A continuación, se muestra la tabla 1.1 con los diferentes requerimientos para la fabricación de tanques de almacenamiento.

TABLA 1.1. REQUERIMIENTO PARA TANQUES DE FONDO PLANO SEGÚN API 650

Tabla 1.1	A.P.I. 650		
	Básico	Apéndice A	Apéndice F
Presión Interna Máxima	Atm.	Atm.	0.17 Kg/cm ²
Temperatura Mínima	NS	(-)28.8°C	NS
Temperatura Máxima	93.3°C	93.3°C	93.3°C
Espesor Máximo del Cuerpo	44.4 cm.	12.7 cm.	44.4 mm.
Espesor Mínimo del Cuerpo			
D < 15.2 m.		4.76 mm.	
15.2 m. < D > 36.5 m.		6.35 mm.	
36.5 m. < D > 60.9 m.		7.93 mm.	
D > 60.9 m.		9.52 mm.	
Espesor Mínimo del Techo		4.76 mm.	
Espesor Máximo del Techo		6.35 mm. + CA	
Angulo Mínimo de Coronamiento			
D < 10.6 m.		50.8 mm. x 50.8 mm. x 4.76 mm.	
10.6 m. < D > 18.2 m.		50.8 mm. x 50.8 mm. x 6.35 mm.	
D > 18.2 m.		76.2 mm. x 76.2 mm. x 9.52 mm.	

RT = Temperatura Ambiente

NS = Sin Especificación CA = Corrosión Permissible

a) La temperatura puede ser elevada hasta 260°C cuando se cumplen ciertas especificaciones del material y requerimientos de diseño adicionales.

- b) Este espesor se aplica para tanques con diámetros menores a 6.096m.
- c) Este espesor se aplica para tanques con diámetros entre 6.096m. y 36.57m.
- d) El espesor mínimo de cualquier placa es 4.76mm. + corrosión.
- e) Para espesores mayores de 50.8mm. se deben cumplir algunos requerimientos especiales.
- f) Para techos cónicos, el espesor de placa puede ser calibre No. 7.

2. Elementos constructivos del tanque

2.1. Definición de conceptos

A continuación vamos a definir los conceptos técnicos que engloban a nuestro tanque para facilitar su comprensión:

BOQUILLA: Orificio practicado en un tanque para la entrada y/o salida de un fluido o la instalación de un instrumento de medición, generalmente son bridas o roscadas.

BRIDA: Accesorio para acoplamiento de tuberías, que facilita el armado y desarmado de las mismas.

CARGA HIDROSTÁTICA: La presión ejercida por un líquido en reposo.

CARGA MUERTA: La fuerza debida al peso propio de los elementos a considerar.

CARGA VIVA: La fuerza ejercida por cuerpos externos, tales como: nieve, lluvia, viento, personas y/o objetos en tránsito, etc.

CÓDIGO: Conjunto de mandatos dictados por una autoridad competente.

CORROSIÓN: Desgaste no deseado, originado por la reacción química entre el fluido contenido y/o procesado y el material de construcción del equipo en contacto con el mismo.

EFICIENCIA DE JUNTAS SOLDADAS: Valor numérico dado por el Código o Estándar correspondiente (Grado de Confiabilidad), en nuestro caso API 650.

ESTÁNDAR: Sugerencias para la fabricación y diseño, originadas por la experiencia.

NORMA: Conjunto de reglas para el dimensionamiento y cálculo de accesorios.

PRESIÓN ATMOSFÉRICA: Es la producida por el peso del aire y su valor depende de la altura del sitio indicado sobre el nivel del mar.

PRESIÓN DE DISEÑO: Es la presión manométrica considerada para efectuar los cálculos.

PRESIÓN DE OPERACIÓN: Presión manométrica a la cual estará sometido el tanque en condiciones normales de trabajo.

PRESIÓN DE PRUEBA: Valor de la presión manométrica que sirva para realizar la prueba hidrostática o neumática.

RECIPIENTE: Depósito cerrado que aloja un fluido a una presión manométrica diferente a la atmosférica, ya sea positiva o negativa.

TANQUE: Depósito diseñado para almacenar o procesar fluidos, generalmente a presión atmosférica o presión internas relativamente bajas.

2.2. Tipos de techos

Según *API 650* vamos a clasificar los tanques dependiendo del tipo de techo.

1. **Techo Fijo:** Se emplean para contener productos no volátiles o de bajo contenido de ligeros (no inflamables) como son: agua, diésel, petróleo crudo, etc. Debido a que al disminuir la columna del fluido, se va generando una cámara de aire que facilita la evaporación del fluido, los techos fijos se clasifican en:

- Techos autosoportados.
- Techos soportados con estructura.

2. **Techo Flotante:** Se emplean para almacenar productos con alto contenido de volátiles como son: alcohol, gasolinas y combustible en general excepto el diésel. Este techo reduce la cámara de aire o espacio libre que queda entre el techo y el líquido creando un medio aislante.
3. **Sin techo:** Se usan para almacenar productos en los cuales no es importante que éste se contamine o que se evapore a la atmósfera como el caso del agua residual, contra incendios, etc. El diseño de este tipo de tanques requiere de un cálculo especial del anillo de coronamiento.

En nuestro caso, el tipo de techo que compone nuestro tanque es de tipo techo fijo soportado con estructura. A diferencia de los techos autosoportados los techos soportados con estructura deben cumplir una serie requisitos de cálculo estructural según DIN4119 y API 650 5.10.4.4 que nos indican según sus dimensiones geométricas el cálculo de carga de abolladura de la chapa de techo y peso propio de la estructura y sobrecarga. Este cálculo incluye la elección del perfil IPN, el perfil adoptado para los anillos intermedios y arriostrados, así como el espesor adoptado de la chapa de la corona (tT) y el ancho adaptado para la chapa de la corona (tW).

2.3. Materiales a emplear en el tanque

Para el diseño y cálculo del tanque de almacenamiento es importante seleccionar el material adecuado dentro de la variedad de aceros que existen en el mercado, por lo que a continuación se muestran los materiales más usados con su aplicación y la tabla 1.2. muestra la agrupación de los mismos.

A-36: ACERO ESTRUCTURAL

Sólo para espesores iguales o menores de 38mm (1 1/2 pulg). Este material es aceptable y usado en los perfiles, ya sean comerciales o ensamblados de los elementos estructurales del tanque.

A-131: ACERO ESTRUCTURAL

GRADO A para espesor menor o igual a 12.7mm (1/2 pulg).

GRADO B para espesor menor o igual a 25.4mm (1 pulg).

GRADO C para espesores iguales o menores a 38mm (1-1/2 pulg).

GRADO EH36 para espesores iguales o menores a 44.5mm (1-3/4 pulg).

A-283.- PLACAS DE ACERO AL CARBONO CON MEDIO Y BAJO ESFUERZO A LA TENSIÓN

GRADO C Para espesores iguales o menores a 25mm (1 pulg). Este material es el más socorrido, porque se puede emplear tanto para perfiles estructurales como para la pared, techo, fondo y accesorios del tanque.

A-285: PLACA DE ACERO AL CARBONO CON MEDIO Y BAJO ESFUERZO A LA TENSIÓN.

GRADO C Para espesores iguales o menores de 25.4mm (1 pulg). Es el material recomendable para la construcción del tanque (cuerpo, fondo, techo y accesorios principales), el cual no es recomendable para elementos estructurales debido a que tiene un costo relativamente alto comparado con los anteriores.

A-516: PLACA DE ACERO AL CARBONO PARA TEMPERATURAS DE SERVICIO MODERADO.

GRADOS 55, 60, 65 y 70. Para espesores iguales o menores a 38mm (1-1/2 pulg). Este material es de alta calidad y, consecuentemente, de un costo elevado, por lo que se recomienda su uso en casos en que se requiera de un esfuerzo a la tensión alta, que justifique el costo.

A- 53.

GRADOS A Y B. Para tubería en general.

A-106.

GRADOS A Y B. Tubos de acero al carbón sin costura para servicios de alta temperatura.

A-105: FORJA DE ACERO AL CARBONO PARA ACCESORIOS DE ACOPLAMIENTO DE TUBERÍAS.

A-181: FORJA DE ACERO AL CARBONO PARA USOS EN GENERAL.

A-193.

GRADO B7. Material para tornillos sometidos a alta temperatura y de alta resistencia, menores a 64mm (2-1/2 (pulg), de diámetro.

A-194.

GRADO 2H. Material para tuercas a alta temperatura y de alta resistencia.

A-307.

GRADO B. Material de tornillos y tuercas para usos generales.

TABLA 1.2. GRUPOS DE MATERIALES.

Grupo 1 Rolado Semicalmado		Grupo 2 Rolado Calmado y Semicalmado		Grupo 3 Rolado y Calmado Grano Fino	
Material	Notas	Material	Notas	Material	Notas
A-283-C	2	A-31-B	7	A-573-58	
A-285-C	2	A-36	2 y 6	A-516-55	
A-131-A	2	A-422-55		A-516-60	
A-36	2 y 3	A-422-60		G40.21-260W	9
Fe-42-B	4	G40.21-260W		Fe-42-D	4 y 9
Gdo. 37	3 y 5	Fe-42-C	4	Gdo. 41	5 y 9
Gdo. 41	6	Gdo. 41	5 y 8		

Grupo 3A Normalizado, Calmado Grano Fino		Grupo 4 Rolado Calmado, Rolado Fino		Grupo 4A Rolado y Calmado Grano Fino	
Material	Notas	Material	Notas	Material	Notas
A-131-CS		A-573-65		A-662-C	
A-573-58	10	A-573-70		A-573-70	11
A-516-55	10	A-516-65		G40.21-300W	9, 11
A-516-60	10	A-516-70		G40.21-350W	9, 11
G40.20-260W	9 y 10	A-662-B			
Fe-42-D	4, 9 y 10	G40.21-300W	9		
Gdo. 41	5, 9 10	G40.21-350W	9		
		Fe-44-B,C,D	4 y 9		
		Fe-52-C,D	9		
		Gdo. 44	5 y 9		

Grupo 5 Normalizado, Calmado Grano Fino		Grupo 6 Normalizado, Reducido, Calmado por Temperatura Grano Fino y Reducción al Carbón	
Material	Notas	Material	Notas
A-573-70	10	A-131-EH,36	
A-516-65	10	A-633-C	
A-516-70	10	A-537-I	9
G40.21-300W	9 y 10	A-537-II	4 y 9
G40.21-350W	9 y 10	A-678-A	
		A-678-B	5 y 9
		A-737-B	

1.- Todo lo especificado, nombrado y referido por A.S.T.M. excepto G40.21 que está especificado por el Estándar de la Asociación Canadiense, Re 42, Fe 44 y Fe 52 especificado y contenido en ISO 630 y los grados 37, 41 y 44 especificados por el Estándar Nacional Americano.

2.- Debe ser semicalmado y calmado.

3.- Espesor menor o igual a 12.7mm (1/2 pulg).

4.- Máximo contenido de manganeso de 1.5%.

5.- Espesor menor o igual a 19.5mm (3/4 pulg), cuando el rolado es controlado.

6.- Contenido de manganeso de 0.8% a 1.2%, haciendo análisis de calor en todos los espesores.

7.- Espesores menores o iguales a 25.4mm (1 pulg).

8.- Debe ser calmado.

9.- Debe ser semicalmado y grano fino.

10.- Debe ser normalizado.

11.- Debe ser tratado térmicamente, con un máximo de carbón de 0.02% y un máximo de manganeso de 1.6%.

En nuestro tanque los materiales a emplear tanto para el anillo perimetral, cuerpo, techo, fondo, perfilería será un S-275 JR, para las tubuladuras un A-106 Gr.B y bridas A-105. Hay que tener en cuenta que el tanque además de llevar como principales materiales los ya dichos un tanque posee infinidad de accesorios como, codos, juntas, tornillos, tubos, perfiles, abarcones, tapas, reducciones y muchos más. Todos ellos vienen especificados; tanto por material, tamaños, resistencias, límites elásticos, etc por el mismo proveedor cumpliendo así las normas específicas para cada uno de ellos y que garantizan al cliente un correcto funcionamiento. Algunas de estas normas son: las ya comentadas API 650 y ASTM, para tubos (dimensiones y pesos) según Norma DIN-2463 y Normas ASME B36.10 y B36.19, para collarines la DIN-2642, para las bridas ANSI B 16.5 y DIN o para los tornillos las Normas DIN con sus diferentes tipos habiendo más de 20 en nuestro tanque y cada uno especificado por la norma DIN correspondiente tal y como se muestra en la siguiente imagen.

DIN 84	DIN 85	DIN 931	DIN 933	DIN 963	DIN 964	DIN 965	DIN 966
DIN 7985	DIN 975 Varilla Roscada	DIN 912	DIN 7991	DIN ULS	DIN 7984	DIN 6912	DIN 916
DIN 938	DIN 94	DIN 934	DIN 935	DIN 936	DIN 985	DIN 1587	≈ DIN 315
DIN 125	DIN 9021	DIN 127	DIN 6798 A	DIN 6798 J	DIN 95	DIN 96	DIN 97
DIN 571	DIN 7971	DIN 7972	DIN 7973	DIN 7981	DIN 7982	DIN 7983	DIN 603

2.3.1. Materiales para la soldadura del tanque

Para el soldado de materiales con un esfuerzo mínimo a la tensión menor de 5625 Kg/cm² (80000 lb/pulg²), los electrodos de arco manual deben estar hechos de materiales cuya clasificación sea AWS: E-60XX y E70XX.

Para soldado de materiales con un esfuerzo mínimo a la tensión de 5625- 5976 Kg/cm² (80000-85000 lb/pulg²), el material del electrodo de arco manual debe ser E80XX-CX.

También podrán ser usados otros materiales que sean recomendados por otros Estándares, Códigos o Normas como: *A.S.T.M.*, *CSA* (Canadian Standar for Standardization).

2.4. Soldaduras en el tanque

El estándar *A.P.I. 650*, se apoya del Código *A.S.M.E.* sección IX para dar los lineamientos que han de seguirse en la unión y/o soldado de materiales.

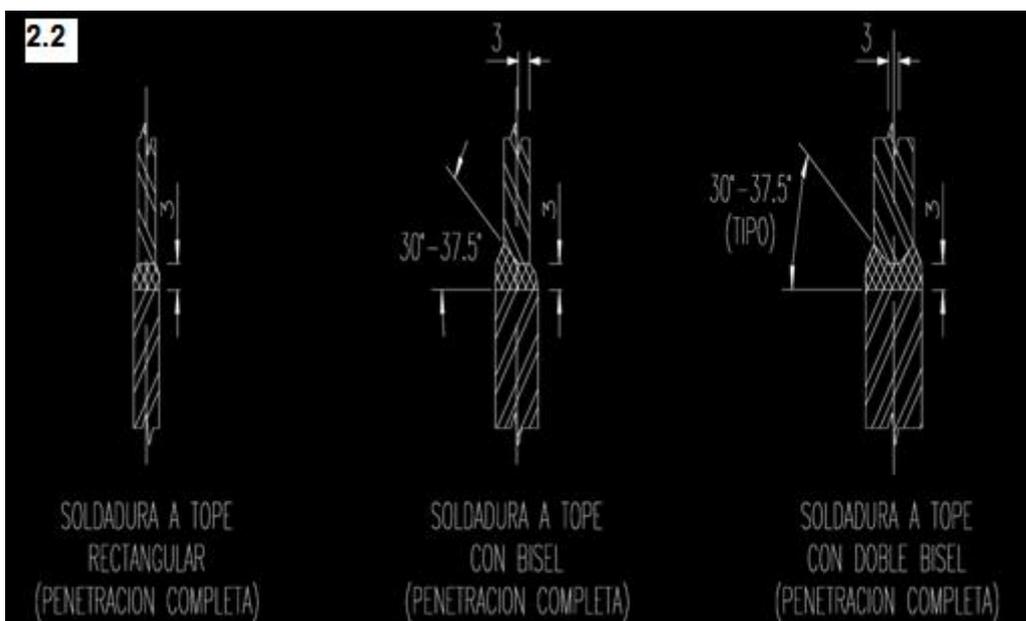
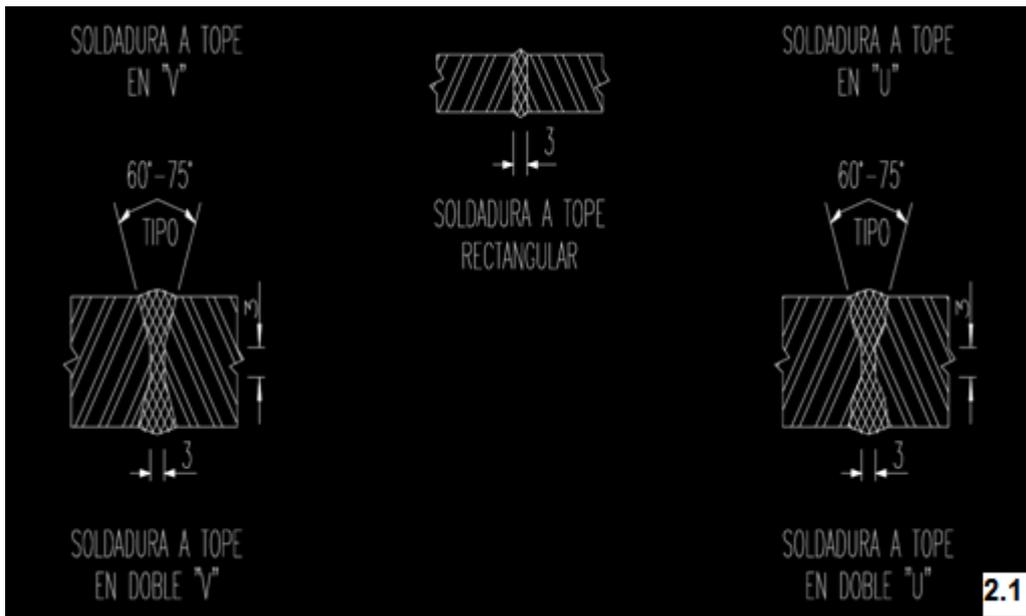
El Código *A.S.M.E.* sección IX, establece que toda junta soldada deberá realizarse mediante un procedimiento de soldadura de acuerdo a la clasificación de la junta y que, además, el operador deberá contar con un certificado que le acredite como soldador calificado para el tipo de soldaduras a realizar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

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

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

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

Las soldaduras típicas entre elementos, se muestran en las figuras 2.1 y 2.2. La cara ancha de las juntas en "V" y en "U" podrán estar en el exterior o en el interior del cuerpo del tanque dependiendo de la facilidad que se tenga para realizar el soldado de la misma. El tanque deberá ser diseñado de tal forma que todos los cordones de soldadura sean verticales, horizontales y paralelos, para el cuerpo y fondo, en el caso del techo, podrán ser radiales y/o circunferenciales.



2.4.1. Juntas verticales del cuerpo

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

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

2.4.2. Juntas horizontales

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

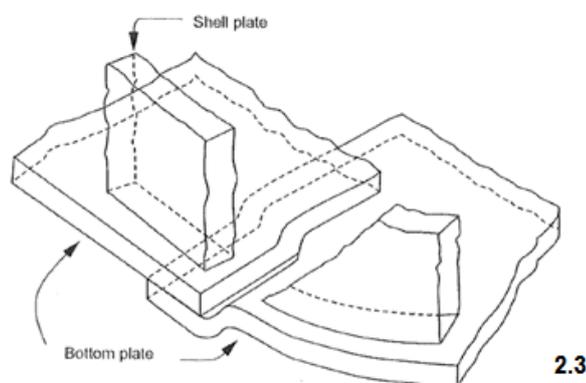
- A menos que otra cosa sea especificada, la junta a tope con o sin bisel entre las placas del cuerpo, deberán tener una línea de centros o fibra media común.

2.4.3. Soldadura del fondo

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

Las placas del fondo serán soldadas con un filete continuo a lo largo de toda la unión. A menos que se use un anillo anular, las placas del fondo llevarán bayonetas para un mejor asiento de la placa del cuerpo que son apoyadas sobre el fondo de acuerdo a la Figura 2.3.

- **Soldaduras a tope:** Las placas del fondo deberán tener sus cantos preparados para recibir el cordón de soldadura, ya sea escuadrando éstas o con biseles en "V". Si se utilizan biseles en "V", la raíz de la abertura no deberá ser mayor a 6.3mm (1/4 pulg). Las placas del fondo deberán tener punteada una placa de respaldo de 3.2mm (1/8 pulg) de espesor o mayor que la abertura entre placas, pudiéndose usar un separador para conservar el espacio entre las placas. Cuando se realicen juntas entre tres placas en el fondo del tanque, éstas deberán conservar una distancia mínima de 305mm entre sí y/o con respecto a la pared del tanque.



2.4.4. Juntas de la placa anular del fondo

La junta radial del fondo de la placa anular deberá ser soldada con las mismas características que en soldaduras a tope del párrafo anterior y tener penetración y fusión completa. El material de la placa anular será de las mismas características que el material del fondo.

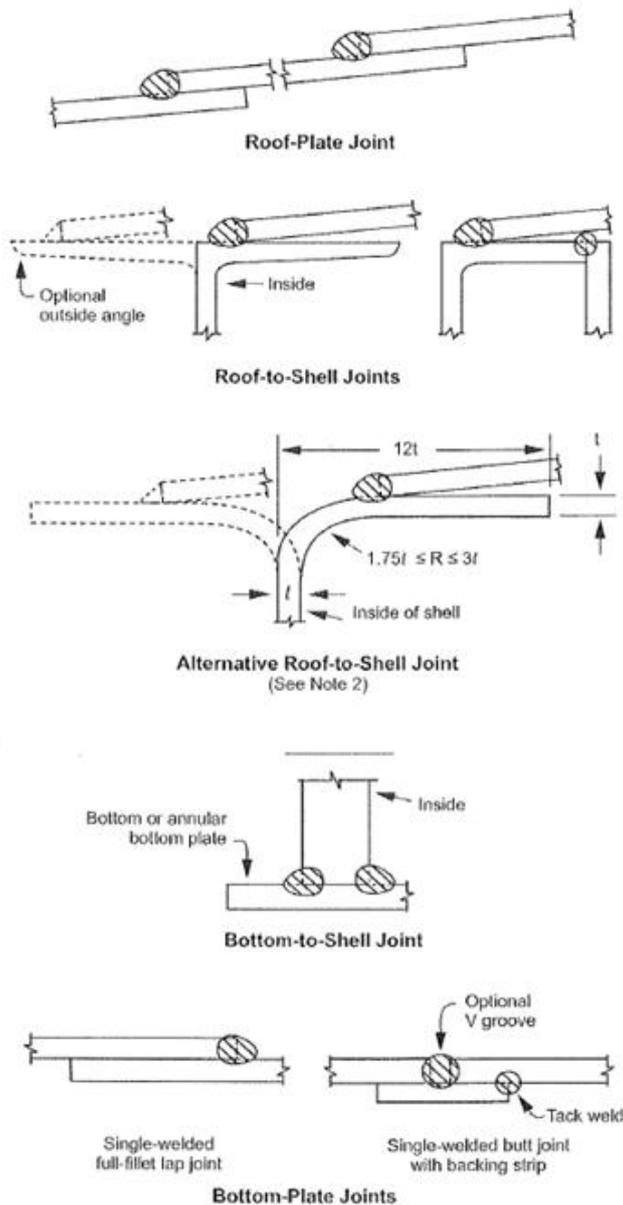
2.4.5. Junta del cuerpo-fondo

- Para espesores de placa del fondo o de placas anulares que sean de 12.7mm (1/2") o menores sin incluir corrosión, la unión entre el fondo y el canto de las placas del cuerpo tendrá que ser hecha con un filete continuo de soldadura que descansa a ambos lados de la placa del cuerpo (Ver Figura 2.4 y 2.4.1). El tamaño de cada cordón, sin tomar en cuenta la corrosión permisible, no será mayor que 12.7mm (1/2") y no menor que el espesor nominal de la más delgada de las placas a unir, o menor que los siguientes valores:

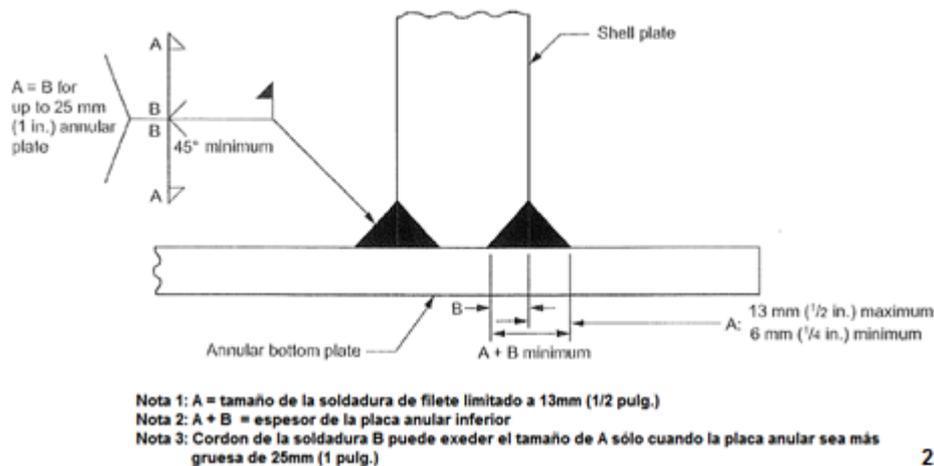
MÁXIMO ESPESOR DEL TANQUE (mm.)	DIMENSIÓN MÍNIMA DEL FILETE (mm.)
4.76	4.76
> 4.76 - 19.05	6.35
> 19.05 - 31.75	7.93
> 31.75 - 44.45	9.52

- Para placas anulares de un espesor mayor de 12.7mm. (1/2 pulg), la junta soldada deberá ser de una dimensión tal que el ancho del filete o la profundidad del bisel más el ancho del filete de una soldadura combinada sean del mismo espesor que la placa anular.

- El filete entre cuerpo y fondo para materiales en los grupos IV, V ó VI debe realizarse con un mínimo de dos cordones de soldadura (Ver Tabla 1.2).



2.4



2.4.1

2.4.6. Juntas para anillos anulares

- Las soldaduras para unir secciones anulares que conformen todo el anillo tendrán penetración y fusión completa.
- Se usarán soldaduras continuas para todas las juntas que por su localización puedan ser objeto de corrosión por exceso de humedad o que puedan causar oxidaciones en la pared del tanque.

2.4.7. Juntas del techo y perfil de coronamiento

- Las placas del techo deberán soldarse a traslape por el lado superior con un filete continuo igual al espesor de las mismas (Ver Figura 2.4).
- Las placas del techo serán soldadas al perfil de coronamiento del tanque con un filete continuo por el lado superior únicamente y el tamaño del filete será igual al espesor más delgado (Ver Figura 2.4).

2.4.8. Procedimiento de soldadura de nuestro tanque

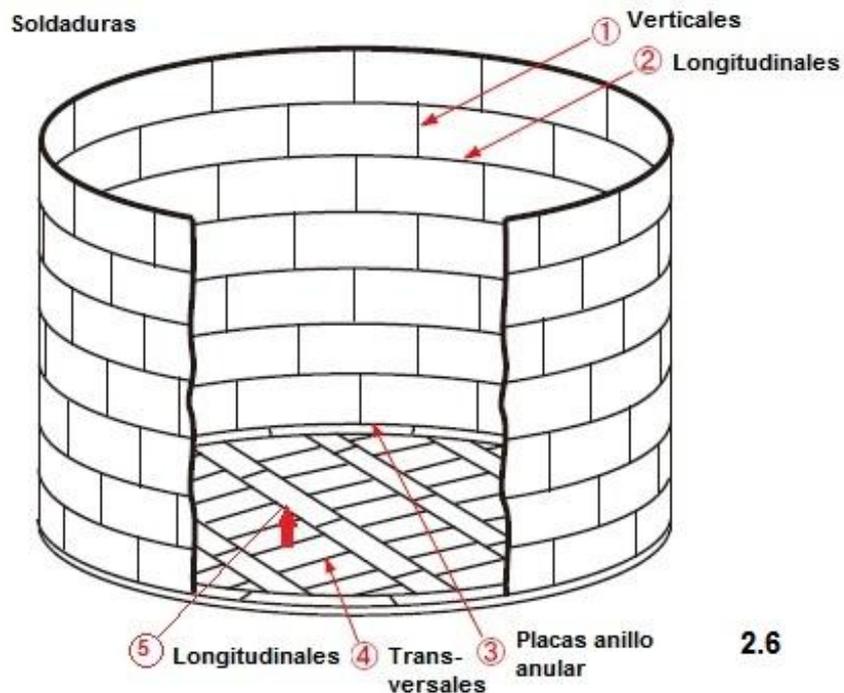
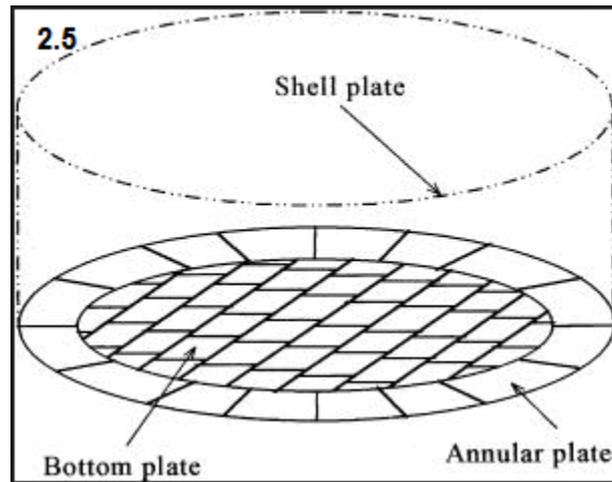
En los procesos de soldadura vamos a estar expuestos a altas temperaturas por lo que los materiales van a sufrir una serie de deformaciones afectando de forma directa al material el cual se va a soldar. Uno de los factores que vamos a encontrar van a ser las dilataciones térmicas del mismo.

Al soldar las placas de acero del fondo, envolvente y techo vamos a encontrar una serie de deformaciones expuestas a una temperatura de entre 2204°C y 1371°C (4,000°F y 2,500°F) también dependiendo del proceso que se utilice, la duración de la soldadura e incluso la situación meteorológica en la que nos encontremos.

Al trabajar a tan altas temperaturas nuestro material de trabajo va a sufrir unas deformaciones de expansión o contracción térmica del orden de 0.01651mm cada 38°C (100°F) el cual se encogerá 1.6mm. (1/16 pulg). Teniendo en cuenta que todo nuestro tanque va a ser ensamblado a base de soldaduras, el total de ellas va a suponer gran deformación estructural en su conjunto por lo que tendremos que seguir un procedimiento de soldadura para compensar estas dilataciones y así asegurar la resistencia del cálculo de nuestra estructura.

Para ello vamos a llevar a cabo una secuencia de soldadura, iniciando este proceso desde el centro del tanque y avanzando hacia la periferia del fondo, soldando juntas longitudinales y a continuación las placas del anillo anular, dejando por último las soldaduras transversales del fondo. Estas se tendrán que soldar una vez que se haya

avanzado en las soldaduras del primer anillo de la envoltura. Debemos tener en cuenta que vamos a tener una deformación constante en cada una de nuestras soldaduras por lo que en esas dichas deformaciones, sobre todo, en el primer anillo deben de ser las mínimas dentro de las tolerancias permitidas por el estándar. Si no es así vamos a ir arrastrando una deformación no deseada que más adelante nos va a perjudicar de manera directa en los últimos anillos. Para esto las soldaduras verticales del casco deben de ser alternadas y por procedimiento de retroceso de tal manera obtendremos una verticalidad y circularidad aceptable (figuras 2.5 y 2.6).



Este procedimiento debe llevar un estricto control de las dimensiones del cuerpo, a medida que se van montando las placas de cada anillo, pero tendremos que tener en cuenta que las últimas soldaduras de cierre deberán ser siempre a una hora tal del día

que se tenga la misma temperatura medida directamente sobre la superficie del material, a fin de controlar la expansión térmica que en grandes tanques puede llegar a ser del orden de 38mm. (1 1/2 pulg). Por supuesto que se usarán todos los herrajes que requiera el procedimiento con el objeto de mantener correctas las dimensiones y llevando un registro minucioso de las mismas para decidir, en el momento, oportuno, las correcciones pertinentes, debido a alguna desviación fuera de tolerancia. También se recomienda dejar una sección del primer anillo sin soldar para ser utilizada como puerta, la cual sólo se quitará en caso absolutamente necesario para acceso de material o equipo, con la condición de que esté hecha la primera soldadura horizontal, excepto tres pies, mínimo a cada lado de dicha puerta y que lateralmente se tengan instalados canales de refuerzo de 304.8mm (12 pulg) de longitud. Para su terminación, se seguirá el método explicado para las placas principales.

Hay que tener en cuenta que la soldadura de filete entre el primer anillo y la placa anular o la placa del fondo, se debe precalentar una longitud de 304.8mm (12 pulg.) hacia arriba del primer anillo a una temperatura de 100° C a 150°C.

Las soldaduras de traslape de las placas del techo sólo se harán por la parte exterior y solamente donde existan zonas de flexión se recomendarán puntos de soldadura a cada 304.8mm (12 pulg.) en su parte interior, porque la doble al tener que realizarse desde la parte inferior, favorece el descuelgue del cordón y reduce drásticamente el control de la penetración favoreciendo que podamos perder espesor en la chapa del techo.

2.4.9. Control de calidad de las juntas soldadas

Para verificar si las juntas soldadas están realizadas de manera correcta y para la puesta en marcha del tanque es necesario la inspección de las mismas.

Para llevar a cabo la inspección de su correcto funcionamiento se utilizan diferentes pruebas, entre ellas están:

1. Prueba de radiografiado.
2. Prueba de líquidos penetrantes.
3. Prueba de ultrasonido.

Es necesario también la realización de pruebas de dureza de las soldaduras, tanto en las horizontales como en las verticales. También será necesario esta comprobación en las soldaduras que ya sea por algún fallo o algún tipo de anomalía hayan sido reparadas posteriormente y siempre se tendrán que comprobar las zonas cercanas a estos cordones.

2.5. Boquillas en el tanque

El tanque debe de disponer de boquillas para las diferentes necesidades requeridas en la puesta en marcha, operación y mantenimiento del tanque. Según API 650 deberá llevar unas boquillas mínimas requeridas que así cumplan cada una de las necesidades de su construcción y puesta en marcha. Y adicionalmente el cliente nos puede pedir más boquillas de las que establece el código API 650 pero nunca con menos de las que establece la norma. Las boquillas mínimas que se deberán instalar en nuestro tanque son:

1. Entrada de producto.
2. Salida de producto.
3. Drenaje.
4. Venteo.
5. Entrada de hombre.
6. Conexiones para indicador y/o control de nivel.

2.5.1 Boquillas en las paredes del tanque

Las boquillas bridadas y/o roscadas, podrán ser de acuerdo a las figuras 2.7, 2.8, 2.9, 3.0 y Tablas 1.3.1, 1.3.2 y 1.3.3 o tipo SLIP ON, WELDING NECK, LAP JOINT Y TIPO PAD de un rating de 10.5 Kg/cm²), cuando el cliente así lo solicite.

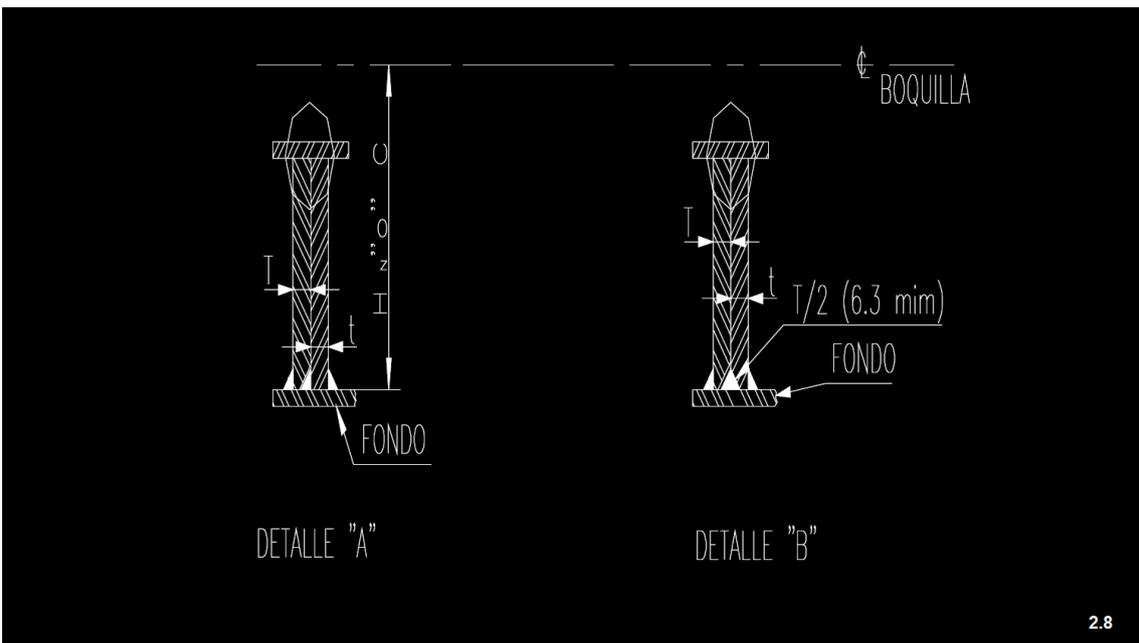
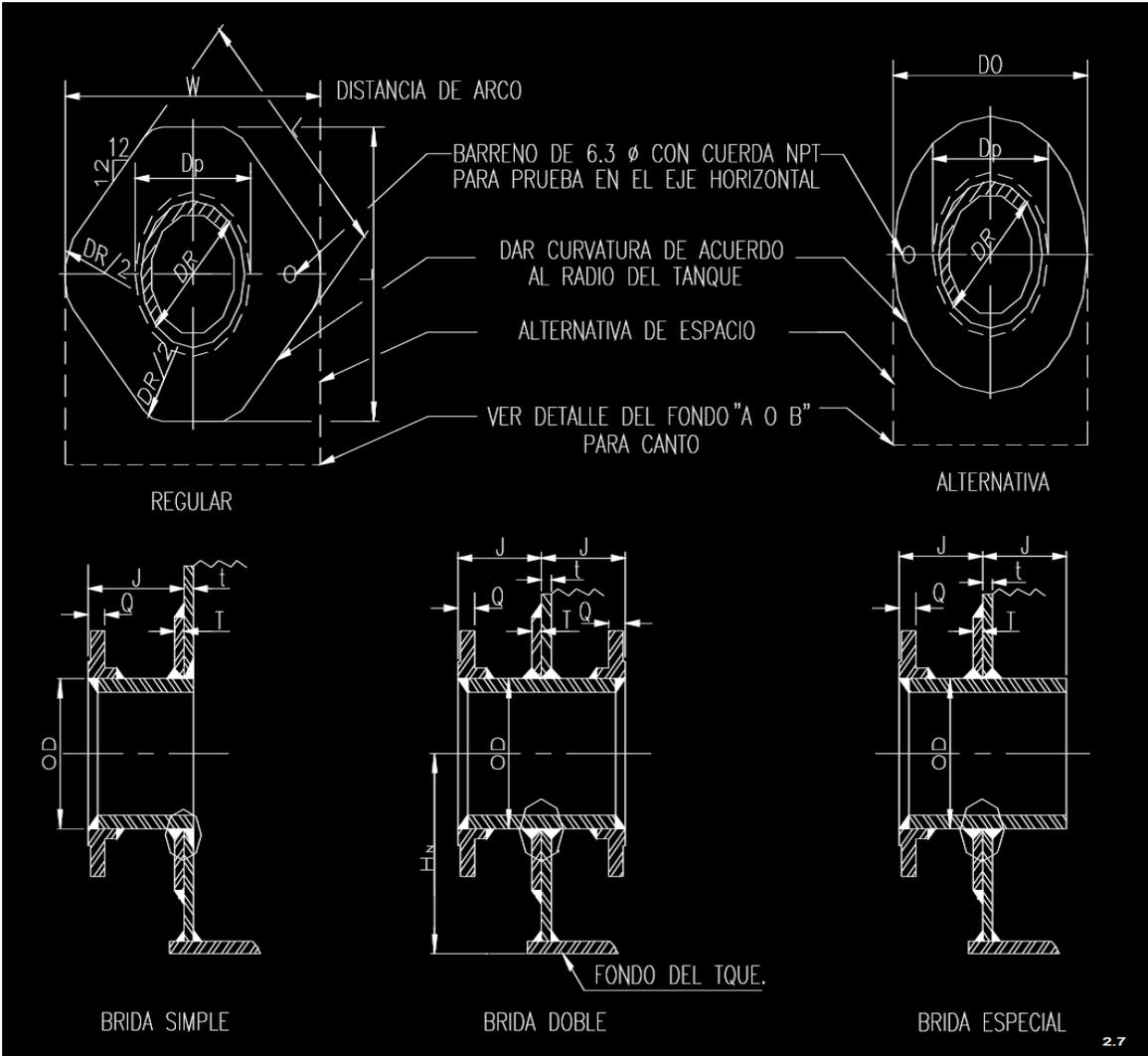
Todas las boquillas de 76mm (3 pulg.) de diámetro y mayores deberán contar con una placa de refuerzo de acuerdo a lo especificado en la Tabla 1.3.1, con el fin de compensar la pérdida de resistencia local causada por el agujero de la propia boquilla a fin de resistir los esfuerzos locales debidos a la presión del fluido producidos por la carga que presenta la línea de la boquilla en cuestión.

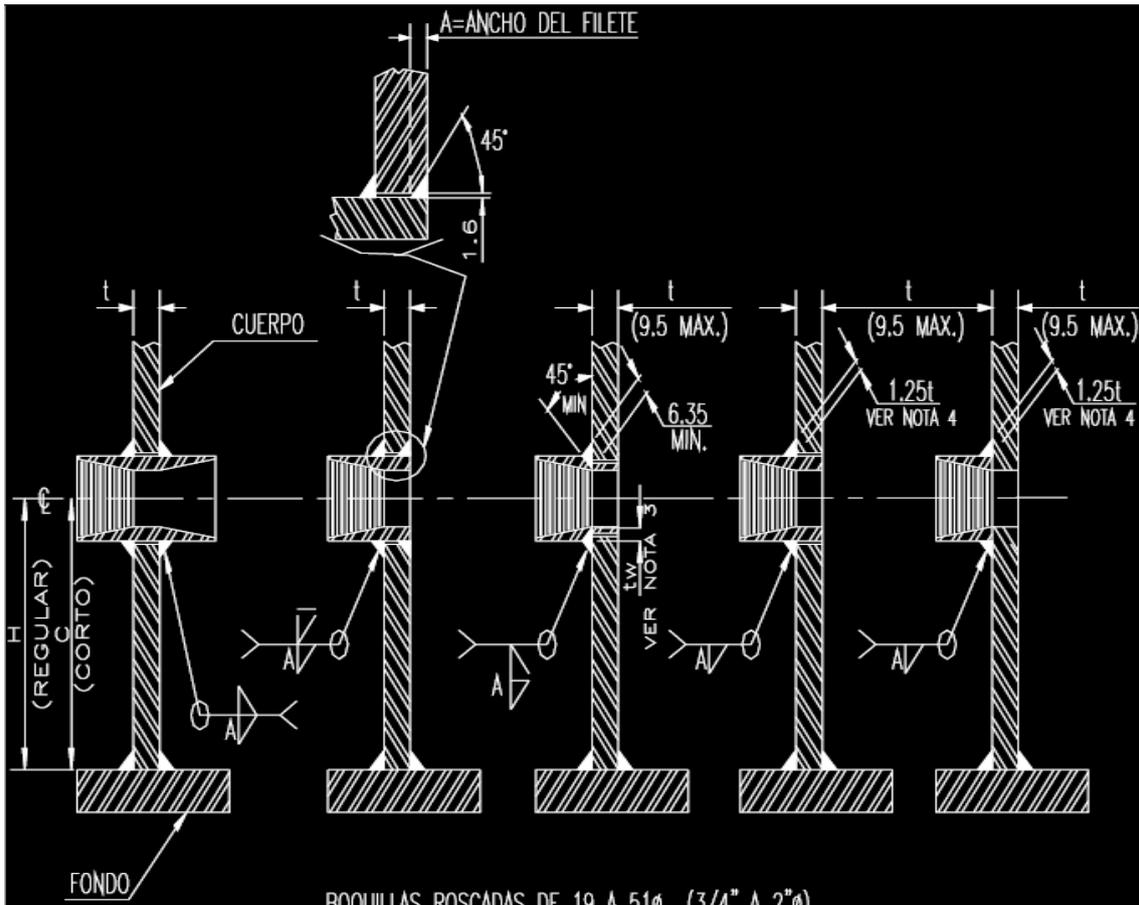
Todos los refuerzos contarán con un agujero de venteo con rosca de 1/4" NPT para conexiones de hasta 356 mm de diámetro (14") y de dos agujeros para boquillas de mayor tamaño. Estos agujeros cumplen dos funciones:

- Evitar la acumulación de gases entre el refuerzo y el cuerpo durante la soldadura actuando como venteo.
- Realización de prueba neumática del refuerzo para comprobar su correcta instalación mediante la conexión del equipo de presión a la rosca para localizar posibles fugas en la soldadura debido a defectos en la misma.

Las dimensiones y detalles especificados en las figuras y tablas son para boquillas instaladas con sus ejes perpendiculares a las placas del tanque. Cuando las boquillas son instaladas con un ángulo diferente de 90° respecto a las placas del tanque en el plano horizontal, estarán provistas de una placa de refuerzo que tenga un ancho de acuerdo a lo especificado en las tablas 1.3.1 (W o Do), que se incrementa de acuerdo al corte de las placas del tanque (dimensión Dp) por pasar de circular a elíptica cuando se realiza una instalación angular.

En el caso de que sean boquillas de 76 mm. (3 pulg.) de diámetro, (o menores), que tengan un servicio exclusivo de instrumentación o que no presenten carga debida a la línea, podrán colocarse en un ángulo no mayor de 15° con respecto al plano vertical y no llevarán una placa de refuerzo.





BOQUILLAS ROSCADAS DE 19 A 51φ (3/4" A 2"φ)

- NOTAS:
- 1.- t_w DEBERA SER MENOR QUE EL - ESPESOR DEL TUBO CEDULA 160.
 - 2.- t_{min} . DEBERA SER DE 19mm O DEL ESPESOR DE ALGUNA DE LAS PARTES SOLDADAS, LA QUE RESULTE MENOR.
 - 3.- VER NORMAS PARA COPLES REGLAMENTADOS UTILIZADOS EN LAS BOQUILLAS DEL CUERPO.
 - 4.- BOQUILLAS DE 3 PULGADAS O MAYORES - LLEVAN PLACA DE REFUERZO.

2.9

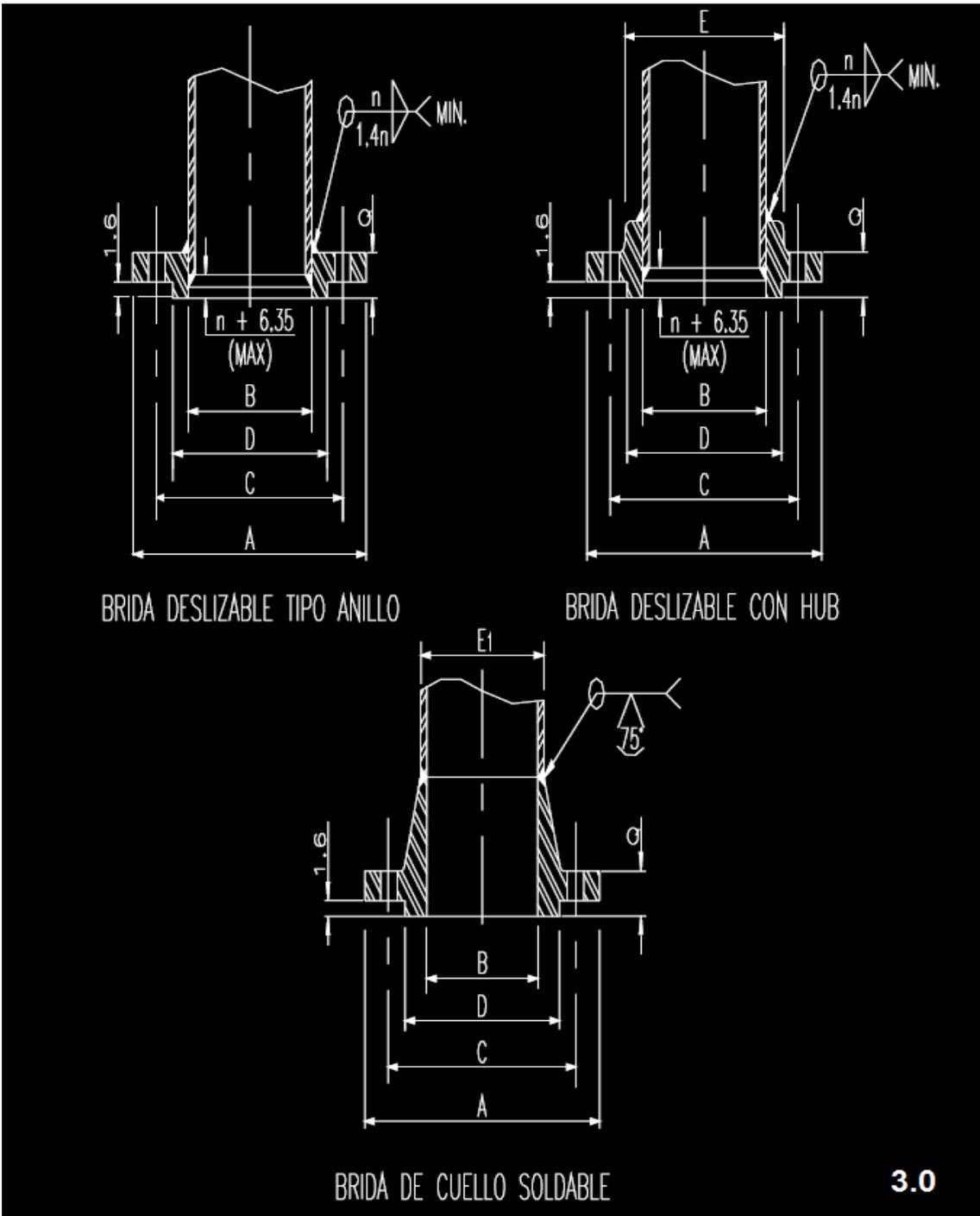


Tabla 1.3.1 DIMENSIONES PARA CUELLOS DE BOQUILLAS

Tamaño de Boquilla	Diámetro Exterior del tubo	Espesor Nominal de la Boquilla Pared del Tubo n	Diámetro Interior de la Placa de Refuerzo DR	Longitud, Lado o Diámetro de la Placa de Refuerzo L=Do	Ancho de la Placa de Refuerzo W	Proyección Exterior Mínimo J	Elevación Mínima al Centro de Boquilla	
							Tipo Regular HN	Tipo Baja C
1219	1219	e	1222	2457	2972	406	1321	1229
1168	1168	e	1171	2356	2845	406	1270	1178
1117	1117	e	1121	2254	2724	381	1219	1127
1067	1067	e	1070	2153	2604	381	1168	1076
1016	1016	e	1019	2051	2483	381	1118	1025
965	965	e	968	1949	2356	356	1067	974
914	914	e	917	1848	2235	356	1016	924
864	864	e	867	1746	2114	330	965	873
813	813	e	816	1645	1994	330	914	822
762	762	e	765	1543	1867	305	864	771
711	711	e	714	1441	1746	305	813	720
660	660	e	663	1340	1625	305	762	670
610	610	12.7	613	1257	1524	305	711	629
559	559	12.7	562	1156	1403	279	660	578
508	508	12.7	511	1054	1283	279	610	527
457	457	12.7	460	952	1162	254	559	476
406	406	12.7	409	851	1035	254	508	425
356	356	12.7	359	749	914	254	457	375
305	324	12.7	327	685	838	229	432	343
254	273	12.7	276	584	717	229	381	292
203	219	12.7	222	483	590	203	330	241
152	168	11	171	400	495	203	279	200
102	114	8.5	117	305	387	178	229	152
76	89	7.6	92	267	343	178	203	133
51	60	5.5	63	(---)	(---)	152	178	89
38	48	5.1	51	(---)	(---)	152	152	76
76	102	copie	105	286	362	(---)	229	143
51	73	copie	76	(---)	(---)	(---)	178	76
38	56	copie	59	(---)	(---)	(---)	152	76
25	40	copie	43	(---)	(---)	(---)	127	76
19	33	copie	36	(---)	(---)	(---)	102	76

Notas:

- El ancho de la placa del cuerpo deberá ser lo suficientemente grande para contener la placa de refuerzo.
- Las boquillas deberán estar localizadas a la mínima distancia, pero debe cumplir con los límites requeridos, a menos que otra cosa se especifique por el usuario.
- Las dimensiones HN dadas en esta tabla, son sólo para diseños correspondientes a tanques ensamblados en taller.
- Las boquillas roscadas mayores de 76mm (3 pulg.) de diámetro requieren placa de refuerzo.
- Las boquillas bridadas o roscadas de 51mm (2 pulg.) de diámetro menor no requieren placa de refuerzo (De); será el diámetro de la boquilla en el cuerpo y la soldadura (A), será como se especifica en la tabla 1.3.2 columna 6. Las placas de refuerzo pueden ser usadas, aún cuando no sean necesarias.

Tabla 1.3.2 DIMENSIONES PARA CUELLOS DE BOQUILLAS, TUBOS, PLACAS Y SOLDADURAS

Espesores del cuerpo y placa refuerzo t y T	Espesor Mínimo de Pared de Tubos de Boquillas Bridadas n	Diámetro Máximo Dp igual al Diámetro Exterior de Tubos mas	Ancho del Filete de Soldadura b	Ancho del Filete de Soldadura (A)	
				Boquillas Mayores de 2 pulg. L - Do	Boquillas de 2 pulg. o Menores W
4.76	12.7	15.87	4.76	6.35	6.35
6.35	12.7	15.87	6.35	6.35	6.35
7.93	12.7	15.87	7.93	6.35	6.35
9.52	12.7	15.87	9.52	6.35	6.35
11.11	12.7	15.87	11.11	6.35	6.35
12.7	12.7	15.87	12.7	6.35	7.93
14.28	12.7	19.05	14.28	6.35	7.93
15.87	12.7	19.05	15.87	7.93	7.93
17.46	12.7	19.05	17.46	7.93	7.93
19.05	12.7	19.05	19.05	7.93	7.93
20.63	12.7	19.05	20.63	9.52	7.93
22.22	12.7	19.05	22.22	9.52	7.93
23.81	12.7	19.05	23.81	9.52	7.93
25.4	12.7	19.05	25.4	11.11	7.93
26.98	14.28	19.05	26.98	11.11	7.93
28.57	14.28	19.05	28.57	11.11	7.93
30.16	15.87	19.05	30.16	12.7	7.93
31.75	15.87	19.05	31.75	12.7	7.93
33.33	17.46	19.05	33.33	12.7	7.93
34.92	17.46	19.05	34.92	14.28	7.93
36.51	19.05	19.05	36.51	14.28	7.93
38.1	19.05	19.05	38.1	14.28	7.93
39.68	20.63	19.05	38.1	14.28	7.93
41.27	20.63	19.05	38.1	15.87	7.93
1.68	22.22	19.05	38.5	15.87	7.93
44.45	22.22	19.05	38.1	15.87	7.93

Notas:

- a) Si el espesor de la placa de refuerzo en el cuerpo es mayor que el requerido, servirá de aporte para soportar la carga hidrostática del fluido, el exceso de espesor en la placa, incluyendo la distancia vertical, ambas arriba y abajo de la línea de centros de la boquilla en el cuerpo del tanque, igual a la dimensión vertical de la boquilla en el cuerpo del tanque deberán ser consideradas como aporte de refuerzo y el espesor T de la placa de refuerzo de la boquilla podrá ser reducido según corresponda. En ese caso, la soldadura de refuerzo y de aseguramiento deberán estar conforme a los límites de diseño de los refuerzos en la abertura del cuerpo especificado.

- b) Esta columna se aplica a boquillas bridadas con diámetro de 1,219 a 660mm. (48 a 26 pulg).

Tabla 1.3.3 DIMENSIONES PARA BRIDAS DE BOQUILLAS

Tamaño de Boquilla	Espesor Mínimo de Brida Q	Diámetro Exterior de la Brida A	Diámetro de la Cara Realizada D	Diámetro de Círculo de Barrenos C	Número de Agujeros	Diámetro del Agujero	Diámetro de los Tornillos	Diámetro del Agujero		Diámetro Mínimo del Hub Punto de Soldadura	
								SORF Diámetro exterior del Tubo mas B	Tipo Cuello Soldable B1	Tipo Deslizable (SORF) E	Tipo Cuello Soldable E1
1219	69.85	1511	1359	1422	44	41.27	38.1	6.35	a	b	c
1168	68.26	1460	1295	1365	40	41.27	38.1	6.35	a	b	c
1117	66.67	1403	1245	1314	40	41.27	38.1	6.35	a	b	c
1067	66.67	1346	1194	1257	36	41.27	38.1	6.35	a	b	c
1016	63.5	1289	279	1200	36	41.27	38.1	6.35	a	b	c
965	60.32	1238	1073	1149	32	41.27	38.1	6.35	a	b	c
914	60.32	1168	1022	1085	32	41.27	38.1	6.35	a	b	c
864	58.73	1111	959	1029	32	41.27	38.1	6.35	a	b	c
813	57.15	1060	908	978	28	41.27	38.1	6.35	a	b	c
762	54.05	984	857	914	28	34.92	31.75	6.35	a	b	c
711	52.38	927	794	864	28	34.92	31.75	6.35	a	b	c
660	50.8	870	743	806	24	34.92	31.75	6.35	a	b	c
610	47.62	813	692	749	20	34.92	31.75	4.82	a	b	c
559	46.03	749	641	692	20	34.82	31.75	4.82	a	b	c
508	42.86	698	584	635	20	31.75	28.57	4.82	a	b	c
457	39.68	635	533	577	16	31.75	28.57	4.82	a	b	c
406	47.62	597	470	540	16	28.57	25.4	4.82	a	b	c
356	34.92	533	413	476	12	28.57	25.4	4.82	a	b	c
305	31.75	483	381	432	12	25.4	22.22	3.3	a	b	c
254	30.16	406	324	362	12	25.4	22.22	3.3	a	b	c
203	28.57	343	270	298	8	22.22	19.05	2.54	a	b	c
152	25.4	279	216	241	8	22.22	19.05	2.54	a	b	c
102	23.81	229	157	190	8	19.05	15.87	1.52	a	b	c
76	23.81	190	127	152	4	19.05	15.87	1.52	a	b	c
51	19.05	152	92	121	4	19.05	15.87	1.78	a	b	c
38	17.46	127	73	98	4	15.87	12.7	1.78	a	b	c

Notas:

Las dimensiones y características de las bridas slip-on y welding-neck con diámetro de 38 a 508 mm (1 ½ a 20 pulg.) y la de 610mm (24 pulg.) son idénticas a lo especificado en ANSI B16.5 para clase 150 en bridas de acero. Las dimensiones y características para bridas con diámetros de 762, 914, 1067, y 1219 mm (30, 36, 42, y 48 pulg.) están unificadas con ANSI B16.1 para clase 125 de bridas de acero forjado; las dimensiones de las bridas mayores pueden estar conforme a ANSI/API 605.

- a) B1 = Diámetro interior del tubo.
- b) E = Diámetro exterior del tubo + 2n.
E1 = Diámetro exterior del tubo.

2.5.2 Boquillas en el techo

Las boquillas del techo pueden estar conforme a las Figuras 3.1 y 3.2. y Tablas 1.4. o a bridas SLIP-ON Y WELDING NECH, las cuales están de acuerdo con los requerimientos de la clase 10.5 Kg/cm² (150 #) para bridas forjadas de acero al carbono de cara realizada en ANSI B16.5.

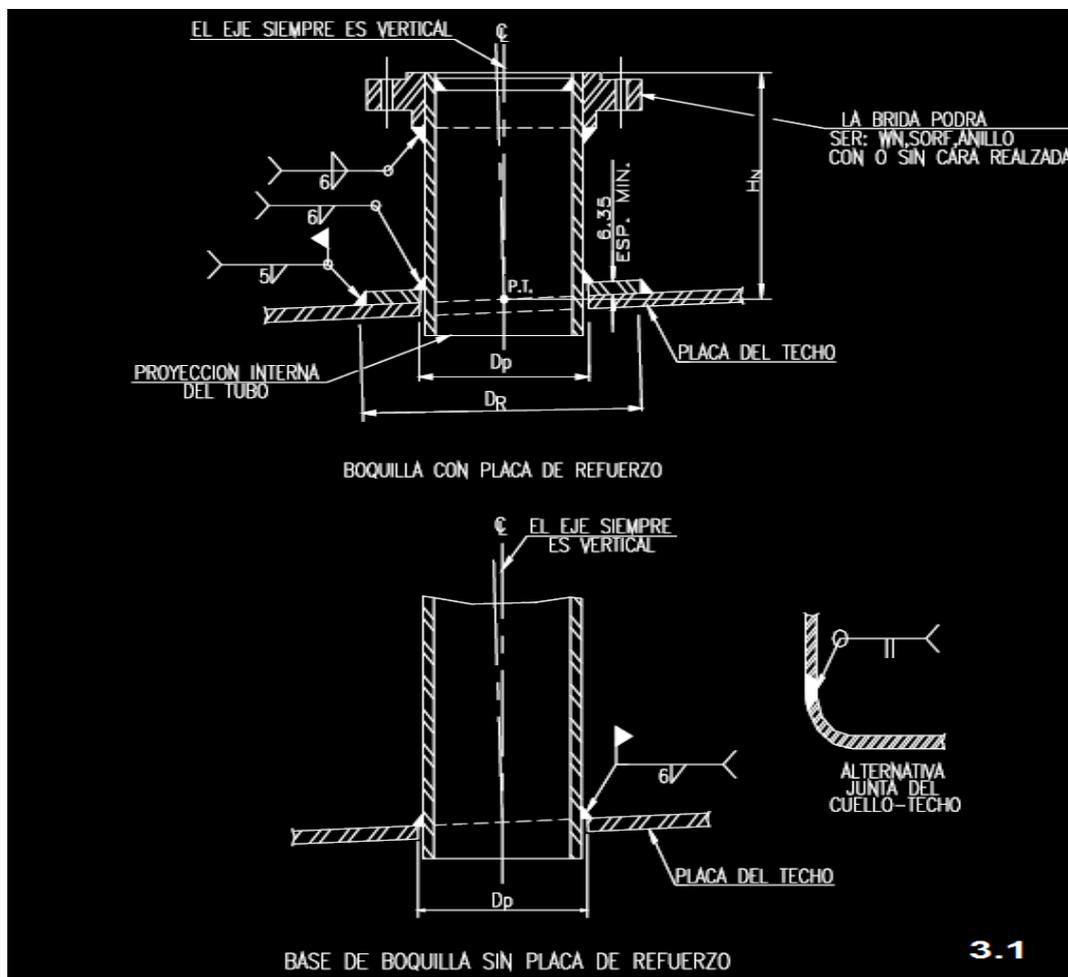
Las bridas tipo anillo serán conforme a todas las dimensiones de las bridas SLIP-ON, excepto en la extensión del HUB, que puede ser omitido. Las boquillas bridadas o

roscadas con diámetro de 152mm (6 pulg.) y menores no requieren placa de refuerzo, a menos que así lo solicite el usuario.

Se recomienda que las boquillas no sean mayores de 305mm (12 pulg.) de diámetro, excepto las entradas hombre.

Se debe prestar especial atención al relleno y compactación del suelo en los sumideros y conexiones en el fondo para prevenir asentamientos irregulares del tanque, así como para las conexiones y soportes, que tendrán que ser calculadas para confirmar la resistencia del arreglo contra las cargas estáticas y dinámicas, así como de flexión y esfuerzos permisibles.

Las conexiones y arreglos mostrados pueden variar en función de las peticiones del cliente y/o los requerimientos de servicio.



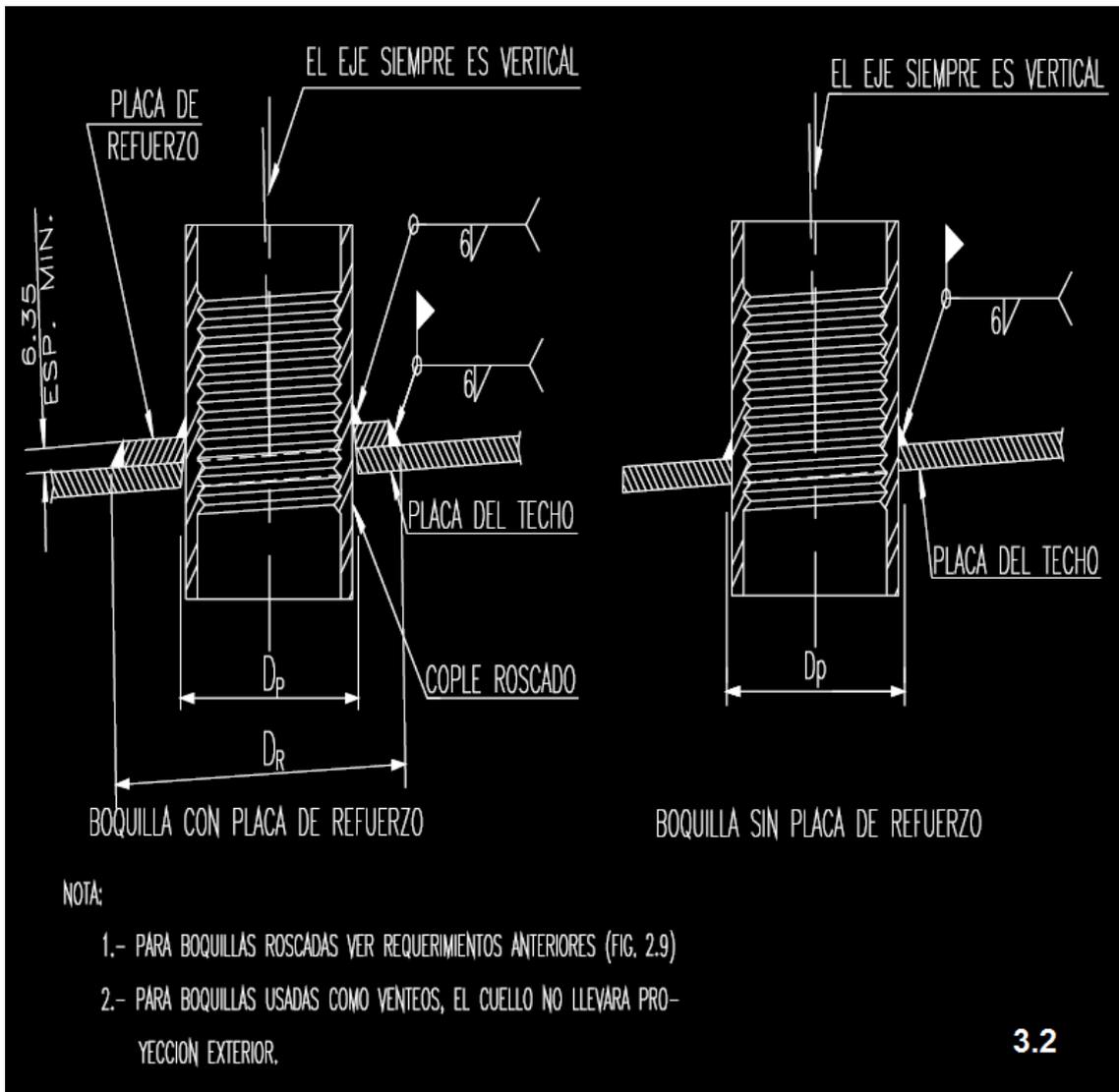


Tabla 1.4.1 DIMENSIONES PARA BOQUILLAS BRIDADAS EN EL TECHO (mm)

Dimensión Nominal de la Boquilla	Diámetro Exterior del Tubo	Diámetro de Agujero del Techo y Placa de Refuerzo D_p	Proyección Mínima de la Boquilla H_n	Diámetro Exterior de la Placa D_r
305	324	330	152	610
254	273	279	152	559
203	219	225	152	457
157	168	171	152	381
102	114	117	152	279
76	89	92	152	229
51	60	64	152	178
38	48	51	152	127

Tabla 1.4.2 DIMENSIONES PARA BOQUILLAS ROSCADAS Y COPLES EN EL TECHO (mm)

Dimension Nominal de la Boquilla	Diámetro Nominal del Cople	Diámetro del Agujero del Techo y Placa de Refuerzo Dp	Diámetro Exterior de la Placa de Refuerzo Dr
305	305	362	610
254	254	152	559
203	203	251	457
152	152	191	381
102	102	136	279
76	76	104	229
2	51	76	178
38	38	59	127
25	25	44	114
19	19	36	102

Nota:

- a) Las placas de refuerzo no se requieren para boquillas iguales o menores de 152mm (6 pulg.) de diámetro, a menos de que así se especifique.

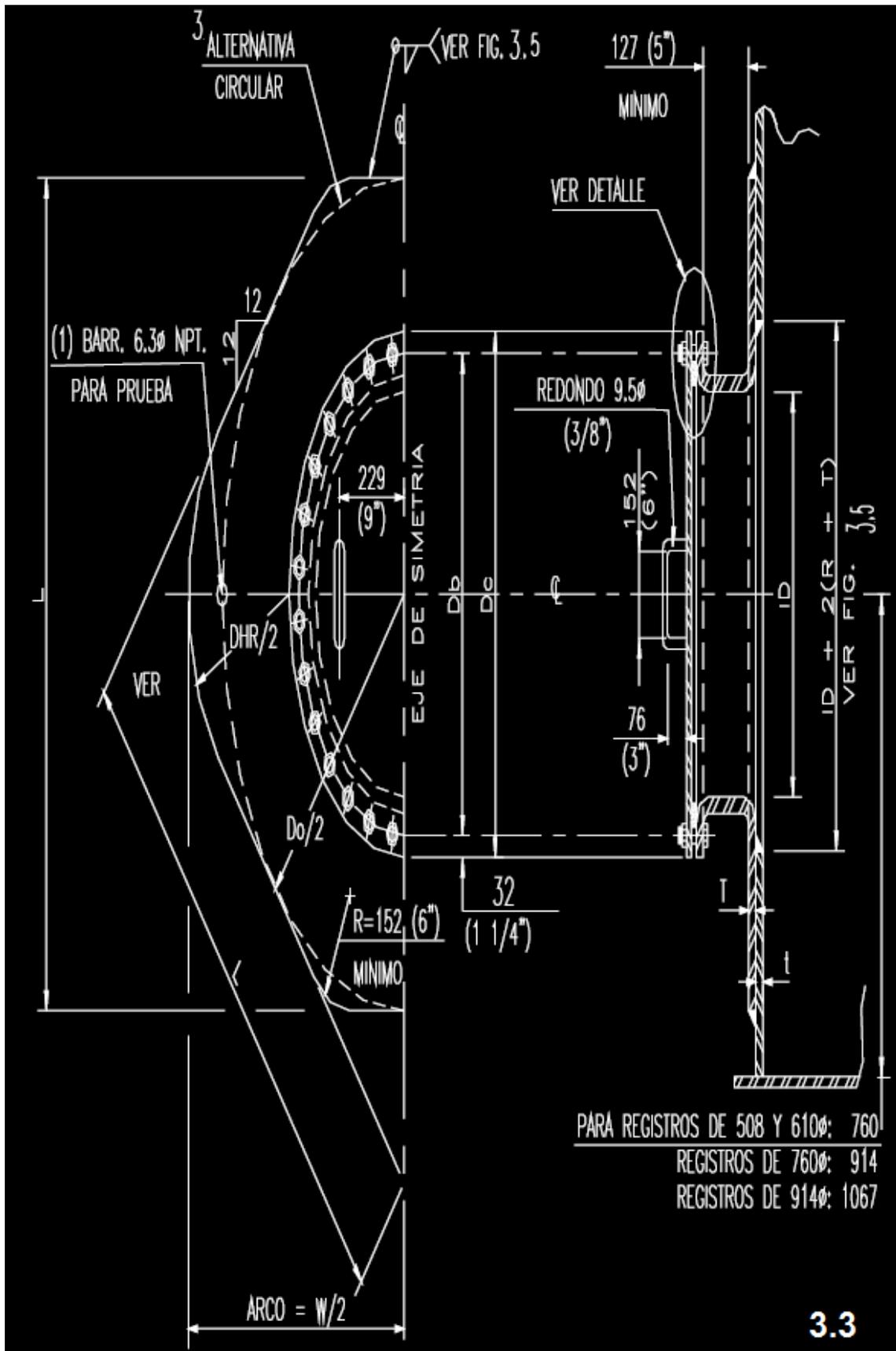
2.6 Entrada de hombre y accesorios

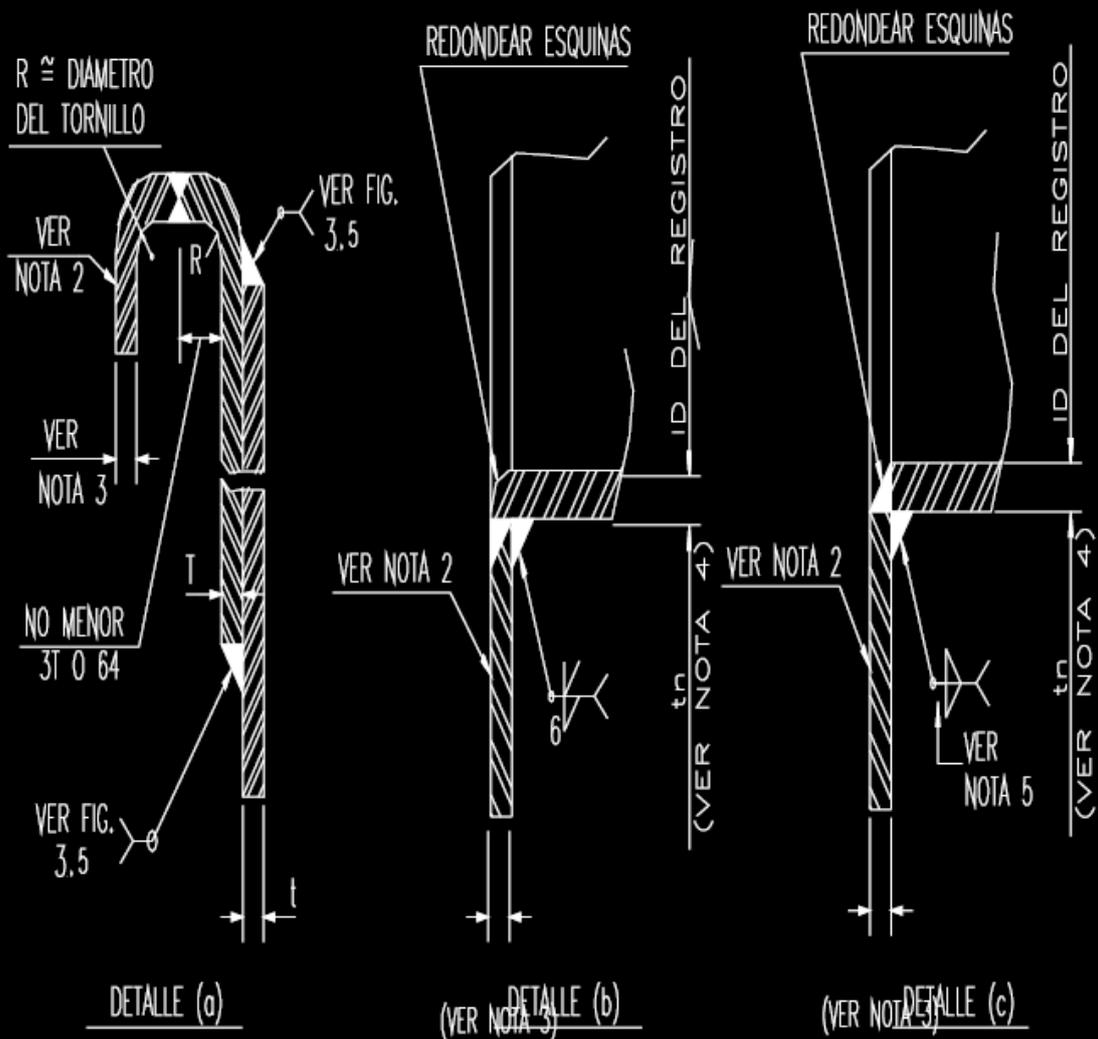
El tanque deberá llevar instalados una serie de complementos necesarios para un correcto funcionamiento. Estos accesorios nos facilitaran tareas como la inspección del tanque, las pruebas de estanqueidad, la limpieza del mismo, la eliminación de gases, etc. Cada uno de ellos desempeña una función esencial para la puesta en marcha del tanque y para un correcto funcionamiento cuando este se encuentre en operación. Seguidamente vamos a detallarlos, así como las dimensiones que se tienen que aplicar según API 650.

2.6.1 Entrada de hombre y accesorios

El tanque de almacenamiento de diésel tendrá al menos una entrada hombre en el cuerpo y en el techo con la finalidad de poder realizar limpieza, revisiones o reparaciones en el interior del tanque. Los registros que se coloquen en la pared del tanque deberán estar acorde con las figuras 3.3, 3.4 y 3.5 y tablas 1.5.1., 1.5.2., 1.5.3., 1.5.4. y 1.5.5. (o, en su defecto, con las Tablas 1.3.).

Las entradas hombre contarán con una placa de refuerzo según lo muestra la figura 3.3. En caso de que la entrada hombre se encuentre localizada en el techo, se habilitará de acuerdo a la Figura 3.6 y Tabla 1.6.





NOTAS:

- 1.- BAJO OTRO CASO ESPECIFICADO EL MATERIAL DEL EMPAQUE PUEDE SER DE FIBRA.
- 2.- EL ASIENTO DEL EMPAQUE PODRA SER MAQUINADO CON UN ANCHO DE 19 mm.
- 3.- VER TABLAS No. 1.5.1 PARA TIPOS DE BRIDAS Y METODOS DE SUJECION PARA CUELLOS DE REGISTROS INTERCAMBIABLES.
- 4.- VER TABLAS DE 1.5.2 A 1.5.5
- 5.- EL TAMAÑO DE LA SOLDADURA SERA IGUAL AL ESPESOR MINIMO DE LAS PARTES A UNIR.
- 6.- LAS BOQUILLAS MOSTRADAS EN LA FIG. 3.5 PUEDEN SER SUSTITUIDAS POR REGISTROS DE 508 EN DIAMETRO Y LARGO.
- 7.- LAS SOLDADURAS INDICADAS PUEDEN SER EN TALLER O EN CAMPO.

3.4

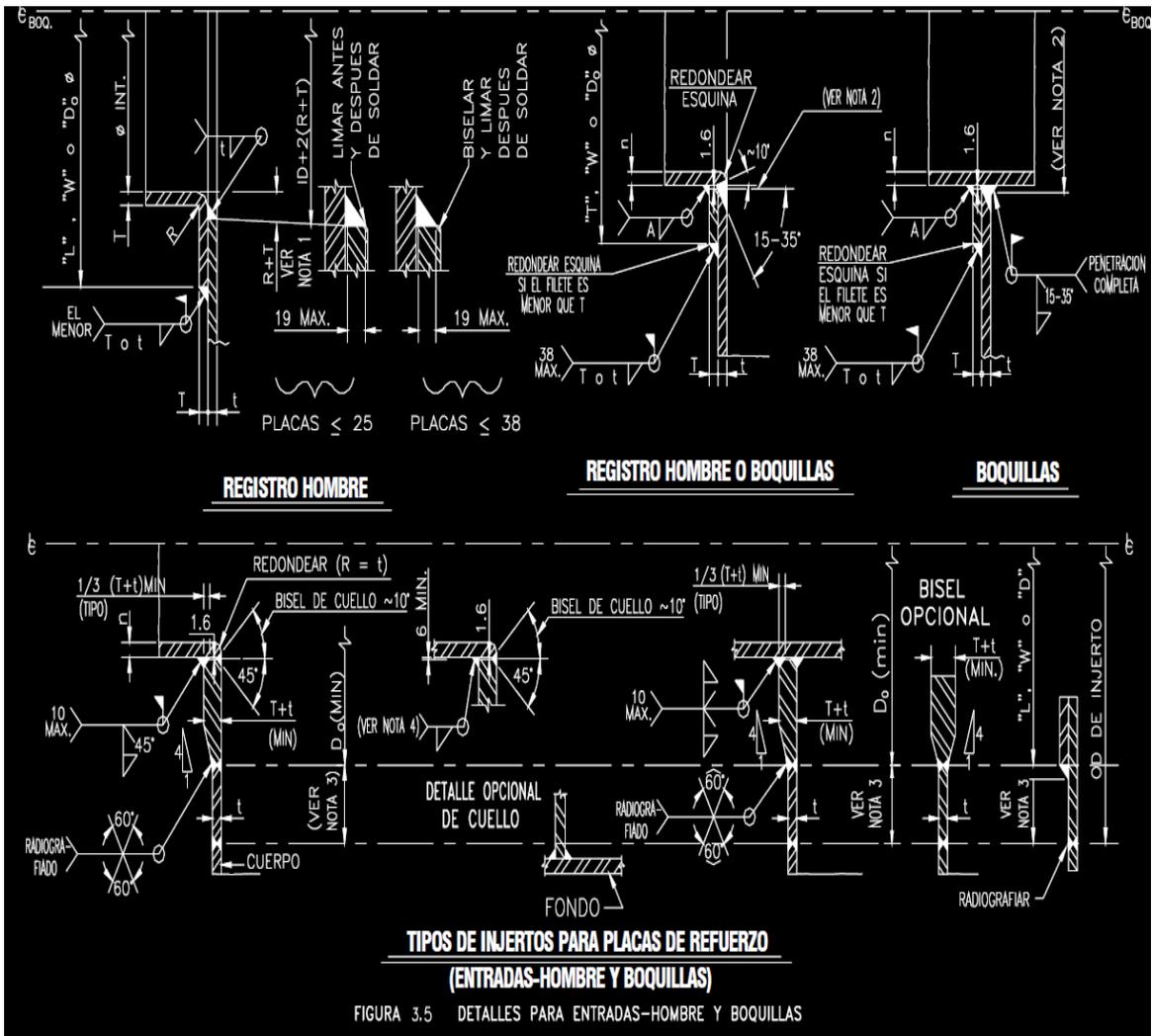


Tabla 1.5.1 ESPESOR DEL CUELLO, TAPA PLANA Y BRIDA DE LA ENTRADA DE HOMBRE (mm)

Altura Máxima del Tanque	Presión Hidrostática (Kg/cm ²)	Espesor Mínimo de la Tapa Plana				Espesor mínimo del cuello y brida del registro			
		Registro de 508	Registro de 610	Registro de 762	Registro de 914	Registro de 508	Registro de 610	Registro de 762	Registro de 914
6400	0.64	7.93	9.52	11.11	12.7	6.35	6.35	7.93	9.52
8230	0.82	9.52	11.11	12.7	14.28	6.35	7.93	9.52	11.11
9754	0.97	9.52	11.11	14.28	15.87	6.35	7.93	11.11	12.7
12192	1.21	11.11	12.7	15.87	17.46	7.93	9.52	12.7	14.28
13716	1.37	12.7	14.28	15.87	19.05	9.52	11.11	12.7	15.87
16459	1.64	12.7	14.28	17.46	20.63	9.52	11.11	14.28	17.46
19812	1.98	14.28	15.87	19.05	22.22	11.11	12.7	15.87	19.05
22860	2.28	15.87	17.46	20.63	23.81	12.7	14.28	17.46	20.63

Tabla 1.5.2 DIMENSIONES DE ENTRADA DE HOMBRE DE 508mm (mm)

Espesor Mínimo del Cuello del Registro y Placa de Refuerzo t y T	Radio Aproximado R	Placa de refuerzo		Diámetro Interior de Armado del Registro		Espesor Mínimo del Cuello Ensamblado
		Longitud Diámetro L =Do	Ancho W	Diámetro Constante del Anillo Hembra IDr	Diámetro Constante del Anillo Macho IDp	
4.76	4.76	1168	1397	575	508	4.76
6.35	6.35	1168	1397	571	508	6.35
7.93	7.93	1162	1391	568	508	6.35
9.52	9.52	1156	1378	565	508	6.35
11.11	11.11	1149	1365	562	508	6.35
12.7	12.7	1143	1359	559	508	6.35
14.28	14.28	1136	1346	556	508	6.35
15.87	15.87	1136	1346	552	508	6.35
17.46	17.46	1130	1333	549	508	6.35
19.05	19.05	1123	1327	546	508	6.35
20.63	20.63	1117	1314	542	508	6.35
22.22	22.22	1124	1314	539	508	9.52
23.81	22.22	1124	1321	536	508	11.11
25.4	25.4	1130	1327	533	508	11.11
26.98	25.4	1137	1333	530	508	11.11
28.57	25.4	1137	1333	527	508	12.7
30.16	25.47	1143	1340	524	508	14.28
31.75	25.4	1143	1340	521	508	15.87
33.33	25.4	1149	1346	517	508	15.87
34.92	25.4	1149	1346	514	508	17.46
36.51	25.4	1156	1352	511	508	17.46
38.11	25.4	1156	1352	508	508	19.05

Tabla 1.5.3 DIMENSIONES DE ENTRADA DE HOMBRE DE 610mm (mm)

Espesor Mínimo del Cuello del Registro y placa de refuerzo t y T	Radio Aproximado R	Placa de refuerzo		Diámetro Interior de Armado del Registro		Espesor Mínimo del Cuello Ensamblado
		Longitud Diámetro L=Do	Ancho W	Diámetro Constante del Anillo Hembra IDr	Diámetro Constante del Anillo Macho IDp	
4.76	4.76	1372	1651	676	610	4.76
6.35	6.35	1372	1644	667	610	6.35
7.93	7.93	1365	1638	670	610	6.35
9.52	9.52	1359	1625	667	610	6.35
11.11	11.11	1359	1625	663	610	6.35
12.7	12.7	1352	1613	660	610	6.35
14.28	14.28	1346	1600	657	610	6.35
15.87	15.87	1340	1594	654	610	6.35
17.46	17.46	1333	1581	654	610	6.35
19.05	19.05	1333	1581	648	610	6.35
20.63	19.05	1327	1314	644	610	6.35
22.22	22.22	1327	1568	641	610	7.93
23.81	22.22	1327	1568	638	610	11.11
25.4	25.4	1340	1581	635	610	11.11
26.98	25.4	1340	1581	632	610	11.11
28.57	25.4	1346	1587	629	610	12.7
30.16	25.4	1346	1587	625	610	14.28
31.75	25.4	1352	1593	616	610	14.28
33.33	25.4	1352	1593	619	610	15.87
34.92	25.4	1359	1600	616	610	15.87
36.51	25.4	1359	1600	613	610	17.46
38.1	25.4	1365	1606	610	610	19.05

Tabla 1.5.2 DIMENSIONES DE ENTRADA DE HOMBRE DE 762mm (mm)

Espesor Mínimo del Cuello del Registro y Placa de Refuerzo t y T	Radio Aproximado R	Placa de refuerzo		Diámetro interior de armado del registro		Espesor mínimo del cuello ensamblado
		Longitud diámetro L=Do	Ancho W	Diámetro constante del anillo hembra IDr	Diámetro constante del anillo macho IDp	
4.76	4.76	1676	2013	829	762	4.76
6.35	6.35	1676	2013	826	762	6.35
7.93	7.93	1670	2000	822	762	7.93
9.52	9.52	1670	2000	819	762	7.93
11.1	11.1	1657	1981	816	762	7.93
12.7	12.7	1657	1981	813	762	7.93
14.2	14.2	1651	1969	810	762	7.93
15.8	15.8	1632	1956	806	762	7.93
17.4	17.4	1638	1949	803	762	7.93
19	19	1638	1949	800	762	7.93
20.6	19	1632	1937	797	762	7.93
22.2	22.2	1632	1937	794	762	7.93
23.8	22.2	1632	1937	791	762	11.1
25.4	25.4	1645	1949	787	762	11.1
26.9	25.4	1645	1949	784	762	11.1
28.5	25.4	1651	1956	781	762	12.7
30.2	25.4	1651	1956	778	762	14.2
31.7	25.4	1657	1962	775	762	14.2
33.3	25.4	1657	1962	772	762	15.8
34.9	25.4	1664	1969	768	762	15.8
36.5	25.4	1664	1969	765	762	17.4
38.1	25.4	1670	1975	762	762	19

Tabla 1.5.2 DIMENSIONES DE ENTRADA DE HOMBRE DE 914mm (mm)

Espesor mínimo del cuello del registro y placa de refuerzo t y T	Radio aproximado R	Placa de refuerzo		Diámetro interior de armado del registro		Espesor mínimo del cuello ensamblado
		Longitud diámetro L=Do	Ancho W	Diámetro constante del anillo hembra IDr	Diámetro constante de ancho del anillo macho IDP	
4.76	4.76	1981	2381	981	914	4.76
6.35	6.35	1981	2381	978	914	6.35
7.93	7.93	1975	2369	975	914	7.93
9.52	9.52	1975	2369	972	914	9.52
11.1	11.1	1962	2350	968	914	9.52
12.7	12.7	1962	2350	965	914	9.52
14.2	14.2	1956	2337	962	914	9.52
15.8	15.8	1937	2324	959	914	9.52
17.4	17.4	1943	2318	956	914	9.52
19	19	1943	2311	953	914	9.52
20.6	19	1937	2305	949	914	9.52
22.2	22.2	1937	2305	946	914	9.52
23.8	25.4	1937	2305	943	914	11.1
25.4	25.4	1949	2318	940	914	11.1
26.9	25.4	1949	2318	937	914	11.1
28.5	25.4	1956	2324	921	914	12.7
30.1	25.4	1956	2324	930	914	14.2
31.7	25.4	1926	2330	927	914	14.2
33.3	25.4	1962	2330	924	914	15.8
34.9	25.4	1969	2337	921	914	15.8
36.5	25.4	1969	2337	918	914	17.4
38.1	25.4	1975	2318	914	914	19

Tabla 1.6 DIMENSIONES DE ENTRADA DE HOMBRE sobre el techo (mm)

Diámetro Nominal	Diámetro Interior del Cuello ID	Diámetro Exterior de la Tapa Plana	Diámetro Círculo de Barrenos Db	Número de Tornillos	Diámetro del Empaque		Diámetro del Agujero en el Techo y Placa de Refuerzo Dp	Diámetro Exterior de la Placa de Refuerzo Dr
					Interior	Exterior		
610	610	762	698	20	610	762	625	1168
508	508	660	597	16	508	660	524	1067

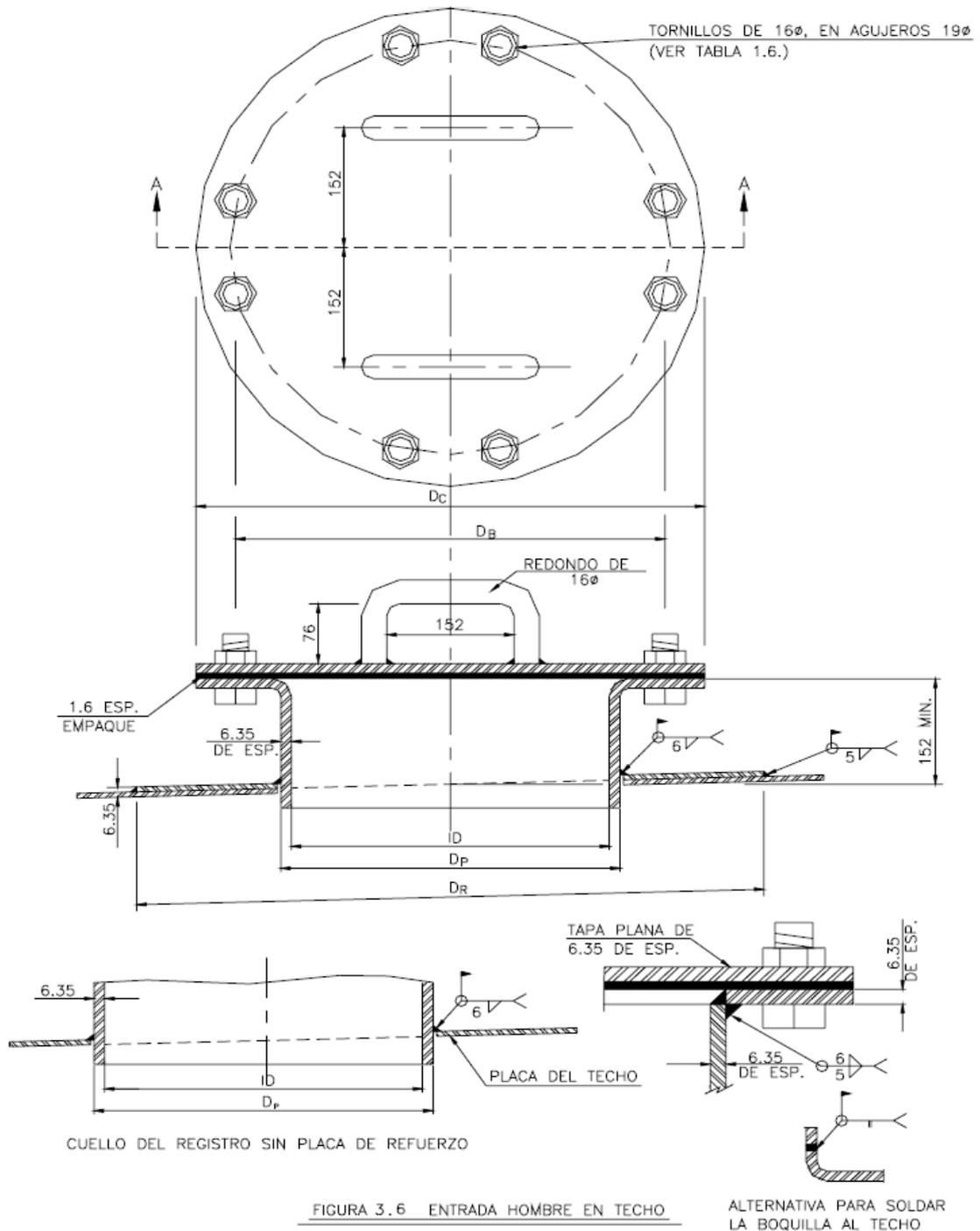


FIGURA 3.6 ENTRADA HOMBRE EN TECHO

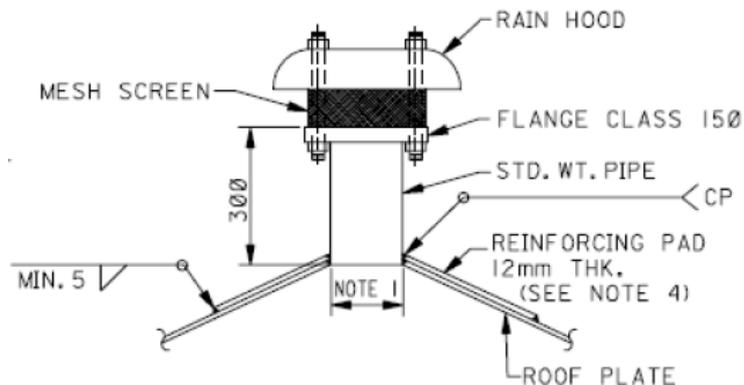
ALTERNATIVA PARA SOLDAR LA BOQUILLA AL TECHO

2.6.2 Venteos

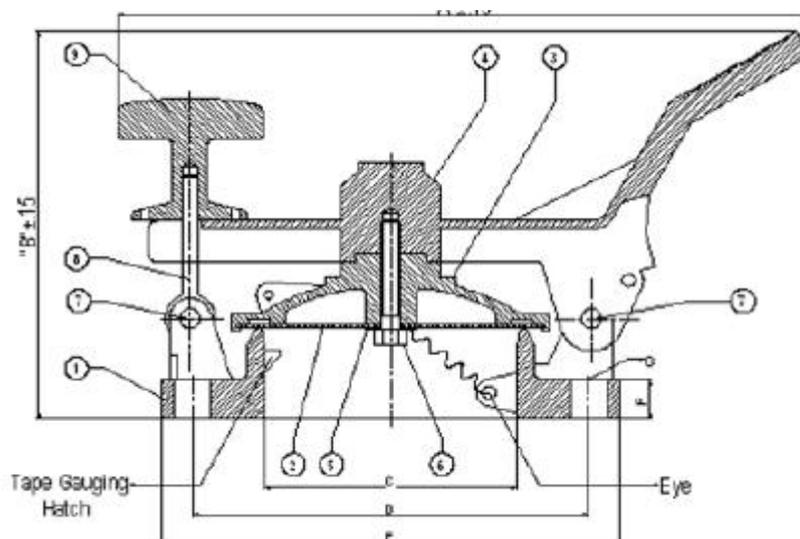
Los tanques atmosféricos deben llevar al menos una boquilla de venteo. El objetivo de esta conexión es evitar que el tanque rompa por sobrepresión o colapse por vacío. Esta conexión se debe calcular en función de los caudales de entrada y salida de producto y adicionalmente se debe prever que las conexiones de venteo sean capaces de evacuar los gases generados por la ebullición del fluido en casos de emergencia (fuego). En esta base, se distinguen entre venteos de operación y venteos de emergencia, estos últimos suelen estar cerrados y tarados para que abran cuando incluso con sus venteos de operación a máxima capacidad el tanque se aproxima a una situación de sobrepresión. Si los venteos de operación tienen capacidad suficiente para el caso de emergencia, los venteos de emergencia no serán necesarios.

Tipos de venteo de operación:

- Cuello de cisne: Consiste en un codo de 180° que finaliza en una malla de alambre para evitar la entrada de aves (malla antipajaro).



- Venteo de emergencia tipo Gauge Hatch: Consiste en una conexión cerrada con una tapa al que se le añade una carga variable en función de la presión a la cual el venteo debe abrir.





- Venteo con válvula: Consiste en una conexión a la que se le añade una válvula cerrada que abre automáticamente cuando se alcanza la sobrepresión para la cual ha sido tarada. Este caso se utiliza especialmente cuando el tanque se requiere que este ligeramente presurizado o bien, operativamente deba ser estanco (los venteos de operación se realizan a través de una línea de tuberías que mantienen el sistema cerrado).



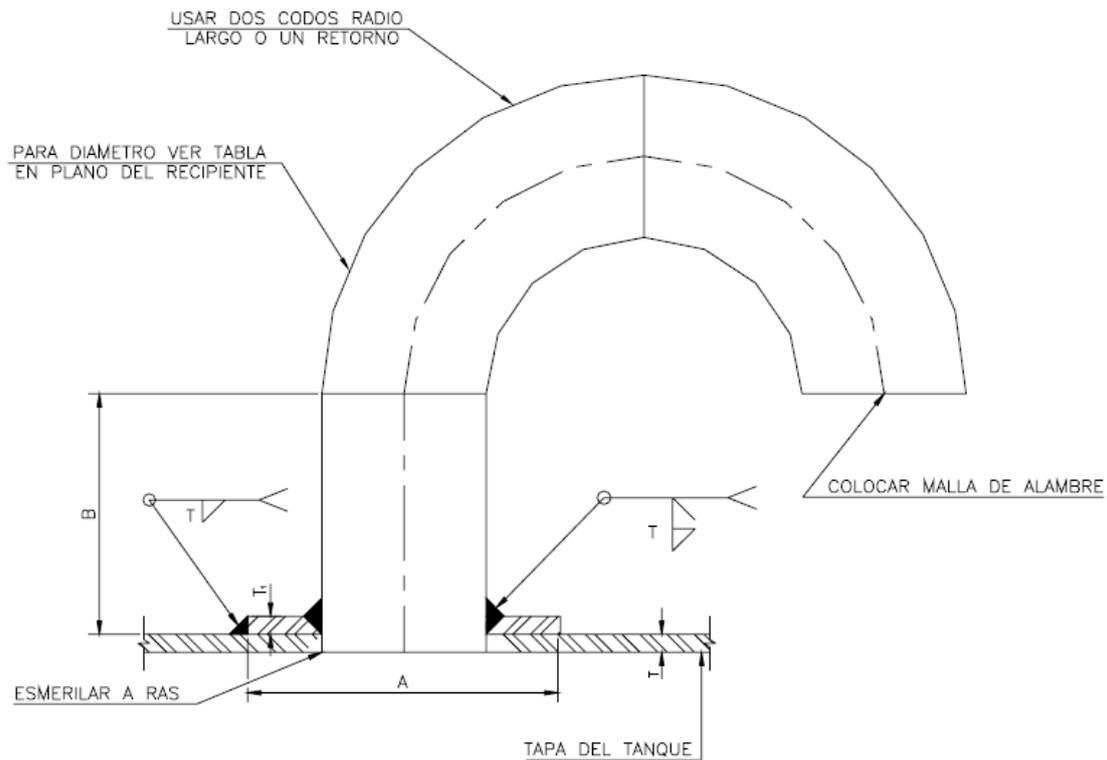


TABLA 1.7. (MM)

DIAM. NOM.	A	B
25	—	102
51	—	102
76	152	152
102	197	152
152	305	203
203	356	203

FIGURA 3.7 V E N T E O

2.6.3. Drenajes y sumideros

El tanque debe de contar con al menos una conexión de drenaje para el completo vaciado del tanque. Esta se instalará, en función de las necesidades del cliente, en la parte más baja de la envolvente y la succión deberá ir localizada por debajo de la conexión de salida de producto puesto que el tanque se vaciará por la conexión de producto (limpio) que se almacenara en otro sitio durante la parada y el restante, que puede contener lodos, agua u otras impurezas, se vaciará por los drenajes y sumideros directamente al alcantarillado o bien a plantas de tratamiento en función del producto almacenado.

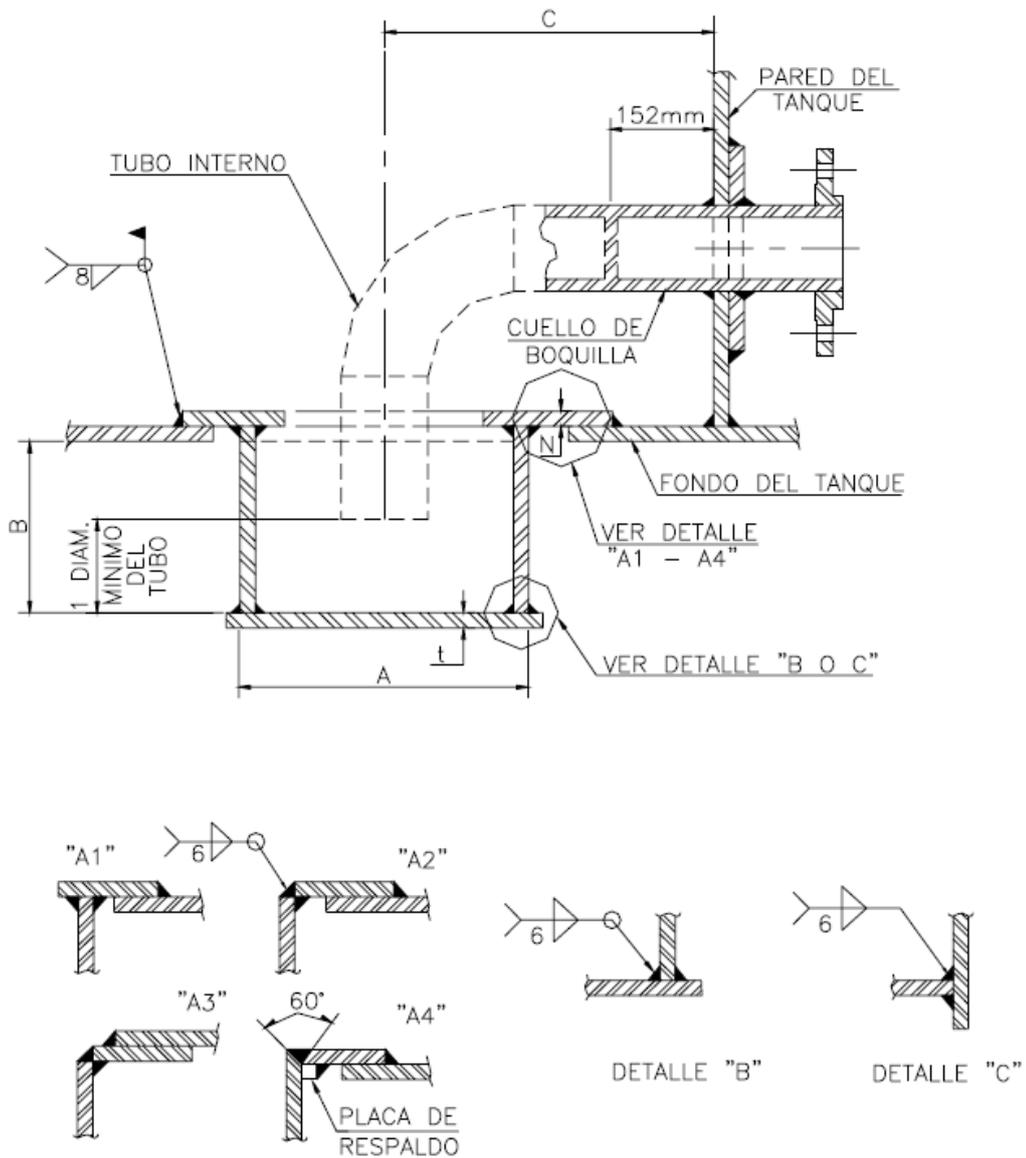
Los drenajes pueden ser libres o forzados en función de si operan por la propia presión atmosférica del tanque (libres) o requieren del uso de bombas (forzados). Los drenajes según la figura 3.9 y 4.0 pueden operar en ambas condiciones, sin embargo, el mostrado en la figura 3.8 debe utilizar una bomba para el vaciado completo según su propia geometría.

Tabla 1.8 DIMENSIONES PARA SUMIDEROS (mm) *Ver figura 3.8*

Diámetro Nominal del Tubo	Diámetro del Sumidero A	Profundidad del Sumidero B	Distancia del Centro del Tubo de la Pared del Tanque (mm) C	Espesor de las Placas del Sumidero t	Espesor Mínimo del Tubo	Espesor Mínimo de la Boquilla
152	1524	914	2590	11.11	6.35	10.97
102	1219	610	2057	9.52	6.35	8.56
76	914	457	1524	9.52	6.35	7.62
51	610	305	1067	7.93	5.54	5.54

Tabla 1.9 CONEXIONES POR DEBAJO DEL FONDO (mm) *Ver figura 3.9 y 4.0*

Diámetro Nominal de la Boquilla D	B/2	E	F	G	H	J	K	L	W/2	T	ST
1219	1067	813	1219	1473	2032	305	1829	3404	1448	15.8	ST8WF18.0
1067	991	711	1067	1372	1778	305	1727	3200	1372	15.8	ST8WF18.00
914	914	635	914	1270	1549	305	1626	2997	1295	15.8	ST8WF18.0
762	838	533	762	1143	1295	305	1499	2743	1219	15.8	ST6WF13.5
610	762	457	610	1041	1067	305	1397	2540	1143	15.8	ST6WF13.5
457	686	381	508	940	889	305	1295	2337	1067	15.8	ST6WF13.5
305	610	305	457	864	762	305	1194	2159	991	15.8	ST6WF13.5
230	559	254	406	8133	660	305	1143	2057	940	15.8	ST6WF8.5
152	533	229	356	762	584	305	1117	1981	914	15.8	ST6WF8.5



DETALLES "A1 - A4"
(TODOS SON ACEPTABLES)

- NOTAS: 1.- UN AGUJERO DEBERA ESTAR CORTADO EN LA PLACA DEL FONDO QUE DEBERA COINCIDIR CON LA CIMENTACION ANTES DE COLOCAR EL FONDO.
 2.- PUESTO EN SU LUGAR EL SUMIDERO, EL SUELO SERA COMPACTADO.
 3.- EL SUMIDERO SIEMPRE ESTA INSTALADO EN EL FONDO.

FIGURA 3.8 SUMIDERO

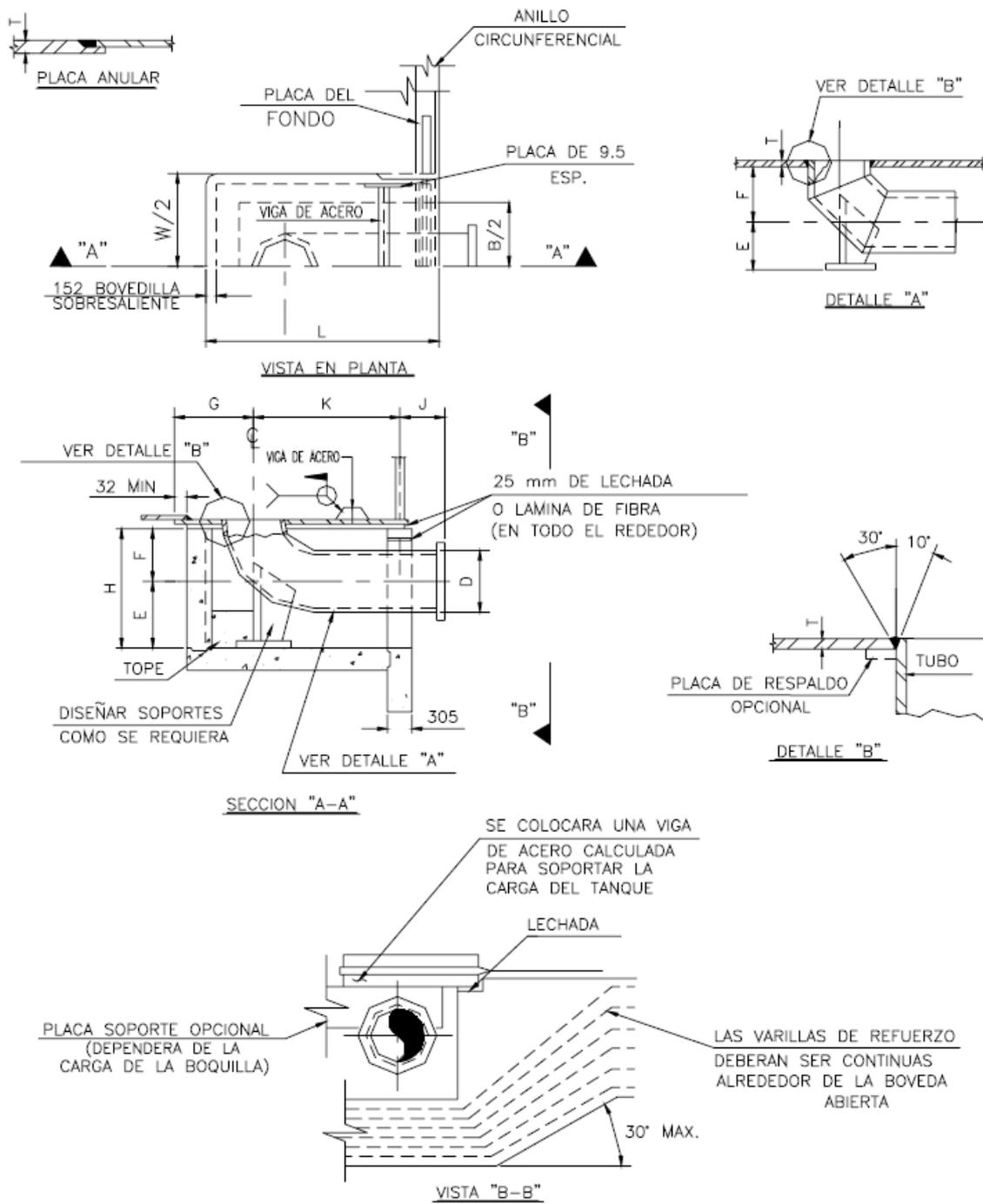
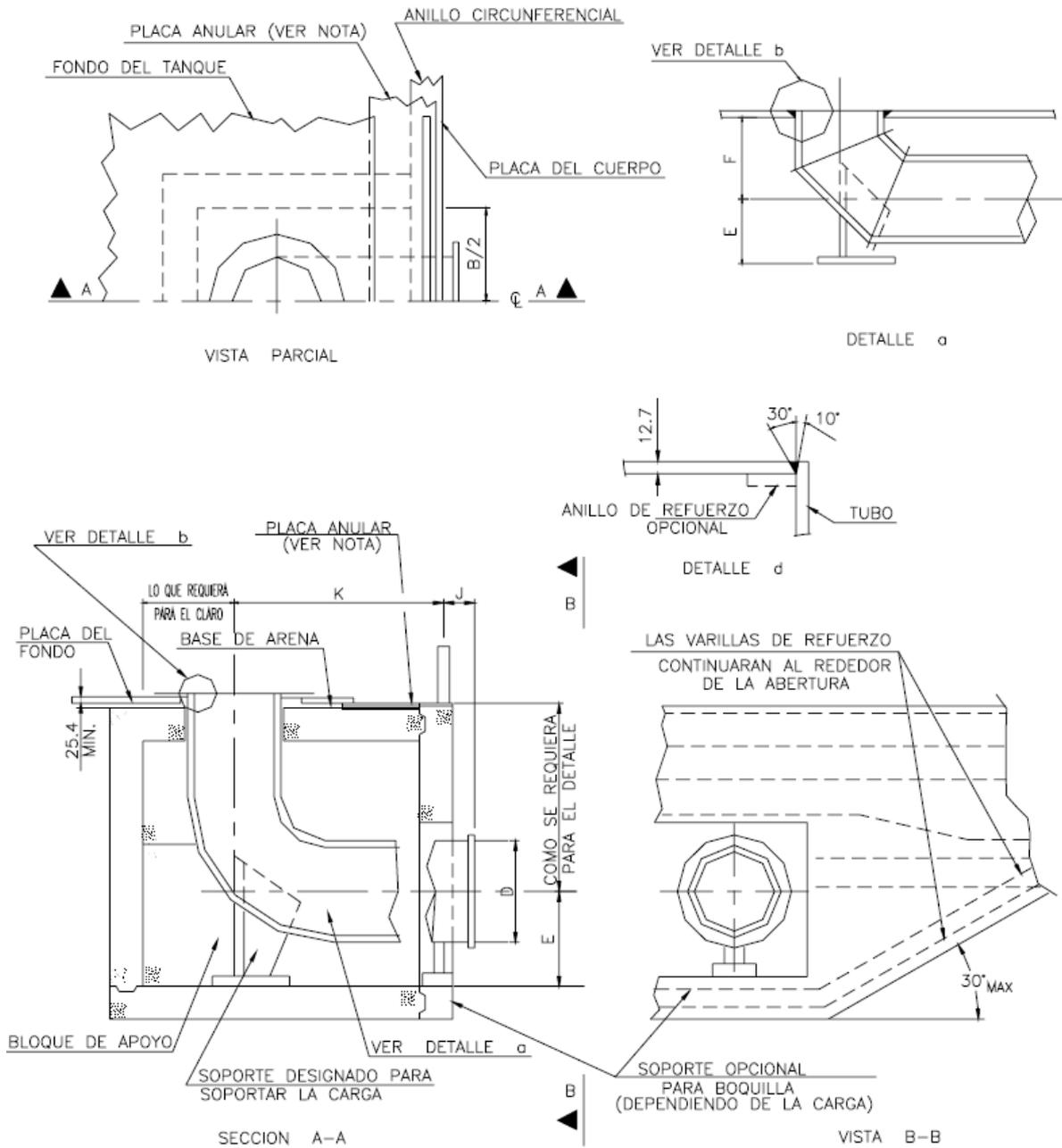


FIGURA 3.9 BOQUILLAS EN EL FONDO



NOTA: SI SE USA PLACA ANULAR DEBERA COLOCARSE UNA PLACA COMPLETA SOBRE LA BOVEDA

FIGURA 4.0 BOQUILLAS EN EL FONDO

2.7. Escaleras y plataformas

El tanque también debe de disponer y así se aplica en la Normal API 650 de escaleras y plataformas que servirán para acceder a todos los puntos del tanque que se desee y en los cuales los operarios necesiten trabajar. Generalmente este tipo de estructura se utiliza para el mantenimiento y supervisión. En la imagen podremos observar tal y como va montada la escalera del tanque con la barandilla del techo.



2.7.1. Requerimientos para plataformas y pasillos

Los requerimientos para las plataformas y pasillos de nuestro tanque vienen especificados por A.P.I 650 y se tienen que fabricar según se especifica en la Norma.

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 1,070mm. (42 pulg.).
5. La altura mínima del rodapié será de 75mm. (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 2400mm. (96 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. En las aberturas de la barandilla, cualquier espacio más ancho que 150 mm (6 pulg.) entre el tanque y la plataforma deberá tener una pisadera.
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).

2.7.1. Requerimientos para escaleras

Al igual que el apartado anterior los requerimientos para las escaleras vienen dados por la A.P.I 650.

1. Todas las partes de la escalera serán metálicas.
2. El ancho mínimo de las escaleras será de 610mm. (24 pulg.).
3. El ángulo máximo entre las escaleras y una línea horizontal será de 50°.
4. El ancho mínimo de los peldaños será de 203mm. (8 pulg.). La elevación será uniforme a todo lo largo de la escalera.
5. Los peldaños deberán estar hechos de rejilla o material antiderrapante.
6. La superior de la reja deberá estar unida al 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 pasamanos deberá ser capaz de soportar una carga de 90Kg. (200 lb), aplicada en cualquier dirección y punto del barandal.
9. Los pasamanos deberán estar colocados en ambos lados de las escaleras rectas; éstos serán colocados también en ambos lados de las escaleras circulares cuando el claro entre cuerpo-tanque y los largueros de la escalera excedan 203mm. (8 pulg.).
10. Las escaleras circunferenciales estarán completamente soportadas en el cuerpo del tanque y los finales de los largueros apoyados en el piso.

3. Diseño para el caculo del tanque

3.1. Consideraciones a tener en cuenta para el diseño del tanque

Para el diseño y el cálculo de nuestro tanque debemos de disponer de toda la información necesaria para llevar a cabo la fabricación del mismo. Las condiciones de operación y las de diseño son:

- Volumen
- Temperatura
- Peso específico del líquido
- Corrosión permisible
- Velocidad del viento
- Coeficientes sísmicos
- Cargas

Nos vemos en la obligación de no suponer ninguna de estas condiciones para el cálculo del tanque ya que conocemos donde se va a instalar y como se va hacer. También hay que tener en cuenta la magnitud y dirección de las cargas externas que nos pudieran ocasionar deformaciones en el tanque.

El sobre espesor por corrosión que especificará el usuario se incluirá en cuerpo, fondo y techo, y sólo se agrega al final del cálculo de cada uno de los elementos del tanque, debido a que la agresividad química no es lo mismo para el fluido en estado líquido o gaseoso y en algunos casos hasta para los lodos. Y sabiendo en nuestro caso que el fluido a utilizar va a ser el diésel, ya sabemos el espesor de corrosión que encontraremos en el fondo y el cuerpo. Este será de 1.6mm. Debemos tener en cuenta que las pruebas de estanqueidad se van a realizar con agua, ya que es el fluido más barato para realizar este tipo de pruebas.

Como ya hemos hecho anteriormente en el apartado de materiales para el tanque se debe especificar el material a utilizar en cada una de las partes del tanque. No se rige en ninguna Norma que materiales concretos se debe de utilizar, tenemos una gran variedad de ellos especificados por la misma Norma y tanto proveedor como cliente deben acordar que materiales se van a utilizar.

Siempre debemos de cumplir con todas las especificaciones y Normas las cuales serán revisadas y evaluadas por el personal que se designe encargado para hacerlo.

El diseño y la construcción del tanque conlleva una serie de cálculos que nos asegurarán su correcto funcionamiento y así cubrir las necesidades que el cliente ha solicitado. Para ello deberemos tener en cuenta una serie de cálculos necesarios a realizar en el tanque. Los cálculos que se deben de realizar son:

- Cálculo del fondo (en nuestro caso con anillo perimetral)
- Cálculo de la envolvente/cuerpo
- Cálculo del techo (en nuestro caso con estructura, soportado)
- Calculo de los rigidizadores secundarios
- Cálculo del arco de coronación
- Cálculo del viento
- Cálculo del sismo
- Cálculo de las cargas sobre fundaciones
- Cálculo de la ventilación atmosférica

Seguidamente vamos a especificar las consideraciones de cálculo de los más importantes como son; el cálculo del fondo, envolvente/cuerpo, techo, sismo y viento, así como los diferentes cálculos y consideraciones que hay que tener en cuenta, que, aunque vengan especificados en la Normal API 650 es conveniente saber y estudiar para la fabricación de un tanque.

3.2. Diseño del fondo

Para el diseño del fondo vamos a tener en cuenta una serie de condiciones esenciales para su cálculo:

- Los cimientos usados para soportar el tanque, el método que se utilizará para desalojar el producto almacenado, el grado de sedimentación de sólidos en suspensión, la corrosión del fondo y el tamaño del tanque. Lo que nos conduce al uso de un fondo plano, donde la resistencia permisible del suelo deberá ser por lo menos de 1,465 Kg/cm² (3,000lb / pie²).

El fondo del tanque será fabricado con láminas de acero, las cuales serán de un espesor menor que la primera lamina usada en el cuerpo, justamente la que irá pegada junta al anillo anular, a medida que vayamos subiendo en láminas hacia el techo el espesor de estas disminuirá siendo ya en la segunda lamina del mismo espesor y las restantes de un espesor menos a las del fondo. Esto es posible para el fondo, porque se encuentra soportado por una base de concreto o arena, los cuales soportarán el peso de la columna del producto; además, la función del fondo es lograr la hermeticidad para que el producto no se filtre por la base.

Teóricamente, una placa delgada de metal calibre 16. (1.52mm) o menor es capaz de soportar la flexión y la carga de compresión que se genera en la periferia del fondo por el peso del cuerpo que descansa sobre esta sección, pero para prevenir deformaciones al soldar, se usarán placas que tengan un espesor mínimo nominal de 6.3mm. (1/4 pulg.), 49.8 Kg /m² (10.2lb / pie²) excluyendo cualquier corrosión permisible especificada por el usuario.

El fondo tendrá que ser de un diámetro mayor que el diámetro exterior del tanque, por lo menos, 50mm. (2 pulg.) más en el ancho del filete de soldadura de la unión entre cuerpo y el fondo. Las placas con las que se habilite el fondo deberán tener preferentemente un ancho de 1,829mm. (72 pulg.) con una longitud comercial que el fabricante obtenga en el mercado, la cual pueda manejar en su taller o en campo sin problemas. Para esto se hace un aprovechamiento de láminas antes de pedir al proveedor cuantas de ellas vas a necesitar.

El cuerpo puede estar soportado directamente por el fondo por la placa anular y en nuestro caso el fondo es fabricado con placas traslapadas para evitar las deformaciones sufridas por las placas soldadas a tope.

La placa anular deberá tener un ancho radial (en cm.) de acuerdo a lo que indique la fórmula siguiente, pero no menor de 610mm. (24 pulg.) entre el interior del tanque y cualquier cordón de soldadura, dejando de proyección exterior 51mm. (2 pulg.).

$$A = \frac{2,153tb}{(HG)^{0.5}}$$

Donde:

- tb = Espesor de la placa anular (cm.).
- H = Nivel máximo de diseño del líquido (cm.).
- G = Densidad relativa del líquido a almacenar .

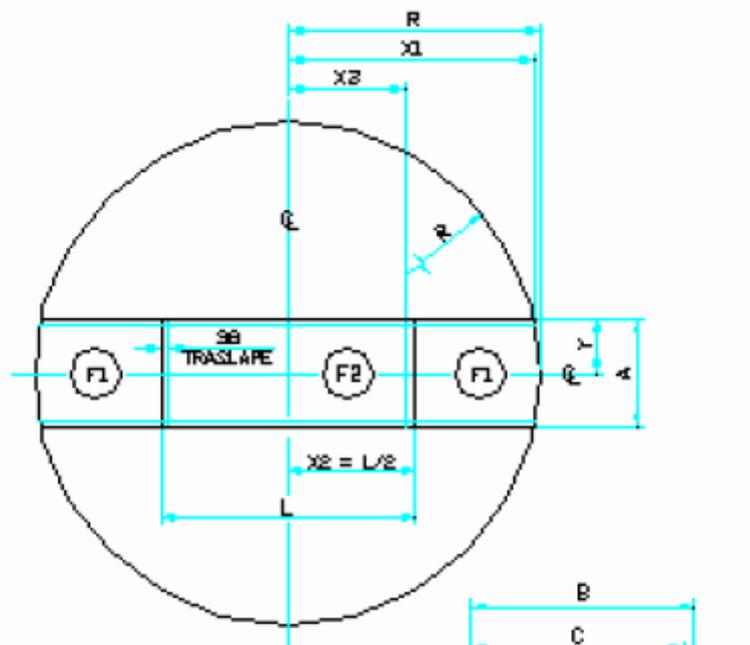
El espesor de la placa anular no será menor al listado en la tabla 5.1 más la corrosión permisible especificada.

La forma exterior de la placa anular debe ser circular y por el interior tendrá la forma de un polígono regular tal y como se puede observar en los planos del tanque con el número de lados igual a la cantidad de segmentos que conforman el anillo.

Tabla 5.1 Espesor mínimo del fondo y placa anular (mm)

Espesor Mínimo (mm) del Primer Anillo del Cuerpo	Esfuerzo Calculado para Prueba Hidrostática en el Primer Anillo del Cuerpo (Kg/cm ²)			
	<1989	<2109	<2320	<2530
t < 19.05	6.35	6.35	7.14	8.73
09.05 < 25.4	6.35	7.14	9.52	11.11
25.4 < 31.75	6.35	8.73	11.91	14.28
31.75 < 38.10	7.93	11.11	14.28	17.46
38.10 < 44.45	8.73	12.7	15.87	19.05

El tamaño de las placas y la localización de los cortes de las mismas se determinan mediante el siguiente procedimiento. Son medidas y calculadas para el corte con un programa llamado omniCAD. Una vez calculado el aprovechamiento de la chapa se envían los datos al taller para ser cortada:



R = RADIO DEL FONDO
 A = ANCHO COMERCIAL DE PLACAS
 L = LARGO COMERCIAL DE PLACAS

$$X1 = \sqrt{R^2 - Y^2}$$

$$Y = A/2$$

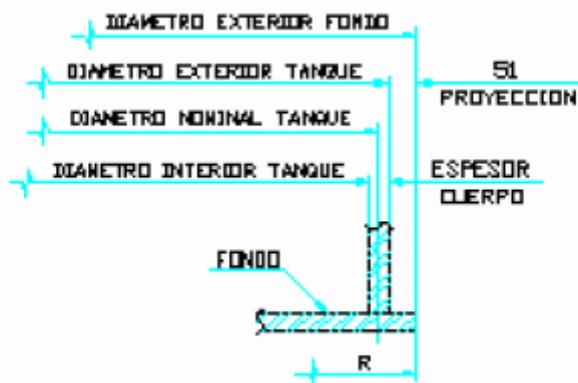
$$X2 = L/2$$

$$X3 = X2 - SB$$

$$B = R - X3$$

$$C = X1 - X3$$

DETALLE DE PLACAS F1
 (SE REQUIEREN 2 PIEZAS)



$$C' = \sqrt{(D/2)^2 - A^2}$$

$$C = C' + E - B$$

Donde:

- D = Diámetro exterior del fondo (cm.).
- A = Distancia perpendicular desde la línea de centros hasta el punto a localizar (cm.).
- B = Distancia paralela a la línea de centros hasta el paño de la placa (cm.).
- C = Dimensión del paño de la placa a cortar al punto de trazo (cm.).
- E = Traslape entre placas (cm.) (si aplica).

Una vez que se tiene marcados los puntos en la placa se trazará el arco de circunferencia sobre estas con el radio exterior del fondo, sobre el cual tendrá que cortarse la placa.

Deberemos presentar al usuario un plano con el arreglo del fondo tal y como se muestra en los planos de conjunto y de aprovechamiento de chapas, donde se muestra el armado y las plantillas de las placas, así como los detalles de soldadura, espesores y lista de materiales, marcando todas las piezas, con el fin de que el usuario apruebe el desarrollo. Una vez que se tiene la autorización del usuario, el fabricante debe presentar las placas sobre las bases del tanque en donde ha de habilitarse el fondo.

3.3. Diseño del cuerpo

Como ya hemos comentado en el apartado 3.1 *Consideraciones a tener en cuenta para el diseño del tanque*, el diseño del cuerpo contiene el cálculo de espesores por métodos los cuales vienen definidos directamente por la Normal API 650 pero que vamos a estudiar. Estos métodos de cálculo son:

- Cálculo de espesores del cuerpo por el método de un pie
- Cálculo de espesores del cuerpo por el método de punto de diseño variable

Tal y como hemos comentado el espesor que deberá llevar nuestro tanque viene definido por la Normal API 650 – Sección 5.6.1.1. El espesor de la pared del cuerpo requerido para resistir la carga hidrostática es mayor que el calculado por condiciones de diseño o por condiciones de prueba hidrostática, pero en ningún caso es menor tal y como se muestra en la tabla 5.2 a continuación:

Diámetro nominal en metros	Espesor mínimo en milímetros
D < 15	5
15 < D < 36	6
36 < D < 60	8
D > 60	10

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 teniendo en cuenta que se va a usar la densidad relativa del agua.

Como comentamos en el apartado 1.3 *Alcance* la prueba hidrostática será realizada con agua. El esfuerzo calculado de la carga hidrostática para cada anillo no deberá ser mayor que el permitido por el material y su espesor no será menor que el de los anillos subsiguientes.

El esfuerzo máximo permisible de diseño (S_d) y de prueba hidrostática (S_t), se muestra en la tabla 5.3, recomendado por API 650 en el diseño de tanques de almacenamiento.

Tabla 5.3 Materiales más comunes y esfuerzos permisibles (Kg/cm^2)

ESPECIFICACION	GRADO	ESFUERZO EN PUNTO CEDENCIA	ESFUERZO A LA TENSION	ESFUERZO DE DISEÑO	ESFUERZO DE PRUEBA
ASTM					
A-283	C	2110	3870	1410	1580
A-285	C	2110	3870	1410	1580
A-131	A,B,CS	2390	4080	1600	1750
A-36		2530	4080	1630	1750
A-131	EH36	2580	4990	1200	2140
A-442	55	2110	3870	1410	1580
A-442	60	2250	4220	1500	1690
A-573	58	2250	4080	1500	1690
A-573	65	2460	4570	1640	1850
A-573	70	2950	4920	1970	2110
A-516	55	2110	3870	1410	1580
A-516	60	2250	4220	1500	1690
A-516	65	2460	4570	1640	1850
A-516	70	2670	4920	1780	2000
A-662	B	2810	4570	1830	1960
A-662	C	3020	4920	1970	2110
A-537	1	3510	4920	1970	2110
A-537	2	4220	5620	2250	2410
A-633	C,D	3510	4920	1970	2110
A-678	A	3510	4920	1970	2110
A-678	B	4220	5620	2250	2410
A-737	B	3510	4920	1970	2110

3.3.1 Cálculo de espesores del cuerpo por el método de un pie

Con este método se calcula el espesor requerido de la pared del tanque, por condiciones de diseño y de prueba hidrostática, considerando una sección transversal ubicada a 304.8mm. (1 pie) por debajo de la unión de cada anillo. Este método sólo es aplicable en tanques con un diámetro igual o menor a 60.960mm. (200pies) por lo que en nuestro tanque es aplicable ya que nuestro diámetro es de 19.300mm. Según API 650 5.6.1 el espesor mínimo de la virola debe de ser de 6 mm, no podrá ser de un espesor mínimo.

Las dos fórmulas siguientes son las utilizadas en este método:

$$td = \frac{0.0005D(H - 30.48)G}{S_d} + C$$

$$tt = \frac{0.0005D(H - 30.48)}{S_t} + C$$

Donde:

td = Espesores por condiciones de diseño (mm).

tt = Espesor por prueba hidrostática (mm).

D = Diámetro nominal del tanque (cm) *.

*(El diámetro nominal del tanque se mide en la fibra media del cuerpo)

H = Altura de diseño del nivel del líquido (cm).

(altura desde la parte de baja del anillo considerado al perfil de coronamiento, o cualquier nivel indicado por el usuario, restringido por techos flotantes o cálculos por sismo.)

G = Densidad relativa del líquido a almacenar o del agua para cálculo por prueba hidrostática.

CA = Corrosión permisible (mm).

Sd = Esfuerzo permisible por condiciones de diseño (kg/cm²).

St = Esfuerzo permisible por condiciones de prueba hidrostática (kg/cm²).

3.3.2 Cálculo del espesor del cuerpo por el método de punto de diseño variable

A diferencia del método anterior especificado en el punto 3.3.1 *Cálculo de espesores del cuerpo por el método de un pie*, este solo es aplicable si no se especifica el método de un pie y si el tanque tiene un diámetro mayor de 60.960mm (200 pies) por lo que este método no será aplicable en nuestro caso de tal manera que no va a ser objeto de estudio.

3.4. Diseño del techo

Como ya hemos estudiado en el apartado de 2.2 *Tipos de techos* hay techos de diferentes tipos por lo que nos centraremos a estudiar el método de cálculo que posee nuestro tanque siendo este tipo de techo un techo soportado con estructura.

3.4.1 Cálculo del techo soportado con estructura

Nuestro techo soportado con estructura es de tipo cónico. Consiste en placas soldadas a traslape, soportadas por una estructura que esta compuesta por columnas, traveses y largueros. Las traveses formarán polígonos regulares múltiples de cinco y en cada arista de estos se colocará una columna. Los polígonos compuestos por traveses se encargarán de soportar los largueros. Las juntas de las placas del techo estarán soldadas a traslape por la parte superior con un filete continuo a lo largo de la unión, la cual tendrá un ancho igual al espesor de las placas. La soldadura del techo, con el perfil de coronamiento, se efectuará mediante un filete continuo de 4.76mm. (3/16 pulg.) o menor si es el caso y así se especifica.

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

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

Las columnas para soportar la estructura del techo se seleccionan a partir de perfiles estructurales, o puede usarse tubería de acero. Cuando se usa tubería de acero, debe proveerse ésta de drenes y venteos; la base de la misma será provista de topes soldados al fondo para prevenir desplazamientos laterales.

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

3.4.2 Esfuerzos permisibles en el techo

Cada parte de nuestra estructura deberá ser dimensionada de forma correcta y según se rija en los cálculos realizados, con la suma de los esfuerzos estáticos máximos, los cuales no deberán exceder los límites especificados siguientes:

Esfuerzo Máximo de Tensión:

- a) Para placas roladas en su sección neta, 1,406 kg/cm² (20,000 lb/pu lg²).
- b) Para soldadura con penetración completa en áreas de placa delgada, 1266 kg/cm² (18000 lb/pu lg²).

Esfuerzo Máximo de Compresión:

- a) Para acero rolado, donde se previene la flexión lateral, 1,406 kg/cm² (20,000 lb/pu lg²).
- b) Para soldadura con penetración completa en áreas de placa delgada 1,406 kg/cm² (20,000 lb/pu lg²).
- c) Para columnas en su área de sección transversal, cuando L/r < 120 (según AISC).

$$C_{ma} = \left(1 - \frac{(L/r)^2}{2C_c^2}\right) \left(\frac{C_d}{CS}\right) \qquad C_{ma} = \frac{5.15E}{(L/r)^2}$$

Donde:

C_{ma} = Compresión máxima permisible (kg/cm²).

C_d = Esfuerzo de cedencia (kg/cm²).

C_c = Relación de esbeltez limite = $\sqrt{(19,739E/C_d)}$.

E = Módulo de sección (kg/cm²).

L = Longitud sin apoyo de la columna (cm).

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

CS = Coeficiente de seguridad = $\frac{5}{3} + \frac{3L/r}{8C_c} - \frac{1(L/r)^3}{8C_c^3}$ = entre 1.67 y 1.92.

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

Esfuerzo Máximo Producido por Flexión:

a) Para tensión y compresión en las fibras externas de placas roladas y miembros estructurales con eje de simetría en el plano de cargas, donde la longitud lateral no soportada de la viga compuesta de compresión no es mayor de 13 veces el ancho, la viga compuesta de compresión no debe exceder de 17 en su relación ancho-espesor, y la relación de alma altura-espesor no debe exceder de 70, y no sobrepasar un esfuerzo de 1,547 kg/cm² (22, lb/pu lg²).

b) Para tensión y compresión en fibras extremas de miembros asimétricos, donde el miembro es soportado lateralmente en intervalos no mayores de 13 veces el ancho de la viga compuesta de compresión, no deberá exceder un esfuerzo de 1,406 kg/cm² (lb/pu lg²).

c) Para tensión en fibras extremas de otros miembros rolados, miembros estructurales y trabes, no excederán de un esfuerzo de 1,406 kg/cm² (20, lb/pu lg²).

d) Para compresión en fibras extremas de otros miembros rolados, trabes o miembros estructurales que tienen un eje de simetría en el plano de cargas, el mayor valor calculado del esfuerzo que no ha de ser excedido será como sigue en kg/cm².

$$1406 - 0.04(l/r)^2$$

$$\frac{843700}{(ld)/A_f} < 1406$$

Donde:

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

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

d = Peralte de la sección (cm).

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

e) Para compresión en fibras extremas de otras secciones asimétricas, el valor calculado de esfuerzo será como sigue en kg/cm²:

$$\frac{843700}{(ld)/A_f} < 1406$$

Esfuerzo Máximo de Corte:

a) Para soldaduras de filetes, tapones, ranuras, penetración parcial, el esfuerzo permitido en el área de la garganta será como máximo de 956 kg/cm² (13,600 lb/pu lg²).

b) En el área del espesor de alma de vigas y trabes donde el peralte del alma de la viga no sea mayor de 60 veces el espesor de esta o cuando el alma es adecuadamente reforzada, el esfuerzo no debe exceder de 914 kg/cm² (13,000 lb/pu lg²).

c) En el área del espesor de las almas de vigas y trabes que no estén reforzadas o que el peralte del alma de la viga es más de 60 veces al espesor de esta, el mayor promedio de corte permitido (V/A) será calculado como sigue:

$$V / A = \frac{1370}{1 + \left[h^2 / (506t^2) \right]}$$

Donde:

V = corte total (Kg).

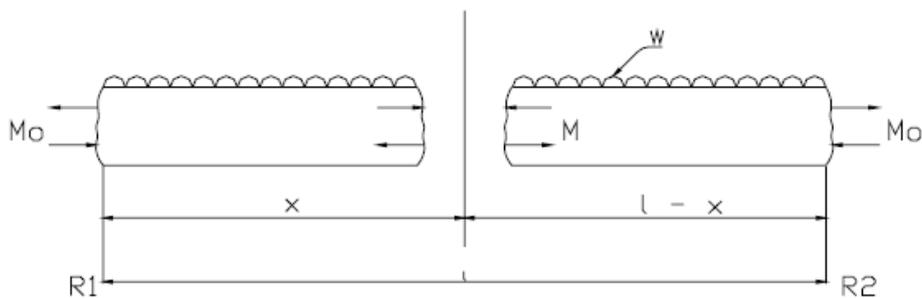
A = Área del alma (cm).

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

t = Espesor del alma (cm).

3.4.3 Calculo de las vigas con cargas uniformemente repartida

Una viga continua con carga uniforme tiene varios apoyos como la consideración en la figura 4.1 Se considera una sección de viga continua con igual espaciamento, un momento Mo existe sobre los soportes. Figura 4.1.



4.1

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

$$M = M_o + R_1x - wx(x/2)$$

Pero,

$$R_1 = wl/2$$

Para una viga con extremos empotrados y:

$$EI(d^2y/dx^2) = M$$

Sustituyendo M y R₁ tenemos:

$$M = EId^2y/dx^2 = M_o + wl x/2 - wx^2/2$$

Después deberemos integrar y obtenemos:

$$EI(dx/dy) = M_o x + wl x^2/4 - wx^3/6 + c_1$$

Momento máximo con carga uniforme y extremos fijos:

$$M_o = -wl^2/12$$

Momento máximo en el centro donde X = l/2;

$$M^{1/2} = wl^2/24$$

Por último, la flexión máxima en x = l/2;

$$y = -wl^4/384EI$$

3.4.4 Espacio entre largueros y números de largueros

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

$$M_{\max} = -wl^2/12 = -P(1)^2/12 = -Pl^2/12$$

Donde:

l = Longitud de viga entre largueros (cm.).

P = Carga unitaria Kg/cm² = w donde el ancho es 1 cm.

Sustituyendo el esfuerzo resultante de la flexión se obtiene.

Donde:

$$f = M/z$$

$z = bt/6$ para vigas rectangulares.

b = Ancho de la viga (cm).

t = Espesor de la viga (cm). Para este caso $b = 1$

$$z = t^2 / 6 \qquad f = Pl^2 / 2t^2 \quad \text{por lo tanto}$$

Para un esfuerzo máximo permisible de flexión (f) de 1,406 kg/cm² (20,000 lb/pu lg²) especificado por API 650 para placas roladas y miembros estructurales), una placa de 4.76 mm (3/16pulg) de espesor, más una carga viva de 159 kg/cm² (32.65 lb/pu lg²), entonces $P = 0.016 \text{ kg/cm}^2 = 0.227 \text{ lb/pu lg}^2$

$$l = 0.476 \sqrt{(2 \times 1406 / 0.016)} = 199.55 \text{ cm} (78.56 \text{ pu lg})$$

Pero API establece que el espacio máximo entre largueros será de 2π pies (1,915 mm o 75.39 pulg.) en el perímetro exterior del tanque, y en anillos interiores una separación máxima de 5.5 pies (1,676mm. o 66 pulg.). El número mínimo de largueros usados entre dos traveses adyacentes o entre la pared del tanque y la trabe, está basado en el perímetro del círculo donde está circunscrito el polígono exterior o del cuerpo, por lo que primero se determina el número de polígonos y , por consecuencia, el diámetro en el que se encuentra el polígono, y el número mínimo de largueros estará determinado por la siguiente ecuación, donde el número real de largueros debe ser un múltiplo del número de lados del polígono para mantener un arreglo simétrico:

$$n = \frac{ND \text{sen}(360 / 2N)}{1}$$

Donde:

n = Número de largueros.

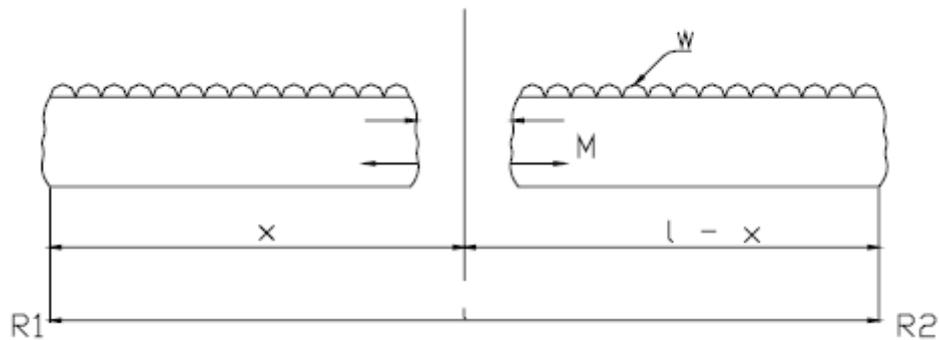
l = Espacio máximo entre largueros (cm).

N = Número de lados del polígono.

D = Diámetro del círculo donde está circunscrito el polígono o diámetro nominal del tanque en (cm.).

3.4.5 Cálculo de vigas articuladas con carga uniformemente repartida

Consideraremos cualquier punto x , entre los soportes R_1 y R_2 en una viga con carga uniforme (w). Las fuerzas calculadas en la viga a la izquierda del punto x producen un momento de flexión M , el cual puede evaluarse por la suma de momentos en x . Para una carga uniforme en una viga simplemente apoyada, las reacciones son iguales ($R_1 = R_2$) donde, en la figura 4.2:



4.2

$$R_1 = wl/2$$

La fuerza o reacción R_1 produce un momento positivo o en sentido horario igual a $(R_1 x)$ y la resultante de la carga uniforme a la izquierda de x ($w x$), produce un momento negativo o antihorario igual a $- wx(x/2)$, por lo que;

$$M = (wlx/2) - (wx^2/2)$$

Para obtener la localización del momento de flexión máximo

$$dM/dx = d(wx/2 - wx^2/2)/dx$$

Sustituyendo $X = l/2$ en las ecuaciones de momentos para vigas simplemente apoyadas con carga uniforme

$$M_{mas} = wl^2/8$$

La flecha debida a la flexión máxima se calcula por la siguiente fórmula:

$$y = \frac{1}{EI} \left(\frac{wlx^3}{12} - \frac{wx^4}{24} - \frac{wl^3x}{24} \right)$$

Y como sabemos que la flecha máxima ocurre en la mitad del claro:

$$x = l/2.$$

$$y = 5wl^4/384EI$$

3.4.6 Selección de traveses y largueros

Los largueros están diseñados con cargas uniformemente repartidas y extremos libres. Cada larguero se considera que soporta las placas del techo más la carga viva; dichas cargas se extienden a ambos lados del larguero respecto a la línea de centro del mismo, por lo que se considera que cada larguero soportará un área tributaria igual a la longitud del larguero por el promedio de la separación entre dos largueros consecutivos. Sabiendo que el momento flexionante máximo en una viga con carga uniformemente

repartida ocurre en el centro de ésta y, como consecuencia de esto, el esfuerzo máximo que se produce es directamente proporcional al cuadrado de la longitud de la viga, se debe evitar el uso de largueros muy pesados limitando su longitud de 6,096 a 7,315 m. (20 a 24 pies).

Una vez determinada la carga que absorberán los diferentes largueros, así como sus longitudes, se calculará el momento máximo, para que con este valor se proceda a determinar el módulo de sección óptimo para posteriormente recalcular, pero ahora considerando el peso propio del larguero, haciendo esto repetidamente hasta lograr el equilibrio y poder determinar el módulo de sección a emplear. Siempre se deberá calcular el larguero más crítico (generalmente el exterior), para que todos los largueros, ya sean exteriores y/o interiores, tengan el mismo peralte. Para recipiente de gran diámetro, el claro del larguero es reducido mediante traveses soportados en sus extremos por columnas, formando polígonos regulares. Estas traveses concurren en el centro y limitan su longitud por:

$$(L/b > 13, L/b < 40).$$

Las traveses son diseñadas para absorber las cargas concentradas que producen los largueros que pueden ser consideradas como carga uniforme siempre y cuando existan cuatro o más largueros en cada traves. Esta carga se puede determinar de la siguiente manera:

$$w = (w'ln) / L$$

Donde:

w = Carga uniformemente repartida sobre la traves (Kg/m o lb/pie).

w' = Carga máxima sobre un larguero incluyendo el peso propio del larguero más pesado (Kg/m o lb/pie).

l = La mitad de la longitud del larguero (m o pie).

n = Número de largueros que se apoyarán sobre la traves.

L = Longitud de la traves (m o pie).

Las traveses siguen la misma secuencia de cálculo que los largueros para obtener el módulo de sección requerido, las cuales pueden no ser del mismo peralte entre polígonos, por lo que cada polígono debe ser calculado independientemente.

3.4.7 Cálculo de columna con carga axial

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

$$f = Mc/I + P/a = PyC/I + P/a$$

Por definición:

$I = ar^2$ donde $r =$ radio de giro

$$f = P/a(1 + yc/r^2)$$

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

$$f = Mc/I; M = wl^2/8, y = 5wl^4/384EI$$

Que pueden usarse para resolver el producto (yc).

$$yc = 5wl^4/384EI(8If/wl^2) = 5l^2 f/48E = C_1 l^2$$

Donde: $C_1 =$ constante

$$yc = C_2 l^2$$

Queda entonces:

$$P/a = f/(1 + C_2(l^2/r^2))$$

La constante C_2 es especificada por el American Institute Of Steel Construction. Donde C_2 depende del material, la carga y el método de soporte. No se conoce ningún método para calcular teóricamente la constante C_2 y esta se determina por experimentación. C_2 puede ser de 1/18,000 para columnas circulares y 1/36,000 para columnas cuadradas. Para valores de l/r entre 60 y 200, por lo que se recomienda el uso de la siguiente fórmula para columnas de acero.

$$P/a = 1,265/(1 + (18,000r^2))$$

Para columnas que tienen valores de l/r entre 0 y 60, no se utiliza esta ecuación, pero se especifica un valor máximo del esfuerzo de compresión igual a 1,055 Kg/cm². Para valores de l/r mayores de 200 se usa la fórmula:

$$P/a = 1,406/(1 + (l^2/2,000b^2))$$

Donde:

$l =$ Longitud no soportada (cm).

$b =$ Ancho de la sección de compresión.

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

Pero $l < 40 b$.

El valor de 1,406 Kg/cm² especificado en el numerador de la ecuación anterior es permitido porque el esfuerzo de flexión máximo existe sólo en las fibras exteriores combinado con el esfuerzo de compresión.

3.4.8 Selección de las columnas del tanque

Cuando hayamos finalizado con el cálculo de los largueros y las traveses elegiremos cuáles de ellos van a ser montados en el tanque. Después de realizar esta tarea ya podremos pasar a calcular las columnas.

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

$$r = l / 180$$

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

$$f_p = 1265 / (1 + (l^2 / 18000r^2))$$

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

Una vez definida la sección transversal de la columna que cumpla con lo anterior, se calcula el esfuerzo de compresión máximo permisible (C_{ma}), el cual tendrá que ser mayor o igual que el calculado por el procedimiento anterior. Si esto no es logrado, se tomará este esfuerzo máximo de compresión y se igualará a P/a. Despejando obtendremos el área de la sección transversal, empezando de nuevo la rutina hasta que esto se haya cumplido.

3.4.9 Diseño del perfil de coronamiento

Para finalizar con el diseño del techo nos quedará saber cómo calcular el perfil de coronamiento de nuestro techo con estructura cónica.

El perfil de coronamiento es un elemento de gran importancia ya que se va encargar de soportar las cargas generadas por el mismo techo. También tiene una función rigidizadora ya que rigidiza el cuerpo de nuestro tanque contra deformaciones de ovalamiento en la parte más alta, justo las láminas que serán unidas con la parte del techo logrando así un sello compacto y firme entre las dos partes, techo y cuerpo/envolvente.

3.4.10 Cálculo del perfil de coronamiento

Con una sencilla fórmula nos vamos a encargar de un correcto cierre y unión entre el cuerpo/envolvente y el techo.

El perfil de coronamiento para nuestro tanque se va a considerar como una junta frágil, que no es capaz de resistir la presión interna por lo que tendrá un venteo según lo especifica API. El área de la sección transversal de la junta no excederá el valor calculado por la siguiente fórmula:

$$A = \frac{2.1765W}{30800 \operatorname{tg} \theta}$$

Donde:

W = Peso total del techo (Kg).

θ = Ángulo del techo con respecto a la horizontal (grados).

3.5 Cálculo por sismo

El cálculo del sismo será de gran importancia para un funcionamiento óptimo de nuestro tanque, ya que los movimientos sísmicos afectan directamente al diseño del mismo. Para esto deberemos estudiar la zona donde será instalado el tanque teniendo en cuenta los factores sísmicos y el riesgo sísmico que presenta la zona.

Los movimientos sísmicos van a provocar sobre nuestro tanque dos tipos de reacciones:

- 1- Cuando la alta frecuencia relativa amplificada provoca un movimiento lateral del terreno sobre el que está situado el tanque, posteriormente la cantidad de líquido que el recipiente contiene, se mueve al unísono con el cuerpo del tanque.
- 2- Cuando la baja frecuencia relativa amplificada provoca un movimiento de la masa del líquido contenido, ocasionando oleaje dentro del tanque.

3.5.1 Momento de volteo

El movimiento lateral de las masas, genera fuerzas que actúan en el centro de gravedad del tanque, ocasionando la inestabilidad del conjunto, que multiplicado por el brazo de palanca respecto del fondo, originan un momento de volteo, produciendo una compresión longitudinal, provocando la deformación del cuerpo. Por lo que el tanque será diseñado para resistir este fenómeno.

El momento de volteo deberá determinarse mediante la siguiente expresión, efectuando los cálculos respecto a la base del tanque.

$$M = ZI(C_1 W_s X_s + C_1 W_r H t + C_1 W_i X_i + C_2 W_c X_c)$$

Donde:

M = Momento de volteo (Kg – m).

Z = Coeficiente sísmico (Ver Figura 4.3 y Tabla 5.4).

I = Factor de rigidez = 1 para todos los tanques excepto cuando un incremento en este factor es especificado por el usuario. Se recomienda que este factor no exceda de 1.5 que es el máximo valor que se puede aplicar.

C_1, C_2 = Coeficiente de fuerza lateral sísmica.

W_s = Peso total del cuerpo del tanque (Kg).

X_s = Altura desde el fondo del cuerpo del tanque al centro de gravedad de este (m).

W_r = Peso total del techo del tanque más una carga viva especificada por el usuario (Kg).

H_t = Altura total del cuerpo del tanque (m).

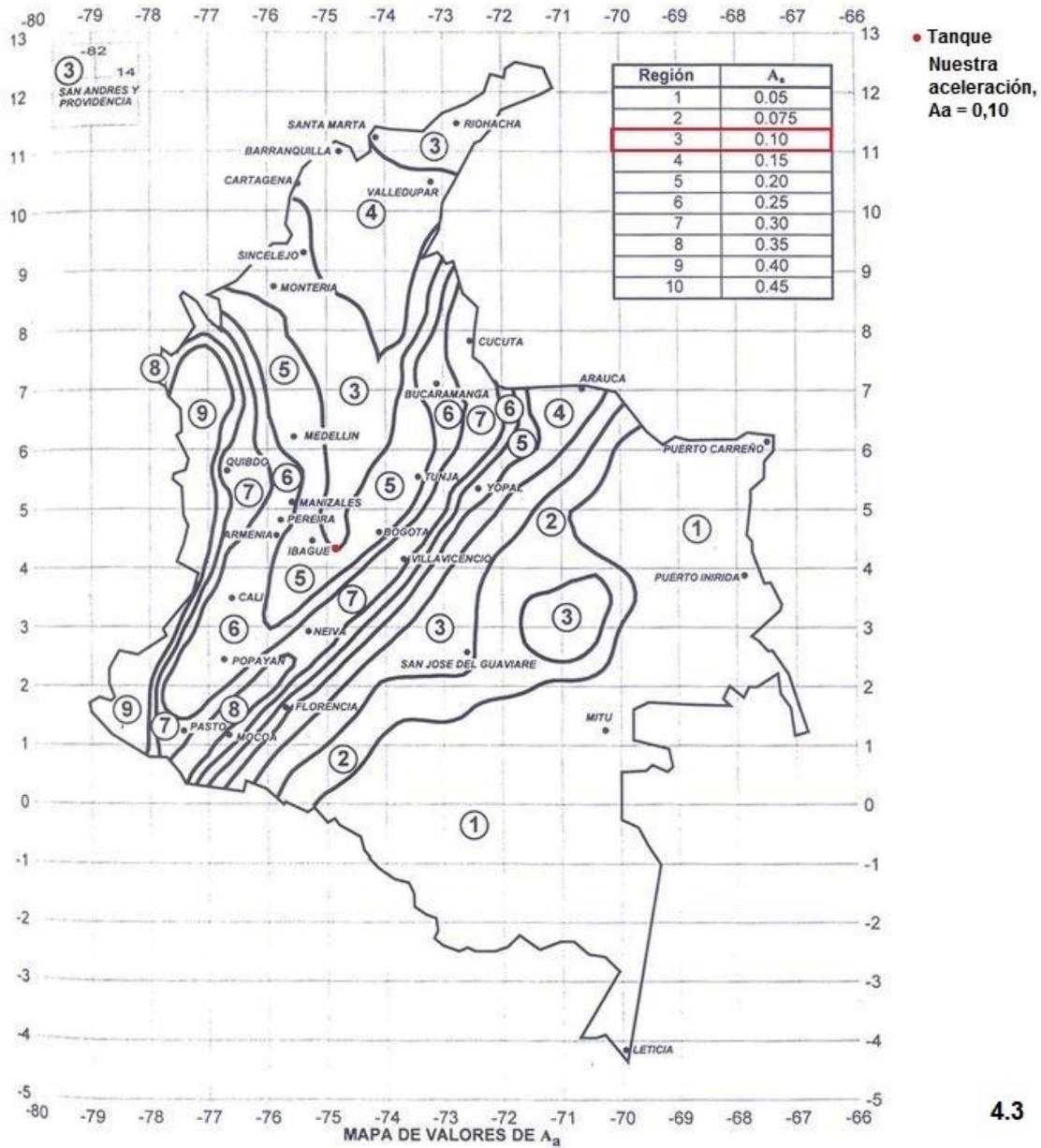
W_i = Peso de la masa efectiva contenida en el tanque que se mueve al unísono con el cuerpo del tanque (Kg).

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

W_c = Peso efectivo de la masa contenida por el tanque que se mueve en el primer oleaje (Kg).

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

Como ya hemos comentado anteriormente, hay que hacer un estudio sísmico de la zona donde será instalado el tanque. La fórmula anterior viene determinada por el coeficiente de aceleración sísmica y el riesgo sísmico donde será construido el tanque, así pues, en la siguiente imagen 4.3 y tabla 5.4 se muestra dónde va a ser montado el tanque y que movimiento y aceleración sísmica son las que tendremos que tener en cuenta cuando procedamos a calcular los cálculos sísmicos.



4.3

Tabla 5.4 Coeficientes sísmicos

Región	A_a	Zona de Riesgo Sísmico
10	0.45	Alta
9	0.40	Alta
8	0.35	Alta
7	0.30	Alta
6	0.25	Alta
5	0.20	Intermedia
4	0.15	Intermedia
3	0.10	Baja
2	0.075	Baja
1	0.05	Baja

3.5.2 Masa efectiva contenida en el tanque

Las masas efectivas W_i y W_c se determinarán multiplicando W_p por las relaciones W_i/W_p y W_c/W_p respectivamente en relación a D/H .

Donde:

W_p = Peso total del fluido del tanque (Kg.).

D = Diámetro nominal del tanque (cm).

H = Altura de diseño del líquido (cm).

Las alturas desde el fondo del tanque a los centroides de las fuerzas sísmicas laterales, aplicadas a W_i y W_c , (X_c y X_i), se determinan multiplicando H por las relaciones X_c/H y X_i/H respectivamente obtenidas en relación D/H .

3.5.3 Coeficiente de fuerzas laterales

El coeficiente C_1 de fuerza lateral será 0.24.

El coeficiente C_2 de la fuerza lateral será determinado por la función del periodo natural T y las condiciones del terreno donde se sitúa el tanque.

Cuando $T < 4.5$

$$C_1 = 0.3S/T$$

Cuando $T > 4.5$

$$C_2 = 1.35 S/T^2$$

Donde:

S = factor de amplificación.

T = periodo natural de la ondulación en segundos = $L D^{0.5}$.

K = Coeficiente de ampliación.

El coeficiente de ampliación (K) es un factor que depende del terreno donde se haya nuestro tanque.

Los terrenos se clasifican en tres tipos, de acuerdo con su rigidez.

I) Terrenos firmes; como tepetate, arenisca medianamente cementada, arcilla muy compacta o suelo con características similares.

II) Suelo de baja rigidez; como arenas no cementadas o limos de mediana o alta compacidad, arcillas de mediana compacidad o suelos de características similares.

III) Arcillas blandas muy compresibles.

Tipo de Suelo	Factor de Amplificación
I	1.0
II	1.0
III	1.5

En nuestro caso, el tipo de suelo donde se construirá el tanque es de tipo III, arcillas blandas muy compresibles.

3.5.4 Resistencia a la volcadura

La resistencia al momento de volcadura respecto del fondo del tanque podrá ser prevenido por el peso del cuerpo del tanque y mediante anclaje.

Como nuestro tanque no va anclado, el peso de la porción del líquido que contiene puede ser usado para resistir la volcadura.

$$w_a = 99 t_a \sqrt{F_y H G_e} \leq 1.96 HDG$$

Donde:

W_a = peso máximo del líquido contenido en el tanque que puede ser usado para resistir la volcadura (Kg-m), de la circunferencia del cuerpo.

T_a = espesor de la placa del fondo bajo el tanque (cm).

F_y = esfuerzo mínimo de cedencia especificado del fondo (Kg / cm²).

G = Densidad relativa del líquido.

El espesor de la placa del fondo bajo el cuerpo T_b , no debe exceder el espesor del primer anillo, el cual siempre será mayor. Donde la placa del fondo debajo del cuerpo es más gruesa que el resto del fondo, el ancho de esta placa de mayor espesor medido en forma radial hacia el interior del cuerpo será mayor o igual a:

$$6.052 (W_a / G H)$$

3.5.5 Compresión del cuerpo

Como nuestro tanque no es anclado, se usa un procedimiento de cálculo diferente a los tanques anclados. La fuerza máxima de compresión que hayamos en nuestro tanque en el fondo del cuerpo se determinará mediante el siguiente cálculo:

$$J < 0.785 \Rightarrow \sigma_c = (w_t(1 + 0.4A_v) + \frac{1.273M_{rw}}{D^2}) \frac{1}{1000t_s}$$
$$\sigma_c = \left(\frac{w_t(1 + 0.4A_v) + w_a}{0.607 - 0.18667[J]^{2.3}} - w_a \right) \frac{1}{1000t_s}$$

Donde:

σ_c = fuerza máxima de compresión en el fondo del cuerpo (Kg /m) en la circunferencia del cuerpo).

Wt = peso del cuerpo del tanque y la porción de techo soportado por el techo (Kg. Por metro de circunferencia del cuerpo).

3.5.6 Compresión máxima permisible del cuerpo

El esfuerzo máximo de compresión longitudinal en el cuerpo será determinado de acuerdo a lo siguiente:

Cuando $0.0002278 G H D^2 / t^2$ es mayor o igual a 10^6

$$F_c = 17067000 t / D$$

Cuando $0.0002278 G H D^2 / t^2$ es menor a 10^6

$$F_c = 68270400 t / D + 1546 \sqrt{(GH)}$$

Donde:

t = Espesor del anillo inferior del tanque sin corrosión permisible (cm). (menor de $0.5 F_{ty}$).

Fc = Esfuerzo máximo de compresión longitudinal permisible (Kg/cm²), (menor de $0.5 F_{ty}$).

Fty = Esfuerzo mínimo de cedencia especificado del anillo inferior (Kg/cm²).

3.6 Cálculo por viento

Para finalizar nuestro punto 3. *Diseño para el cálculo del tanque* vamos a estudiar el cálculo del viento.

El viento también es un factor muy importante que tendremos que tener en cuenta a la hora de diseñar el tanque. Nuestro tanque se va a ver expuesto desde el momento de su finalización a una presión y velocidades ocasionadas por el mismo viento, por lo que este será construido y calculado para lograr una estabilidad total.

Al igual que con el sismo el viento también contiene un momento de volteo producido por la carga constante del viento, la cual debe ser considerada de por lo menos 145 kg/m² (30 lb/pie²) en la superficie del plano vertical, 85 kg/m² (30 lb/pie²) en las áreas proyectadas de las superficies del cilindro y 70 kg/m² (30 lb/pie²) en áreas proyectadas de superficies cónicas y doble curvada. Sabiendo que nuestro diámetro es de 19.30 metros, esta será la superficie expuesta al viento por lo que vamos a determinar una velocidad del viento de diseño de 140 km/h. Este factor también viene determinado, al igual como el sismo, de la zona geográfica donde se localiza el tanque. Se ajustarán las presiones multiplicando el valor especificado anteriormente por el resultado de la siguiente relación:

$$(v / 140)^2$$

Para que el tanque sea estable frente al viento se diseñará de manera que cumpla los estándares de las siguientes 3 ecuaciones:

$$1) 0.6M_w + M_{pi} < M_{DL} / 1.5 + M_{DLR}$$

$$2) M_w + F_p(M_{pi}) < (M_{DL} + M_F) / 2 + M_{DLR}$$

$$3) M_{ws} + F_p(M_{pi}) < M_{DL} / 1.5 + M_{DLR}$$

Donde:

M_w = Momento del viento.

M_{pi} = Momento producido por la presión interna.

M_{DL} = Momento del peso del cuerpo.

M_{DLR} = Momento del peso del techo.

F_p = Factor de combinación de presión.

M_F = Momento del peso del líquido.

M_{ws} = Momento de la fuerza horizontal del viento.

3.6.1 Momento de volteo

El momento de volteo producido por el viento se considera una carga uniformemente repartida sobre una viga empotrada en un extremo, por lo que el momento será igual a:

$$M = \frac{P_v D_{\max} (H_t)^2}{2}$$

Donde:

M = Momento de volteo (Kg-m).

P_v = Presión de viento (Kg /m²).

D_{máx.} = Diámetro exterior del tanque incluyendo líneas de tuberías (m).

HT = altura total del tanque incluyendo el techo (m).

Como nuestro tanque no está anclado como ya hemos comentado en el apartado 3.5.5 *Compresión del cuerpo*, el momento de volteo por presión de viento no debe exceder de la siguiente expresión:

$$M < \frac{2}{3} \left(\frac{WD}{2} \right)$$

Donde:

W = Peso muerto del tanque disponible para resistir el levantamiento (Kg), menos cualquier corrosión permisible, menos simultáneamente el levantamiento por condiciones de presión interna sobre el techo.

D = diámetro nominal del tanque (m).

3.6.2 Cálculo de los rigidizadores para el viento

En ocasiones, los tanques deberán llevar instalados rigidizadores para soportar las cargas originadas por el viento.

Para nuestro caso no hace falta ningún tipo de rigidizador ya que al aplicar las fórmulas que vienen a continuación, como más adelante en la parte de cálculos veremos, nos sale que se debería de rigidizar el tanque si este poseyera una altura de 18.14 metros o más. En nuestro caso, la altura transformada es de 9,060 metros.

$$H_1 = 9.47t \sqrt{\left(\frac{t}{D}\right)^3 \left(\frac{190}{V}\right)^2} \qquad W_{tr} = W \sqrt{\left(\frac{t_{unif}}{t_{act}}\right)^5}$$

Donde:

H₁ = Máxima altura del cuerpo sin rigidizar.

t = Espesor de la última virola.

V = Velocidad del viento.

W_{tr} = Altura transformada.

W = Altura virola.

t_{act} = Espesor de la virola.

t_{unif} = espesor de la última virola.

4. Cálculos del tanque

Para empezar con los cálculos del tanque deberemos tener en cuenta las características generales y los datos de diseño especificados en el punto 1.3 *Alcance*.

Así pues, seguidamente seguiremos un orden para el cálculo del tanque de la siguiente manera:

1. Resumen de pesos
2. Cálculo del fondo con anillo perimetral
3. Estructura del techo
4. Envoltente/cuerpo
5. Rigidizadores secundarios para el viento
6. Aro de coronación en techos cónicos con estructura
7. Estabilidad frente al viento
8. Cálculo sísmico
9. Cargas
10. Venteo

4.1 Resumen de pesos

Peso del tanque:

Envoltente/Cuerpo	41.355 Kg.
Conexiones en cuerpo	340 Kg.
Escalera helicoidal	2.043 Kg.
Barandilla	788 Kg.
Ángulo de coronación	587 Kg.
Varios	2.000 Kg.
Total peso accesorios cuerpo	5.758 Kg.
Techo	11.865 Kg.
Estructura en techo	3.164 Kg.
Conexiones en techo	48 Kg.
Plataforma	540 Kg.
Total peso accesorios techo	588 Kg.
Fondo	16.835 Kg.
Anillo perimetral del fondo	3.521 Kg.
Peso del contenido	3.510.636 Kg.

Del agua de prueba	3.510.636 Kg.
En vacío	83.086 Kg.
En operación nuevo	3.593.721 Kg.
En operación corroido	3.592.925 Kg.
En prueba hidráulica	3.593.721 Kg.
Cuerpo corroido	31.903 Kg.
Techo corroido con estructura	28.439 Kg.
Fondo corroido	12.826 Kg.
Anillo perimetral corroido	2.775 Kg.

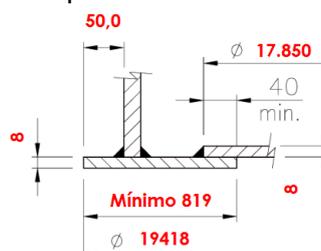
4.2 Cálculo del fondo con anillo perimetral

Datos anillo perimetral:

- Espesor mínimo de la chapa = 6 mm
- Sobre espesor de corrosión = 1,6 mm
- Diámetro exterior del anillo = 19.418 mm
- Proyección del fondo lado exterior a la envolvente/cuerpo = 50 mm
- Numero de anillos poligonales = 16 unidades
- Espesor adoptado del anillo, $t_b = 8$ mm
- Diámetro del fondo = 17.850 mm
- Espesor adoptado del fondo = 8 mm
- Altura máxima del producto, $H = 12$ m
- Peso específico del producto, $G = 1$
- Peso del anillo incluido soldaduras = 3.521 kg
- Peso del fondo incluido solapes y soldaduras = 16.835 kg

Comprobación del ancho mínimo del anillo perimetral:

$$\frac{215t_b}{(HG)^{0.5}} = 496,5$$



4.3 Estructura del techo

Para el cálculo del techo tenemos:

- Perfil IPN de 120
- Perfil para los anillos intermedios L60x6
- Perfil para los arriostrados L60x6
- Espesor adaptado de la chapa de la corona, tT 18
- Ancho adaptado para la chapa de la corona, tW 260

Cálculos de las dimensiones geométricas del techo:

- Diámetro interior del tanque, $D = 19,30 \text{ m}$
- Radio cúpula, $a = \left(\frac{D}{1000}\right) \times 1,5 = 28,95 \text{ m}$
- Altura cúpula, $h = 1,666 \text{ m}$
- Número mínimo de correas = 33 unidades
- Numero de correas adoptado, $n = 34$ unidades
- Espesor de la chapa del techo, $td = 5 \text{ mm}$
- Superficie esférica, $Ac = 3,1415 \times a \times h \times 2 = 303,02 \text{ m}^2$
- Superficie proyectada en plano horizontal, $Ah = \text{sección horizontal} = 292,55 \text{ m}^2$
- $\frac{Ac}{Ah} = 1,04$

Cálculos de abolladura de la chapa del techo:

- Separación de correas, $br = \frac{D \times \pi}{n} = 1,78 \text{ m}$
- Longitud de abolladura forzada, $IB = br \times \left(1 - \frac{\pi}{n}\right) = 1,62 \text{ m}$
- Ratio espesor chapa techo/radio cúpula, $f = \left(\frac{10}{a}\right) \times td = 1,73$
- Factor de abolladura, $K = \frac{1000 \times IB^2}{58,4 \times a \times td} = 0,31 < 1$
- Presión de abolladura $105f^2 = 313,21 \text{ kg/m}^2$
- Presión de abolladura adoptada $Pb = 26,3 \times f^2 \times \left(K + \frac{1}{K}\right) = 277,48 \text{ kg/m}^2$
- Factor de seguridad, $\mu = 1,71$
- Ratio presión de abolladura/Factor de seguridad = $\frac{Pb}{\mu} = 162,27 \text{ kg/m}^2$

Cálculo del peso propio de la estructura y sobrecargas:

- Peso total de la estructura, $Q_t = 16.200 \text{ kg}$
- Peso referido a la superficie en planta, $g_r = \frac{Q_t}{\pi r^2} = 55,38 \text{ Kg/m}^2$
- Peso propio de la chapa del techo más las conexiones, $g_h = 42 \text{ Kg/m}^2$
- Metros cuadrados de plataforma = $6 \text{ m}^2 =$ equivale a $1,85 \text{ Kg/m}^2$
- Sobrecargas según API-650, $PA = 150 \text{ Kg/m}^2$
- Carga total = $42 + 1.85 + 150 = 193.85 \text{ Kg/m}^2$

Cálculo de las correas del techo:

- Solicitación máxima de las correas, $PR1 = g_h + PA - \frac{Pb}{\mu} = 29,73 \text{ Kg/m}^2$
- Solicitación máxima de las correas, $PR2 = 0,5 \times (g_h + PA) = 159,74 \text{ Kg/m}^2$
- Carga por correa, $P = \frac{\pi \times D^2 \times PR2}{4000n} = 1,37 \text{ Tn}$
- Ratio superior planta/solicitud de correas, $\beta = \frac{g_r}{PR2} = 0,35$
- Peso propio por correa, $G = \beta \times P = 0,48 \text{ Tn}$.
- Esfuerzo normal debido al peso propio, $NG = \frac{0,513 \times D \times G}{2h} = 1,42 \text{ Tn}$.
- Esfuerzo normal debido a la carga, $NP = \frac{0,375 \times D \times P}{2h} = 2,98 \text{ Tn}$.
- Esfuerzo total de primer orden, $N = NG + NP = 4,40 \text{ Tn}$.
- Momento máximo de primer orden, $Imx = \frac{3 \times P \times D}{2} = 39,77 \text{ Tn cm}$
- Factor para la estructura no soldada al techo, $\beta_1 = 1$
- Momento de inercia mínimo requerido para la correa, $J_x Re q = \frac{\beta_1 \times \mu N \times (\frac{D}{2})^2}{2,07} = 338,42 \text{ cm}^2$
- Momento de inercia, $I_x = 328 \text{ cm}^2$
- Módulo resistente, $W_x = 54,70 \text{ cm}^3$
- Sección, $F = 14,20 \text{ cm}^2$
- Radio de giro mínimo, $i_y = 1,23 \text{ cm}$

- Límite elástico = 275 Mpa
- Tensión de cálculo = 160 Mpa
- Parámetro, $e = \frac{\mu N \times (D/2)^2}{6 I_x} = 0,24$ Mpa
- Momento máximo de 2º orden, $IIM_x = \frac{IM_x}{1-e} = 52,43$ Tn cm
- Esfuerzo máximo de 2º orden, $IIN = 4,40$ Tn
- Esfuerzo por correa, $SR = \frac{IIN}{F} + \frac{IIM_x}{W_x} = 1,27$ Tn/cm²
- Esfuerzo admisible, $\frac{160}{100} = 1,6$ Tn/cm²

Cálculo de los arriostrados del techo:

- Número de anillos intermedios, $n_1 = 2$
- Número de arriostrados, $n_2 = 4$
- Distancia desde la envolvente/cuerpo al primer anillo, $I = \frac{2989+30}{1000} = 3,02$ m
- Distancia desde el primer anillo al centro, $I_1 = \frac{(9869-2989)}{1000} = 6,88$ m
- Distancia desde el centro al último anillo, $s = \frac{840+2989}{1000} + 0,03 = 3,86$ m
- Separación del resto de los anillos, $Sky = \frac{2989}{10} = 298,9$ cm
- Separación máxima admisible de los anillos, $S_{adm} = 3,5$ m
- Esbeltez máxima admisible de la correa 180 cm
- Esbeltez de la correa, $\frac{Sky}{i_y} = 164,23$
- Relación correas arriostradas, $Z = \frac{n}{n_1} = 17$
- Esfuerzo en cada anillo intermedio, $Q = 0,01 \times Z \times N = 0,75$ Tn/cm²
- Sección resistente perfil adoptado, $A = 6,91$ cm²
- Radio de giro mínimo del perfil adoptado, $i_y = 1,82$ cm
- Longitud del primer anillo, $Sk = \frac{200 \times \pi \times I_1}{n} = 127,14$ cm
- Esbeltez primer anillo, $\frac{Sk}{i_y} = 69,86$

- Coeficiente de pandeo, $w = 1,34$
- Esfuerzo en el primer anillo, $\frac{w \times Q}{A} = 0,15 \text{ Tn/cm}^2$

Cálculos de la corona central:

- Corrosión de la chapa de la corona, $C_0 = 1 \text{ mm}$
- Espesor de la corona corroída, $e_o = tT - C_0 = 17 \text{ mm}$
- Radio de la corona, $r_o = 0,1 \times r = 965 \text{ mm}$
- Altura de la correa adoptada, $h_k = \frac{120}{10} = 12 \text{ cm}$
- Altura total del anillo, $h_k + (0,1 e_o) \times 2 = 15,40 \text{ cm}$
- Ancho mínimo de la corona, $b_k = 2 \times h_k = 24 \text{ cm}$
- Sección adoptada de la corona, $F_o = 0,01 \times tW \times e_o = 44,20 \text{ cm}^2$
- Sección mínima de la corona, $F_{min} = \frac{n \times I_x}{\pi h_k^2} = 24,65$
- Ratio, $\theta = \frac{\pi}{n} = 0,09 < 0,3$
- Carga radial en la chapa inferior, $Hu = 0,5N + \left(\frac{HMx}{h_k}\right) = 6,57 \text{ Tn}$.
- Fuerza anular de la chapa inferior, $Ru = \left(\frac{Hu}{2\theta}\right) = 35,55 \text{ Tn}$.
- Momento producido, $Mu = \frac{0,05\theta \times r_o \times Hu}{3+\theta^2} = 9,73 \text{ Tn cm}$
- Módulo resistente chapa inferior, $Wu = \frac{0,001e_o \times tW^2}{6} = 191,53 \text{ cm}^3$
- Esfuerzo de la chapa inferior, $SR = \frac{Ru}{F_o} + \frac{Mu}{Wu} = 0,86 \text{ Tn/cm}^2$
- Esfuerzo máximo admisible $1,60 \text{ Tn/cm}^2$

4.4 Envoltente/cuerpo

Como ya comentamos anteriormente en el apartado 3.3.1 *Cálculo de espesores del cuerpo por el método de un pie* en nuestro tanque vamos a usar este método para calcular el espesor mínimo de la chapa.

$$td = \frac{0.0005D(H - 30.48)G}{Sd} + C \qquad tt = \frac{0.0005D(H - 30.48)}{St} + C$$

Cálculo la virola 1, V1:

- Altura virola = 2 m
- Altura de la virola en el tanque = 12 m
- $t_d = 8,347$ mm
- $t_t = 6,287$ mm
- $t_{min} = 8,347$ mm
- t adoptado (espesor de la virola a colocar) = 9 mm

Cálculo la virola 2, V2:

- Altura virola = 2 m
- Altura de la virola en el tanque = 10 m
- $t_d = 7,193$ mm
- $t_t = 5,212$ mm
- $t_{min} = 7,193$ mm
- t adoptado (espesor de la virola a colocar) = 8 mm

Cálculo la virola 3, V3:

- Altura virola = 2 m
- Altura de la virola en el tanque = 8 m
- $t_d = 6,040$ mm
- $t_t = 4,137$ mm
- $t_{min} = 6,040$ mm
- t adoptado (espesor de la virola a colocar) = 7 mm

Cálculo la virola 4, V4:

- Altura virola = 2 m
- Altura de la virola en el tanque = 6 m
- $t_d = 4,887$ mm
- $t_t = 3,063$ mm

- $t_{min} = 6 \text{ mm}$
- t adoptado (espesor de la virola a colocar) = 6 mm

Cálculo la virola 5, V5:

- Altura virola = 2 m
- Altura de la virola en el tanque = 4 m
- $t_d = 3,734 \text{ mm}$
- $t_t = 1,988 \text{ mm}$
- $t_{min} = 6 \text{ mm}$
- t adoptado (espesor de la virola a colocar) = 6 mm

Cálculo la virola 6, V6:

- Altura virola = 2 m
- Altura de la virola en el tanque = 2 m
- $t_d = 2,580 \text{ mm}$
- $t_t = 0,913 \text{ mm}$
- $t_{min} = 6 \text{ mm}$
- t adoptado (espesor de la virola a colocar) = 6 mm

4.5 Rigidizadores secundarios para el viento

Como ya hemos comentado en el apartado 3.6.2 *Cálculo de los rigidizadores para el viento*, primero vamos a calcular la altura transformada en las virolas y después la máxima altura del cuerpo sin rigidizar para comprobar si nuestro tanque necesita de rigidizadores secundarios para el viento.

Cálculo de la altura transformada del cuerpo.

$$W_{tr} = W \sqrt{\left(\frac{t_{unif}}{t_{act}}\right)^5}$$

Virola 1, V1:

- $W = 2000 \text{ mm}$
- $t_{act} = 9 \text{ mm}$

- $t_{unif} = 6 \text{ mm}$
- $W_{tr} = 725,77$

Virola 2, V2:

- $W = 2000 \text{ mm}$
- $t_{act} = 8 \text{ mm}$
- $t_{unif} = 6 \text{ mm}$
- $W_{tr} = 974,28$

Virola 3, V3:

- $W = 2000 \text{ mm}$
- $t_{act} = 7 \text{ mm}$
- $t_{unif} = 6 \text{ mm}$
- $W_{tr} = 1.360,39 \text{ mm}$

Virola 4, V4:

- $W = 2000 \text{ mm}$
- $t_{act} = 6 \text{ mm}$
- $t_{unif} = 6 \text{ mm}$
- $W_{tr} = 2.000 \text{ mm}$

Virola 5, V5:

- $W = 2000 \text{ mm}$
- $t_{act} = 6 \text{ mm}$
- $t_{unif} = 6 \text{ mm}$
- $W_{tr} = 2.000 \text{ mm}$

Virola 6, V6:

- $W = 2000 \text{ mm}$
- $t_{act} = 6 \text{ mm}$
- $t_{unif} = 6 \text{ mm}$

- $W_{tr} = 2.000 \text{ mm}$

Con el cálculo de todas las virolas tenemos una altura total transformada de:

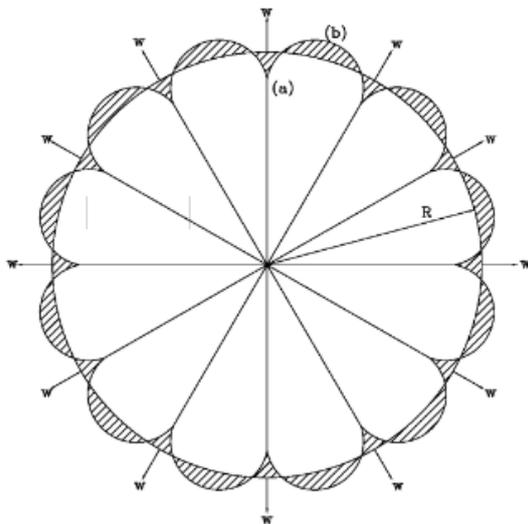
$$W_{tr} = 9.060,44 \text{ mm}$$

Cálculo de la máxima altura del cuerpo sin rigidizar:

$$H_1 = 9.47t \sqrt{\left(\frac{t}{D}\right)^3 \left(\frac{190}{V}\right)^2} = 18,14 \text{ mm}$$

Como la altura total transformada, W_{tr} es menor que la máxima altura del cuerpo sin rigidizar, H_1 , no es necesario instalar ningún tipo de rigidizador en el tanque.

4.6 Aro de coronación en techos cónicos con estructura



$$M_a = \frac{WR}{2} \left(\cot \frac{180}{N} - \frac{N}{\pi} \right)$$

Datos de diseño para el cálculo del aro de coronación:

- Radio del tanque, $R = 9.500 \text{ mm}$
- Número de vigas radiales, $N = 0 \text{ mm}$
- Ángulo con la horizontal, $\alpha = 19,45^\circ$
- Espesor de la última virola corrida, $t_c = t_{unif} - C.A = 4,40 \text{ mm}$
- Espesor del techo corrido, $t_h = t_d - C.A = 5 \text{ mm}$
- Total cargas muertas sobre el techo, $D_L = 53,03 \text{ kg/m}^2$
- Sobrecarga de uso $L_r = 150 \text{ kg/m}^2$

- Presión exterior, $P_e = 0 \text{ kg/m}^2$
- Combinación R – e1 = $D_L + (L_r \text{ or } S_u \text{ or } S_b) + 0,4P_e = 203,03 \text{ kg/m}^2$
- Combinación R – e2 = $D_L + P_e + 0,4x(L_r \text{ or } S_u \text{ or } S_b) = 113,03 \text{ kg/m}^2$
- Combinación mayor, $T = 203,03 \text{ kg/m}^2$

Cálculo de las cargas radiales:

- Carga radial total: $F_R = \frac{Tr^2}{2tg\alpha} = 26.769,15 \text{ kg}$
- Carga radial por viga, $W = \frac{F_R}{n} = 787,33 \text{ kg}$

Cálculo de momentos axiales y cortantes:

- Momento en el punto de carga, $M_a = -117,07 \text{ kg m}$
- Axial en el punto de carga, $T_a = 4.248,44 \text{ kg}$
- Cortante en el punto de carga, $V_a = 393,66 \text{ kg}$
- Momento entre cargas, $M_b = 58,56 \text{ kg m}$
- Axial entre cargas, $T_b = 4.266,64 \text{ kg}$
- Cortante entre cargas, $V_b = 0 \text{ kg}$

Cálculo de comprobación del aro:

- Perfil L-80x8
- Área del perfil, $A = 12,30 \text{ cm}^2$
- Modulo resistente, $W_x = 12,60 \text{ cm}^3$
- Tensión máxima en el aro, $f = \frac{T}{A} \pm \frac{M}{W_x} = 1.274,51 \text{ kg/m}^2$
- Tensión máxima admisible, $S_{\max} = 1.600 \text{ kg/m}^2$

4.7 Estabilidad frente al viento

Cálculos de la estabilidad del tanque frente al viento:

- Velocidad del viento de diseño, $V = 140 \text{ km/h}$
- Presión dinámica de viento para superficie cilíndrica, $qb = 0,86 \times \left(\frac{V}{190}\right)^2 = 0,47 \text{ kpa}$
- Presión dinámica de viento para superficie esférica, $qb' = 1,44 \left(\frac{V}{190}\right)^2 = 0,78 \text{ kpa}$

- Espesor requerido en la unión fondo-virola corroída, $t_b = 6,4 \text{ mm}$
- Límite elástico de las chapas del fondo, $F_{by} = 275 \text{ Mpa}$
- Área de exposición del cuerpo, $A_c = D \times H = 231,6 \text{ m}^2$
- Área de exposición del techo, $A_t = \pi \times r^2 = 292,55 \text{ m}^2$
- Carga horizontal de viento en cuerpo, $F_{wc} = qb \times A_c = 108.139,88 \text{ N}$
- Carga de levantamiento de viento en techo, $F_{wt} = qb' \times A_t = 228.726,17 \text{ N}$
- Momento de viento, $M_w = F_{wc} \times \left(\frac{H}{2}\right) + F_{wt} \times \left(\frac{D}{2}\right) = 2.856.046,83 \text{ Nm}$
- Momento del peso del techo, $MDLR = (PesoTechoCónicoCorroído + PesoConexionesTecho + PesoPlataforma) \times 10 \times \frac{D}{2} = 1.149.612,71 \text{ Nm}$
- Momento del peso de cuerpo, $MDL = PesoCuerpoCorroído \times 10 \times \frac{D}{2} = 3.078.596,15 \text{ Nm}$
- Peso líquido, $w_l = 59t_b \times \sqrt{F_{by} \times H} = 21.691,47 \text{ Nm}$
- Momento del peso del líquido, $M_f = w_l \times LongitudPerimetral \times \left(\frac{D}{2}\right) = 12.691.806,75 \text{ Nm}$
- Momento de la fuerza horizontal del viento, $M_{ws} = F_{wc} \times \left(\frac{H}{2}\right) = 648.839,27 \text{ Nm}$
- Factor de combinación de presión, $F_p = 0,4$
- $0,6M_w + M_{pi} = 1.713.628,10 \text{ Nm}$
- $M_w + F_{px}M_{PI} = 2.856.046,83 \text{ Nm}$
- $\frac{MDL}{1,5} + MDLR = 3.202.010,14 \text{ Nm}$
- $\frac{MDL+M_f}{2} + MDLR = 9.034.814,16 \text{ Nm}$
- $M_{ws} + F_{px}M_{Pi} = 648.839,27 \text{ Nm}$
- Fuerza de rozamiento, $F_r = 0,4 \times 10 \times PesoTanqueVacio = 332.342,31 \text{ N}$

4.8 Cálculo sísmico

Cálculo de determinación de los coeficientes del espectro de respuesta de aceleraciones:

- Como el tanque NO esta anclado : $R_{wi} = 3,5$ y $R_{wc} = 2$

- Coeficiente de amplificación, $K = 1,50$
- Coeficiente de aceleración de diseño, $A_a = 0,1 \text{ gs}$
- Coeficiente de aceleración de diseño, $A_v = 0,15 \text{ gs}$
- Coeficiente de importancia, $I = 1,25$
- Coeficiente $F_a = 1,6$
- Coeficiente $F_v = 2,2$
- Factor de amortiguamiento 5%
- Producto $A_a \times F_a \times I = 0,2$
- Producto $A_v \times F_v \times I = 0,4125$
- Período característico del espectro de respuesta, $T_c = \frac{0,48 \times A_v \times F_v}{A_a \times F_a} = 0,990 \text{ s}$
- Período característico del espectro de respuesta, $T_L = 2,4 \times F_v = 5,280 \text{ s}$
- $K_s = \frac{0,578}{\sqrt{\tanh\left(\frac{3,68H}{D}\right)}} = 0,58$
- Período impulsivo, $T_i = 0,2 \text{ s}$
- Período del primer modo, $T_{c1} = 1,8 \times K_s \times \sqrt{D} = 4,62 \text{ s}$
- Espectro de respuesta elástica en período impulsivo, $S_a(T_i) = 2,5 \times (A_v \times F_a \times I) = 0,5 \text{ s}$
- Espectro de respuesta elástica en período = 1s, $S_a(1) = 0,53 \text{ s}$
- Parámetro relacionado con el espectro de respuesta elástica de aceleración amortiguado al 5% del crítico, en el p. impulsivo, $S_{DS} = S_a(T_i)$
- Parámetro relacionado con el espectro de respuesta elástica de aceleración amortiguado al 5% del crítico, en $T = 1\text{s}$, $S_{D1} = S_a(1)$
- Coeficiente de aceleración impulsiva, $A_i = S_{DS} \left(\frac{I}{R_{wi}}\right) = 0,143$
- Coeficiente de aceleración conectiva, $A_c = K S_{D1} \times \left(\frac{1}{T_c}\right) \times \left(\frac{I}{R_{wc}}\right) = 0,086$
- Coeficiente de aceleración vertical, $A_{v1} = A_c \times 0,7 = 0,060$

Cálculo de las alturas de los puntos de aplicación de las cargas de diseño:

- Cociente, $\frac{D}{H} = 1,61$

- Peso total del contenido del tanque, $W_p = 35.106.355 \text{ N}$

- Peso efectivo impulsivo, $W_i = \frac{\tanh\left(0,866\frac{D}{H}\right)}{0,866\frac{D}{H}} W_p = 22.276.164 \text{ N}$

- Peso efectivo conectivo, $W_c = 0.230\left(\frac{D}{H}\right)\tanh\left(\frac{3.67H}{D}\right)W_p = 12.718.501 \text{ N}$

- Altura del punto de aplicación de la fuerza sísmica lateral conectiva,

$$X_c = \left[1 - \frac{\cosh\left(\frac{3.67H}{D}\right) - 1}{\frac{3.67H}{D} \sinh\left(\frac{3.67H}{D}\right)} \right] H = 7,72 \text{ m}$$

- Altura del punto de aplicación de la fuerza sísmica lateral impulsiva,

$$X_i = 0.375H = 4,50 \text{ m}$$

- Altura del punto de aplicación de la fuerza sísmica lateral conectiva,

$$X_{cs} = \left[1 - \frac{\cosh\left(\frac{3.67H}{D}\right) - 1.937}{\frac{3.67H}{D} \sinh\left(\frac{3.67H}{D}\right)} \right] H = 8,73 \text{ m}$$

- Altura del punto de aplicación de la fuerza sísmica lateral impulsiva,

$$X_{is} = 0.375 \left[1 + 1.333 \left(\frac{0.866\frac{D}{H}}{\tanh\left(0.866\frac{D}{H}\right)} - 1 \right) \right] H = 7,95 \text{ m}$$

Cálculo de los momentos de vuelco:

- Peso total del cuerpo incluidos accesorios, $W_s = \text{PesoEnvolvente} + \text{PesoTotalAccesoriosCuerpo} \times 10 = 471.131 \text{ N}$
- Peso total del techo incluida estructura, accesorios y el 10% de la carga de nieve, $W_r = 156.171 \text{ N}$
- Altura desde el fondo del tanque hasta el centro de gravedad del cuerpo, $X_s = 5,48 \text{ m}$

- Altura desde la parte superior del cuerpo al centro de gravedad del techo, $X_r = 13 \text{ m}$

- Momento sobre el anillo,

$$M_{rW} = \sqrt{[A_i(W_i X_i + W_s X_s + W_r X_r)]^2 + [A_c(W_c X_c)]^2} = 17.180.772,8 \text{ N m}$$

- Momento sobre la placa,

$$M_s = \sqrt{[A_i(W_i X_{is} + W_s X_s + W_r X_r)]^2 + [A_c(W_c X_{cs})]^2} = 27.664.526,1 \text{ N m}$$

Cálculo de la resistencia al vuelco:

- Peso específico, incluyendo efectos de sismo vertical,

$$G_e = G(1 - 0.4A_v) = 0,98$$

- Límite elástico del anillo del fondo, $F_y = 275 \text{ Mpa}$

- Espesor del fondo corroído debajo del cuerpo, $t_a = 6,4 \text{ mm}$

- $201,1 \times H \times D \times G_e = 45.456,47 \text{ N m}$

- Fuerza resistente del tanque lleno por unidad de longitud de circunferencia usada para resistir el momento de vuelco,

$$w_a = 99t_a \sqrt{F_y H G_e} \leq 1.96 H D G_e = 35.957,93 \text{ N m}$$

- Peso del techo actuando en el cuerpo incluido el 10% de la carga de nieve,

$$W_{rs} = \frac{W_r}{\text{Longitud Perimetral}} = 2.575,69 \text{ N m}$$

- Peso del tanque y del techo que actúa en la base,

$$w_t = \left(\frac{W_s}{\pi D} + w_{rs} \right) = 10.345,93 \text{ N m}$$

- Ratio de anclaje, $J = \frac{M_{rW}}{D^2(w_t(1 - 0.4A_v) + w_a - 0.4w_{int})} = 1$

Cálculo de la estabilidad a compresión de la membrana del cuerpo:

- Espesor del fondo corrido, $t_s = \text{Espesor Chapa Fondo} - C.A = 6,4 \text{ mm}$

- Máxima tensión de compresión longitudinal,

$$\sigma_c = \left(\frac{w_t(1 + 0.4A_v) + w_a}{0.607 - 0.18667[J]^{2.3}} - w_a \right) \frac{1}{1000t_s} = 11,713 \text{ Mpa}$$

- Espesor de la primera virola, t (corroída) = $t_{adop_{V1}} - C.A = 7,4 \text{ mm}$
- $\frac{GHD^2}{t^2} = 81,63$
- Límite elástico de las chapas del cuerpo, $Fty = Fy = 275 \text{ Mpa}$
- $0,5 \times Fty = 137,5 \text{ Mpa}$
- Tensión admisible a compresión, $\frac{GHD^2}{t^2} \geq 44 \Rightarrow F_c = \frac{83t_s}{D} = 31,82 \text{ Mpa}$

Cálculo de la carga por cortante:

- Peso del fondo, $Wf = \text{PesoFondo} \times 10 = 168.346,9 \text{ N}$
- Cortante impulsivo, $V_i = A_i(W_s + W_r + W_f + W_i) = 3.295.973,2 \text{ N}$
- Cortante conectivo, $V_c = A_c W_c = 1.090.639,4 \text{ N}$
- Cortante total, $V = \sqrt{V_i^2 + V_c^2} = 3.471.733,6 \text{ N}$

4.9 Cargas

Cálculo de las cargas sobre fundaciones, nuevo y corrido:

	NUEVO	CORROIDO
Diámetro nominal del tanque, (D)	19,30 m.	19,30 m.
Altura de la parte cilíndrica, (HC)	12,00 m.	12,00 m.
Altura máxima de producto, (HII)	12,00 m.	12,00 m.
Superficie horizontal, (A)	292,55 m ² .	292,55 m ² .
Longitud perimetral del tanque, (LP)	60,63 m.	60,63 m.
Sobrecarga (Nieve + otros), (Sn)	150 Kg/m ²	150 Kg/m ²
Momento de vuelco por viento, (Mv)	N.A. Kg*m	285.605 Kg*m
Momento de vuelco por sismo, (Ms)	1.718.077 Kg*m	- Kg*m
Peso específico agua prueba, (pea)	1	1
Peso específico de producto, (pep)	1,000	1,000
Peso envolvente + accesorios, (Pe)	47.113 Kg.	37.661 Kg.
Peso del techo + accesorios, (Pt)	28.653 Kg.	29.027 Kg.
Peso del fondo + accesorios, (Pf)	20.355 Kg.	15.601 Kg.
Peso máximo del agua, (PMA)	12.000 Kg/m ²	12.000 Kg/m ²
Peso máximo del contenido, (PMC)	12.000,000 Kg/m ²	12.000,000 Kg/m ²
Presión sobre el fondo, Pfondo	0 Kg	0 Kg

Cálculo de las acciones del techo sobre la envolvente/cuerpo nuevo:

- Peso propio, $Pt_2 = Pt_{nuevo} = 28.653 \text{ kg}$
- Sobrecarga, $Pt'_2 = Sn_{nuevo} \times A_{nuevo} = 43.883 \text{ kg}$

Cálculo de las acciones del techo sobre la envolvente/cuerpo corroído:

- Peso propio, $Pt_3 = Pt_{corroído} = 29.027 \text{ kg}$
- Sobrecarga, $Pt'_3 = Pt'_2 = 43.883 \text{ kg}$

Cálculo de acciones sobre el fondo:

$$- qf = PMC + \frac{Pf + Pfondo}{A} =$$

Nuevo	Corroído
12070 Kg/m ²	12053 Kg/m ²

$$- qf' = PMA + \frac{Pf}{A} =$$

Nuevo	Corroído
12070 Kg/m ²	N.A.

Cálculo de acciones periféricas:

$$- Q1 = \frac{Pe + Pt2}{LP} =$$

Nuevo	Corroído
1.250 Kg/m	1.100 Kg/m

$$- Q2 \frac{Pt'_2}{LP} =$$

Nuevo	Corroído
724 kg/m	724 kg/m

Acciones de viento, sismo y presión inferior nuevo:

- Momento de sismo = 1.718.077 kg m
- Fuerza horizontal de sismo = 347.173,4 kg

Acciones de viento, sismo y presión inferior corroído:

- Momento de viento = 285.605 Kg m
- Fuerza horizontal de viento = 10.813,99 kg

4.10 Venteo

Cálculo de la ventilación atmosférica:

- Volumen geométrico, $Vtk = 3510,64 \text{ m}^3$
- Espesor de aislamiento, $lin = 0,1 \text{ m}$
- Coeficiente de calor interior, $h = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Conductividad térmica del aislamiento, $\lambda_{in} = 0,035 \text{ W/m}^2$
- Con aislamiento, $R_{in} = \frac{1}{1 + \frac{hl_{in}}{\lambda_{in}}} = 0,08$

- Factor Y para la latitud 0,32
- Factor C para la latitud, 6,5
- Caudal de llenado, $V_{pf} = 1000 \text{ m}^3/\text{h}$
- Caudal de vaciado, $V_{pe} = 600 \text{ m}^3/\text{h}$

Cálculo de requerimientos por ventilación:

- En sobrepresión: $\dot{V}_{OT} = YV_{tk}^{0.9} R_i = 39,96 \text{ m}^3/\text{h}$
- En vacío: $\dot{V}_{IT} = CV_{tk}^{0.7} R_i = 158,59 \text{ m}^3/\text{h}$
- Entrada de producto: $\dot{V}_{OP} = \dot{V}_{pf} = 1000 \text{ m}^3/\text{h}$
- Salida de producto: $\dot{V}_{IP} = \dot{V}_{pe} = 600 \text{ m}^3/\text{h}$

Requerimientos totales de venteo:

- Por sobrepresión: $\dot{V}_{OT} + \dot{V}_{OP} = 1040 \text{ m}^3/\text{h}$
- Por vacío: $\dot{V}_{IT} + \dot{V}_{IP} = 758,6 \text{ m}^3/\text{h}$

5. Presupuesto

Seguidamente vamos a detallar el precio de los materiales y accesorios necesarios para la construcción del tanque en dos apartados.

- Coste de las chapas que componen el tanque; fondo, envolvente/cuerpo y techo.
- Coste de los accesorios y otros elementos constructivos
- Coste de sueldos, transporte del material y consumibles
- Coste total del tanque

5.1 Coste de las chapas del tanque

Tenemos que tener en cuenta que la densidad del material del acero al carbono S-275 JR es de 8000 kg/m³ así que para el cuerpo/envolvente, fondo y techo vamos a necesitar:

PIEZA	CANTIDAD	CHAPAS			PRECIO (€/Kg.)	PESO (Kg.)	COSTE
		LARGO (mm.)	ANCHO (mm.)	ESPESOR (mm.)			
CUERPO	6	10100	2000	9	0,75	8726	6.544,80 €
CUERPO	6	10100	2000	8	0,75	7757	5.817,60 €
CUERPO	6	10100	2000	7	0,75	6787	5.090,40 €
CUERPO	18	10100	2000	6	0,75	17453	13.089,60 €
FONDO	6	12000	2000	8	0,75	9216	6.912,00 €
FONDO	3	11177	2000	8	0,75	4292	3.218,98 €
FONDO	1	11680	2000	8	0,75	1495	1.121,28 €
FONDO	1	10378	2000	8	0,75	1328	996,29 €
FONDO	1	7078	2000	8	0,75	906	679,49 €
FONDO	2	11487	2000	8	0,75	2941	2.205,50 €
FONDO	1	8656	2000	8	0,75	1108	830,98 €
TECHO	4	7867	2000	10	0,75	5035	3.776,16 €
TECHO	4	10017	2000	10	0,75	6411	4.808,16 €
TECHO	4	8057	2000	10	0,75	5156	3.867,36 €

TECHO	1	7923	2000	10	0,75	1268	950,76 €
TECHO	1	11430	2000	10	0,75	1829	1.371,60 €
TECHO	2	11325	2000	10	0,75	3624	2.718,00 €
TECHO	2	9649	2000	10	0,75	3088	2.315,76 €
					TOTAL	88420	66.314,71 €

El precio total del coste de las chapas es de: 66.314,71 €

5.2 Coste de los accesorios y otros elementos constructivos

El coste total de los accesorios y otros elementos se muestran en la siguiente tabla:

PIEZA	IMPORTE
VALVULAS	2.808,00 €
REJILLAS	1.105,17 €
BOQUILLAS	73,50 €
ESPARRAGOS	145,41 €
ACCESORIOS	275,01 €
JUNTAS	750,27 €
PERFILES	10.386,64 €
TUBERIA	1.695,59 €
TRATAMIENTO SUPERFICIES	11.864,00 €
CURVADO	786,60 €
ABARCONES	454,58 €
FONDOS	690,00 €
TUBERIA Y ACCESORIOS	7.881,34 €
COMPENSADOR	699,20 €
BRIDAS	69,99 €
REDUCCION	27,65 €
TOTAL	39.712,95 €

El precio total del coste de los accesorios y otros elementos es de: 39.712,95 €

Esto nos da que el precio total de los materiales para construir el tanque es de:

$$66.314,71 + 39.712,95 = 106.027,66 \text{ €}$$

5.3 Coste de sueldos, transporte y consumibles

Los trabajadores trabajan por Kilogramos al día, por eso hay que tener en cuenta el peso total del tanque:

Total peso accesorios del cuerpo	5758 kg
Envolvente/cuerpo	41355 kg
Techo	11865 kg
Estructura del techo	3164 kg
Conexiones en el techo	48 kg
Plataforma	540 kg
Total accesorios del techo	588 kg
Fondo	16835 kg
Anillo perimetral del fondo	3521 kg
TOTAL	83674 kg

Para esta obra, vamos a necesitar 4 montadores y 4 soldadores, cada uno con un sueldo mensual de 1800 € más 80 € al día por movilidad más el sueldo a ingeniería quedará:

1 persona en una hora hace	32 kg
8 personas en una hora hacen	256 kg
La jornada es de 8 horas, por lo que en un día se construyen	2048 kg
Entonces el total del tanque (83674 kg) entre los kilos al día	41 días de construcción

El sueldo es de 1800€ al mes más los 11 días, el total será	19680 €
Mas 80€ por día de movilidad los 41 días	26240 €
Sueldo a ingeniería por el proyecto	5000 €
TOTAL EN SUELDOS	50920 €

El material será preparado en el taller, en España, y del taller se transportará con contenedores a Colombia hasta la planta de Guadalay, por lo que:

Coste del transporte de España a la planta Guadalay	5000 €
Cada contenedor transporta	20000 kg
Contenedores necesarios	5 contenedores
Coste total del transporte del material	25000 €

También tendremos un coste en lo que se refiere a los consumibles de trabajo:

Coste por consumibles (electrodos, discos de radial y varios	0,1 €/kg
COSTE TOTAL POR CONSUMIBLES	8367,4 €

Por lo tanto, el coste total entre sueldos, transporte y consumibles es de:

$$50920 + 25000 + 8367,4 = 84287,4 \text{ €}$$

5.4 Coste total del tanque

Entonces nos quedará, entre la suma de las chapas, accesorios y demás complementos y con los costes de sueldos, transporte y consumibles un total de:

$$66.314,71 + 39.712,95 + 84.287,4 = 190.315,06 \text{ €}$$

El coste total del tanque es de ciento noventa mil trescientos quince euros con seis céntimos.

Alcoy, a 6 de octubre de 2016

Firma del proyectista:

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'D' followed by a smaller, more intricate signature.

6. Pliego de Condiciones Técnicas

6.1 Definición y condiciones de las partidas de obra ejecutadas

Formación de elementos estructurales con perfiles normalizados de acero, utilizados directamente o formando piezas compuestas.

Se han considerado los siguientes elementos:

- Elementos estructurales.
- Correas.
- Rigidizadores.

Se han considerado los siguientes tipos de perfiles:

- Perfiles de acero laminado en caliente, de las series IPN, IPE, HEA, HEB, HEM o UPN, de acero S275JR, S275J0, S275J2, S355JR, S355J0 o S355J2, según EAE-2011, UNE-EN 10025-2.
- Perfiles de acero laminado en caliente de las series L, LD, redondo, cuadrado, rectangular o plancha, de acero S275JR, S275J0, S275J2, S355JR, S355J0 o S355J2, según EAE-2011, UNE-EN 10025-2.

Se han considerado los acabados superficiales siguientes:

- Pintado con una capa de imprimación antioxidante

Se han considerado los siguientes tipos de colocación:

- Colocación con soldadura
- Colocación con tornillos

CONDICIONES GENERALES:

Los materiales utilizados tendrán una calidad establecida. No tendrán modificaciones sin autorización, aunque supongan un incremento de las características mecánicas. La pieza estará colocada en la posición indicada, con las modificaciones aprobadas. La pieza estará correctamente aplomada y nivelada. Cuando la pieza sea compuesta, la disposición de los diferentes elementos de la pieza, sus dimensiones, tipo de acero y perfiles, se corresponderán con las indicaciones según manual.

Cada componente de la estructura llevará una marca de identificación que debe ser visible después del montaje. Esta marca no estará hecha con entalladura cincelada. La marca de identificación indicará la orientación de montaje del componente estructural cuando no se deduzca claramente de su forma. Los elementos de fijación, y las chapas, placas pequeñas y accesorios de montaje irán embalados e identificados adecuadamente.

Los cantos de las piezas no tendrán óxido adherido, rebabas, estrías o irregularidades que dificulten el contacto con el elemento que se unirá. El elemento no se enderezará

una vez colocado definitivamente. No se permite rellenar con soldadura los agujeros que han sido practicados en la estructura para disponer tornillos provisionales de montaje.

COLOCACIÓN CON TORNILLOS:

- Se utilizarán tornillos normalizados de acuerdo a las normas recogidas en la tabla 29.2.b de la EAE.
- Los tornillos avellanados, tornillos calibrados, pernos articulados y los tornillos hexagonales de inyección se utilizarán siguiendo las instrucciones de su fabricante y cumplirán los requisitos adicionales establecidos en el artículo 29.2 de la EAE.
- La situación de los tornillos en la unión será tal que reduzca la posibilidad de corrosión y pandeo local de las chapas, y facilite el montaje y las inspecciones.
- El diámetro nominal mínimo de los tornillos será de 12 mm.
- La rosca puede estar incluida en el plano de corte, excepto en el caso que los tornillos se utilicen como calibrados.
- Después del apriete la espiga del tornillo debe sobresalir de la rosca de la tuerca.

Entre la superficie de apoyo de la tuerca y la parte no roscada de la espiga habrá, como mínimo:

- En tornillos pretensados: 4 filetes completos más la salida de la rosca
- En tornillos sin pretensar: 1 filete completo más la salida de la rosca
- Las superficies de las cabezas de tornillos y tuercas estarán perfectamente planas y limpias.
- En los tornillos colocados en posición vertical, la tuerca estará situada por debajo de la cabeza del tornillo.
- En los agujeros redondos normales y con tornillos sin pretensar no es necesario utilizar arandelas. Si se utilizan irán bajo la cabeza de los tornillos, serán achaflanadas y el chaflán estará situado hacia la cabeza del tornillo.

En los tornillos pretensados, las arandelas serán planas endurecidas e irán colocadas de la siguiente forma:

- Tornillos 10.9: debajo de la cabeza del tornillo y de la tuerca
- Tornillos 8.8: debajo del elemento que gira

COLOCACION CON SOLDADURA:

El material de aportación utilizado será apropiado a los materiales a soldar y al procedimiento de soldadura. Las características mecánicas del material de aportación

serán superiores a las del material base. En aceros de resistencia mejorada a la corrosión atmosférica, la resistencia a la corrosión del material de aportación será equivalente a la del material base. El pliego de prescripciones técnicas particulares definirá el sistema de protección frente a la corrosión.

6.2 Condiciones del proceso de ejecución

CONDICIONES GENERALES:

- El constructor elaborará los planos de taller y un programa de montaje que serán aprobados, antes de iniciar los trabajos en obra.
- Cualquier modificación durante los trabajos ha de aprobarse y reflejarse posteriormente en los planos de taller.
- Los componentes estructurales se manipularán evitando que se produzcan deformaciones permanentes y procurando que los desperfectos superficiales sean mínimos. Se protegerán en los puntos de sujeción.
- Todo subconjunto estructural que durante las operaciones de carga, transporte, almacenamiento y montaje experimente desperfectos, se reparará hasta que sea conforme.
- Si durante el transporte el material ha sufrido desperfectos que no puedan ser corregidos o se prevea que después de arreglarlos afectará a su trabajo estructural, la pieza será sustituida.
- Los componentes de la estructura se almacenarán apilados sobre el terreno sin estar en contacto con el suelo y de forma que no se produzca acumulación de agua.
- El montaje de la estructura se hará de acuerdo con el programa de montaje y garantizando la seguridad estructural en todo momento.
- Durante las operaciones de montaje, la estructura resistirá, en condiciones de seguridad, las cargas provisionales de montaje y los efectos de las cargas de viento.
- Las uniones para piezas provisionales necesarias para el montaje se harán de forma que no debiliten la estructura ni disminuyan su capacidad de servicio.
- La sección del elemento no quedará disminuida por los sistemas de montaje utilizados.
- Los dispositivos de anclaje provisionales se asegurarán para evitar que se aflojen de forma involuntaria.
- Durante el proceso de montaje, el constructor garantizará que ninguna parte de la estructura esté deformada o sobrecargada permanentemente por el apilamiento de materiales estructurales o por cargas provisionales de montaje.
- La preparación de las uniones que se realicen en obra se harán en taller.

- Los desperfectos que las operaciones de almacenamiento y manipulación ocasionen en el acabado superficial de la estructura se repararán con procedimientos adecuados.
- Los elementos de fijación y anclaje dispondrán de protección adecuada a la clase de exposición ambiental.
- Las estructuras con planchas y piezas delgadas conformadas en frío se ejecutarán considerando los requisitos adicionales de la UNE-ENV 1090-2.
- Las estructuras con aceros de alto límite elástico se ejecutarán considerando los requisitos adicionales de la UNE-ENV 1090-3.

COLOCACION CON TORNILLOS:

- Los agujeros para los tornillos se harán con taladradora mecánica. Se admite otro procedimiento siempre que proporcione un acabado equivalente.
- Se recomienda que, siempre que sea posible, se taladren de una sola vez los huecos que atraviesen dos o más piezas.
- Los agujeros alargados se realizarán mediante una sola operación de punzonado, o con la perforación o punzonado de dos agujeros y posterior oxicorte.
- Después de perforar las piezas y antes de unir las se eliminarán las rebabas.
- Los tornillos y las tuercas no se deben soldar, a menos que lo explicita el pliego de condiciones técnicas particulares.
- Se colocarán el número suficiente de tornillos de montaje para asegurar la inmovilidad de las piezas armadas y el contacto íntimo de las piezas de unión.
- Las tuercas se montarán de manera que su marca de designación sea visible después del montaje.
- En los tornillos sin pretensar, cada conjunto de tornillo, tuerca y arandela(as) se apretará hasta llegar al "apretado a tope" sin sobretensar los tornillos. En grupos de tornillos este proceso se hará progresivamente empezando por los tornillos situados en el centro. Si es necesario se harán ciclos adicionales de apriete.
- Antes de empezar el pretensado, los tornillos pretensados de un grupo se apretarán de acuerdo con lo indicado para los tornillos sin pretensar. Para que el pretensado sea uniforme se harán ciclos adicionales de apriete.

COLOCACION CON SOLDADURA:

Los procedimientos autorizados para realizar uniones soldadas son:

- Por arco eléctrico manual electrodo revestido

En obra y a disposición del personal encargado de soldar habrá un plan de soldeo, que

incluirá, como mínimo, detalle, dimensiones y tipo de las uniones, especificaciones de los tipos de electrodos y precalentamiento, secuencia de soldadura, limitaciones a la soldadura discontinua y comprobaciones intermedias, giros o vueltas de las piezas necesarias para la soldadura, detalle de las fijaciones provisionales, disposiciones frente al desgarro laminar, referencia al plano de inspección y ensayos, y todos los requerimientos para la identificación de las soldaduras.

- Las soldaduras se harán protegidas de los efectos directos del viento, de la lluvia y de la nieve.
- Las soldaduras se harán por soldadores certificados por un organismo acreditado y cualificados según la UNE-EN 287-1.
- La coordinación de las tareas de soldadura se realizará por soldadores cualificados y con experiencia en el tipo de operación que supervisan.
- Antes de empezar a soldar se verificará que las superficies y bordes a soldar son apropiados al proceso de soldadura y que están libres de fisuras.
- Todas las superficies a soldar se limpiarán de cualquier material que pueda afectar negativamente la calidad de la soldadura o perjudicar el proceso de soldeo. Se mantendrán secas y libres de condensaciones.
- Los componentes a soldar estarán correctamente colocados y fijos en su posición mediante dispositivos apropiados o soldaduras de punteo, de manera que las uniones a soldar sean accesibles y visibles para el soldador.
- No se introducirán soldaduras adicionales.
- El montaje de la estructura se hará de manera que las dimensiones finales de los componentes estructurales estén dentro de las tolerancias establecidas.
- Los dispositivos provisionales utilizados para el montaje de la estructura, se retirarán sin dañar las piezas.
- Las soldaduras provisionales se ejecutarán siguiendo las especificaciones generales. Se eliminarán todas las soldaduras de punteo que no se incorporen a las soldaduras finales.
- Cuando el tipo de material del acero y/o la velocidad de enfriamiento puedan producir un endurecimiento de la zona térmicamente afectada se considerará la utilización del precalentamiento. Éste se extenderá 75 mm en cada componente del metal base.
- No se acelerará el enfriamiento de las soldaduras con medios artificiales.
- Los cordones de soldadura sucesivos no producirán muescas.
- Después de hacer un cordón de soldadura y antes de hacer el siguiente, es necesario limpiar la escoria mediante una piqueta y un cepillo.

- La ejecución de los diferentes tipos de soldaduras se hará de acuerdo con los requisitos establecidos en el apartado 10.3.4 del DB-SE A y el artículo 77 de la EAE
- No se utilizarán materiales de protección que perjudiquen la calidad de la soldadura a menos de 150 mm de la zona a soldar.
- Las soldaduras y el metal base adyacente no se pintarán sin haber eliminado previamente la escoria.

6.3 Unidad y criterios de medición

- El peso unitario para su cálculo será el teórico
- Para poder utilizar otro valor diferente del teórico, es necesaria la aceptación expresa por el órgano competente.
- Este criterio incluye las pérdidas de material correspondientes a recortes.

6.4 Condiciones de control de ejecución y de la obra acabada

CONTROL DE EJECUCIÓN. OPERACIONES DE CONTROL:

Antes del inicio de la ejecución, se verificará que existe un programa de control desarrollado por el constructor, tanto para productos como para la ejecución. Previo al suministro, el constructor presentará la siguiente documentación:

- Acreditación de que el proceso de montaje en taller de los elementos de la estructura posee distintivo de calidad reconocido.
- Acreditación que los productos de acero poseen distintivo de calidad reconocido.
- En procesos de soldadura, certificados de homologación de los soldadores según UNE-EN 2871 y del proceso de soldadura según UNE-EN ISO 15614-1.
- Se comprobará que los productos de acero suministrados por taller a la obra, se acompañan de su hoja de suministro, en caso que no se pueda realizar la trazabilidad de la misma, ésta será rechazada.
- Previa a la ejecución se fabricarán para cada elemento y cada material a cortar, como mínimo cuatro probetas, por parte del control externo de la entidad de control según el artículo 91.2.2.1 de la EAE.
- Se comprobará que las dimensiones de los elementos elaborados en taller son las mismas que las de los planos de taller, considerándose las tolerancias en el pliego de condiciones.

El constructor elaborará la documentación correspondiente al montaje, ésta será aprobada, y como mínimo incluirá:

- Memoria de montaje.
- Planos de montaje.

- Programa de inspección.

Se comprobará la conformidad de todas las operaciones de montaje, especialmente:

- El orden de cada operación.
- Herramientas utilizadas.
- Calificación del personal.
- Trazabilidad del sistema.

UNIONES SOLDADAS:

- Los soldadores deberán estar en posesión de la calificación adecuada conforme al apartado 77.4.2 de la EAE.
- Cada soldador identificará su trabajo con marcas personales no transferibles.
- El soldado se realizará según el apartado 77.4.1 de la EAE, el constructor realizará los ensayos y pruebas necesarias para establecer el método de soldadura más adecuado.
- Antes de realizar la soldadura, se inspeccionarán las piezas a unir según la UNE-EN 970.

UNIONES ATORNILLADAS:

- Se comprobarán los pares de apriete aplicados a los tornillos.
- En el caso de tornillos pretensados se comprobará que el esfuerzo aplicado es superior al mínimo establecido.

UNIONES SOLDADAS:

- Se determinarán las soldaduras que tienen que ser objeto de análisis.
- Los porcentajes indicados pueden ser variados, según criterios, en función de los resultados de la inspección visual realizada y de los análisis anteriores.

UNIONES ATORNILLADAS:

- Se determinarán las uniones que han de ser objeto de análisis.

CONTROL DE EJECUCIÓN. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y ACTUACIONES EN CASO DE INCUMPLIMIENTO:

El taller de fabricación dispondrá de un control dimensional adecuado. Cuando se sobrepase alguna de las tolerancias especificadas en algún control, se corregirá la implantación en obra. Además, se aumentará el control, en el apartado incompleto, hasta un 20% de unidades. Si se encuentran irregularidades, se harán las oportunas correcciones y/o desechos y se hará el control sobre el 100% de las unidades con las oportunas actuaciones según el resultado.

CONTROL DE LA OBRA ACABADA. OPERACIONES DE CONTROL:

Inspección visual de la unidad acabada. En la estructura acabada se realizarán las comprobaciones y pruebas de servicio previstas en el proyecto y/o ordenadas conjuntamente con las exigidas por la normativa vigente.

UNIONES SOLDADAS:

En la estructura acabada se realizarán las comprobaciones y pruebas de servicio previstas en el proyecto y/o ordenadas conjuntamente con las exigidas por la normativa vigente.

Se controlarán todos los cordones de soldadura.

Las soldaduras que durante el proceso de fabricación resulten inaccesibles, serán inspeccionadas con anterioridad.

En el autocontrol de las soldaduras se comprobarán como mínimo:

- Inspección visual de todos los cordones.
- Líquidos penetrantes(LP) según UNE-EN 1289.
- Ultrasonidos(US), según UNE-EN 1714.
- Radiografías(RX), según UNE-EN 12517.

CONTROL DE LA OBRA ACABADA. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y ACTUACIONES EN CASO DE INCUMPLIMIENTO:

- Corrección por parte del contratista de las irregularidades observadas.

UNIONES SOLDADAS:

- No se aceptarán soldaduras que no cumplan con las especificaciones.
- No se aceptarán uniones soldadas que no cumplan con los ensayos no destructivos.
- No se aceptarán soldaduras realizadas por soldadores no cualificados.

Bibliografía

- Welded Tanks for Oil Storage, API STANDARD 650, MARCH 2013
- Process Equipment Desing
Lloyd E. Brawnell.
Edwin H. Young
Editorial John Wiley y Sons
Edición 1959
- Manual de Recipientes a Presión, Diseño y Cálculo.
Eugene F. Megyesy
Editorial Limusa-Noruega.
Séptima Edición
- Procedimiento General para la Fabricación y Montaje de Tanques de Almacenamiento.
Juan Ceja Rodríguez - Contratista
Edición 1980
Tampico, Tamps
- Diseño y Cálculo de Recipientes a Presión
Juan Manuel León Estrada
Edición 1994
- Mecánica de Fluidos
Irving H. Shames
Editorial McGRAW-HILL
3ra edición
- Soldadura con electrodos revestidosde chapas y perfiles de acero al carbono
Oriol Balselles Camprubí
Daniel Sertolín Gil
Editorial marcombo

Anexos

Anexo 1

Cálculo mecánico del tanque de almacenamiento

1.- CARACTERÍSTICAS GENERALES

ITEM	TANQUE
Producto	DIESEL

Capacidad nominal	3.500 m ³
Volumen geométrico	3.510,64 m ³
Volumen de llenado	3.510,64 m ³

DATOS DE DISEÑO

Datos de diseño

Diámetro Interior, D	19.300 mm
Altura del tanque	12.000 mm
Altura máxima de producto, H	12.000 mm
Tipo de techo	Bombeado con Estructura
Tipo de fondo	Fondo con Anillo Perimetral
Peso específico del agua	1
Peso específico del fluido, G	1

Condiciones de diseño

Temperatura de diseño	30 °C
Presión de diseño interna	0,0000 kg/cm ²
Presión de diseño externa	0,0025 kg/cm ²
Presión de prueba	Lleno de agua
Velocidad del viento	140 km/h

Sobrecargas

Sobrecarga de nieve	0 kg/m ²
Sobrecarga de uso	150 kg/m ²
Vacío	0 kg/m ²

Calidades del material

Anillo perimetral	S-275 JR
Cuerpo	S-275 JR
Techo / Fondo	S-275 JR
Tubuladuras	A-106 Gr.B
Bridas	A-105
Perfilería	S-275 JR

Total sobrecargas	150 kg/m ²
-------------------	-----------------------

Características del material

Tensión de diseño, S_d	164 Mpa
Tensión de diseño en prueba, S_t	176 Mpa
Límite elástico, F_y	275 Mpa
Límite elástico de la perfilera, F_y	275 Mpa

2.- ESTUDIO DEL FONDO CON ANILLO PERIMETRAL

Anillo Perimetral

El espesor mínimo de la chapa según la Tabla 3.1 de API-650 es de $t =$ **6 mm.**

Sobreespesor de corrosión **1,6 mm.**

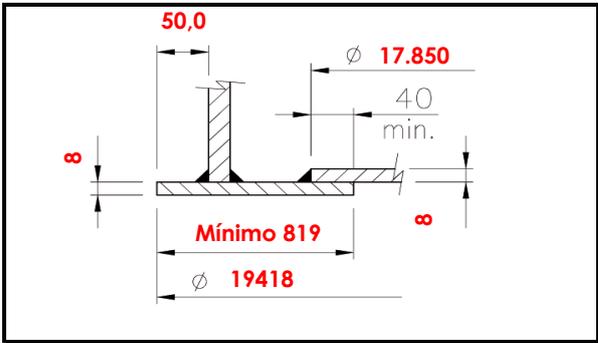
Diámetro Exterior del Anillo	19.418 mm.
Proyección del Fondo lado ext. a la envolvente	50,0 mm.
Números de Anillos Poligonales	16 Und.
Peso del Anillo (incluido soldaduras)	3.521 Kg.

Espesor mínimo incluido corrosión **7,6 mm.**

ESPEJOR ADOPTADO DEL ANILLO, t_b **8 mm.**

Comprobación del ancho mínimo del anillo perimetral

Altura máxima de producto, H	12 m
Peso específico del producto, G	1
$\frac{215t_b}{(HG)^{0.5}} =$	496,5 mm



Diámetro del fondo	17.850 mm.
Peso del fondo (incluido solapes y soldaduras)	16.835 Kg.

Espesor mínimo incluido corrosión **7,6 mm.**

ESPEJOR ADOPTADO DEL FONDO **8 mm.**

3.1.- DISEÑO DE ESTRUCTURA EN TECHO (1/3)

Cálculo de la estructura del techo s/DIN4119

Dimensiones Geométricas

Diámetro del tanque, D	19,30 m.
Radio Cúpula, a (Factor 1,5)	28,95 m.
Altura Cúpula, h	1,666 m.
Número mínimo de correas	33 Und.
Número de correas adoptado	34 Und.
Espesor de la chapa del techo	5,0 mm.
Corrosión admisible en los perfiles	0,0 mm.
Superficie esférica, Ac	303,02 m ²
Superficie proyectada en plano horizontal, Ah	292,55 m ²
Ac/Ah	1,04

s/API 650 5.10.4.4

Carga de abolladura de la chapa de techo

Separación de las correas	$br = \frac{D\pi}{n} =$	1,78 m.
Longitud de abolladura forzada	$IB = br(1 - \frac{\pi}{n}) =$	1,62 m.
Ratio espesor chapa techo/ radio cúpula	$f = (\frac{10}{a}) * td =$	1,73
Factor de abolladura	$K = \frac{1000 * IB^2}{58,4a * td} =$	0,31 <1
Presión de abolladura	$105 f^2 =$	313,21 kg/m ²
Presión de abolladura:	$Pb = 26,3 * f^2 (k + \frac{1}{k}) =$	277,48 kg/cm ²
Presión de abolladura adoptada, Pb		277,48 kg/m ²
Factor de seguridad μ		1,71
Ratio presión de abolladura/ Factor de seguridad		162,27 kg/m ²

Peso propio de la Estructura y Sobrecargas

Peso total de la estructura, Qt	Qt=	16.200 kg.
Peso referido a la superficie en planta:	$gr = \frac{Qt}{\pi r^2} =$	55,38 Kg/m ²
Peso propio de la chapa del techo + Conexiones, gn :		42,00 Kg/m ²
m² de Plataforma	6 m²	1,85 Kg/m ²
Sobrecargas según API-650, PA		150 Kg/m ²
Carga total		193,8 Kg/m ²

Adoptamos un perfil IPN 120

Perfil adoptado para los anillos intermedios L60x6

Perfil adoptado para los arriostros L60x6

Espesor adoptado de la chapa de la corona, **ft 18**

Ancho adoptado para la chapa de la corona, **tw 260**

3.2.- DISEÑO DE ESTRUCTURA EN TECHO (2/3)

Cálculos de las correas

Solicitación máxima de las correas	$PR1 = gh + PA - \frac{Pb}{\mu} =$	29,73 Kg/m ²
Solicitación máxima de las correas	$PR2 = 0,5 * (gh + PA) =$	159,74 Kg/m ²
Tomamos PR=		159,74 Kg/m ²
Carga por correa	$P = \frac{\pi * D^2 * PR}{4000h} =$	1,37 Tn.
Ratio sup. Planta/solicitación correas	$\beta = \frac{gr}{PR} =$	0,35
Peso propio por correa	$G = \beta * P =$	0,48 Tn.
Esfuerzo normal debido a Peso propio	$NG = \frac{0,513 * D * G}{2h} =$	1,42 Tn.
Esfuerzo normal debido a Carga	$NP = \frac{0,375DP}{2h} =$	2,98 Tn.
Esfuerzo total de primer orden	$N = NG + NP =$	4,40 Tn.
Momento Máximo de primer orden	$IMx = \frac{3PD}{2} =$	39,77 Tn*cm
Factor para estructura no soldada al techo	$\beta1 =$	1,0
Momento de inercia mínimo requerido para la correa	$Jx Req = \frac{\beta1 N (\frac{D}{2})^2}{2,07} =$	338,42 cm ⁴

	Nuevo	Corroído
Momento de inercia, Ix	328,00	328,00 cm ⁴
Módulo resistente, Wx	54,70	54,70 cm ³
Sección	14,2	14,20 cm ²
Radio de giro mínimo, iy	1,23	1,23 cm
Material		S-275 JR
Límite elástico		275 Mpa
Tensión de cálculo		160 Mpa
Parámetro, e	$e = \frac{\mu N (\frac{D}{2})^2}{6 Ix} =$	0,24 Mpa
Momento máximo de 2º orden	$IIMx = \frac{IMx}{1 - e} =$	52,43 Tn*cm
Esfuerzo máximo de 2º orden, IIN		4,40 Tn
Esfuerzo por correa	$SR = \frac{IIN}{F} + \frac{IIMx}{Wx} =$	1,27 Tn/cm ²
Esf. Admisible		1,6 Tn/cm ²

Damos por válida las correas

3.3.- DISEÑO DE ESTRUCTURA EN TECHO (3/3)

Cálculos de los arriostros

Número de anillos intermedios, n1	2
Número de arriostros, n2	4 Und.
Distancia desde envolvente al primer anillo l	3,02 m.
Distancia desde el primer anillo al centro l1	6,88 m.
Distancia desde el centro al último anillo s	3,86 m.
Separación resto anillos, Sk_y	298,9 cm.
Separación max. admisible de anillos, S_{adm}	3,5 m.
Esbeltez máxima admisible de la correa	180 cm.
Esbeltez de la correa $Sk_y/i_y=$	164,23
Relación correas arriostros, Z= n/n1	17,00
Esfuerzo en cada anillo intermedio, Q= 0,01*Z*N	0,75 Tn/cm ²
Sección resistente perfil adoptado, A	6,91 cm ²
Radio de giro mínimo del perfil adoptado, i_y	1,82 cm.
Longitud primer anillo, Sk= 200*pi*i1/n	127,14 cm.
Esbeltez primer anillo Sk/i_y	69,86
Coefficiente de pandeo, w	1,34
Esfuerzo en el primer anillo $w*Q/A$	0,15 Tn/cm ²

Damos por válido los arriostros

Cálculos de la corona central

Corrosión chapa de la corona, e_o	1,0 mm.
Espesor de la corona corroída, e_o	17,0 mm.
Radio de la corona, ro=0,1r	965 mm.
Altura de la correa adoptada, h_k	12 cm.
Altura total del anillo $h_k+(0,1e_o)X2$	15,40 cm.
Ancho mínimo de la corona, b_k=2h_k	24 cm
Sección adoptada de la corona, F_o=0,01*W*e_o	44,20 cm ²
Sección mínima de la corona, F_{min}=n*<i>l_y</i>/pi*h_k²	24,65
Ratio $\theta=r/n<0,3$	0,09
Carga radial en la chapa inferior, Hu=0,5N+(l1Mx/hk)	6,57 Tn.
Fuerza anular de la chapa inferior, Ru=Hu/2θ	35,55 Tn
Momento producido, Mu=0,05θ*r_o*H_u/(3+θ²)	9,73 Tn*cm
Módulo resistente chapa inferior W_o=(0,001e_o*T_w²)/6	191,53 cm ³
Esfuerzo de la chapa inferior, SR=(R_u/F_o)+(M_u/W_o)	0,86 Tn/cm ²
Esfuerzo máximo admisible	1,60 Tn/cm ²

Damos por válida la corona central

4.- ESTUDIO DE LA ENVOLVENTE

Según API-650 5.6 el espesor mínimo viene dado por (1-Foot Method):

Datos de Diseño

Diámetro del tanque, D	19,30 m
Altura cilíndrica	12,00 m
Altura de diseño, H	12,00 m
Corrosión Admisible, C.A.	1,60 mm
Gravedad específica de diseño, G	1,000

API-650 5.6.3.2

Material del cuerpo	S-275 JR
Temperatura de diseño	30 °C
Corrección por temperatura	1,0000
Tensión de diseño, S_d	164 MPa
Tensión para prueba, S_t	176 MPa
Espesor mínimo de virola	6 mm

El espesor mínimo requerido de la chapa de la virola deberá ser el valor mayor de las siguientes formulas:

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

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

S/ API-650 5.6.1

Virola	Altura virola	H	t _d	t _t	t _{min}	t _{adop}	Peso (Kg)
V1	2000	12,0	8,347	6,287	8,347	9	8.730,86
V2	2000	10,0	7,193	5,212	7,193	8	7.760,76
V3	2000	8,0	6,040	4,137	6,040	7	6.790,67
V4	2000	6,0	4,887	3,063	6,000	6	5.820,57
V5	2000	4,00	3,734	1,988	6,000	6	5.820,57
V6	2000	2,00	2,580	0,913	6,000	6	5.820,57
V7	0	0,0	0,000	0,000	0,000	0	0,00
V8	0	0,0	0,000	0,000	0,000	0	0,00
V9	0	0	0,000	0,000	0,000	0	0,00
V10	0	0	0,000	0,000	0,000	0	0,00
V11	0	0	0,000	0,000	0,000	0	0,00
V12	0	0	0,000	0,000	0,000	0	0,00
V13	0	0	0,000	0,000	0,000	0	0,00
V14	0	0	0,000	0,000	0,000	0	0,00
V15	0	0	0,000	0,000	0,000	0	0,00
TOTAL	12.000	mm.	TOTAL (Incluida soldadura) =				41.355

5.- ESTUDIO DE LOS RIGIDIZADORES SECUNDARIOS PARA VIENTO

Según API-650 5.9.7 se compara la altura máxima sin rigidizar del tanque con su altura transformada:

Datos de Diseño

Espesor de la última virola, t_{unif}	6,00 mm
Diámetro nominal, D	19,30 m
Velocidad del viento, V	140,00 Km/h
Altura del tanque	12,00 m

Máxima altura del cuerpo sin rigidizar

$$H_1 = 9.47t \sqrt{\left(\frac{t}{D}\right)^3 \left(\frac{190}{V}\right)^2} = 18,14 \text{ m.}$$

Altura transformada del cuerpo

V	W	t_{act}	t_{unif}	$W_{tr} = W \sqrt{\left(\frac{t_{unif}}{t_{act}}\right)^5}$
V1	2000	9,0	6	725,77 mm.
V2	2000	8,0	6	974,28 mm.
V3	2000	7,0	6	1.360,39 mm.
V4	2000	6,0	6	2.000,00 mm.
V5	2000	6,0	6	2.000,00 mm.
V6	2000	6	6	2.000,00 mm.
V7	0	0	6	0,00 mm.
V8	0	0	6	0,00 mm.
V9	0	0	0	0,00 mm.
V10	0	0	0	0,00 mm.
V11	0	0	0	0,00 mm.
V12	0	0	0	0,00 mm.
V13	0	0	0	0,00 mm.
V14	0	0	0	0,00 mm.
TOTAL ALTURA TRANSFORMADA=				9.060,44 mm

Se compara la máxima altura del cuerpo sin rigidizar con la altura total transformada. Si la primera es mayor el tanque no necesitará ningún rigidizador para viento:

$H_1 =$	18,14	m.
$\sum W_{tr} =$	9,06	m.

NO HACE FALTA RIGIDIZADOR PARA VIENTO

6.- ESTUDIO DEL ARO DE CORONACIÓN EN TECHOS CÓNICOS CON ESTRUCTURA

Datos de Diseño

Radio del tanque, R	9.650,00 mm
Número de vigas radiales, N	0 mm
Ángulo con la horizontal, α	19,45 °
Espesor de la última virola corroída, t_c	4,40 mm
Espesor del techo corroído, t_h	5,00 mm
Total cargas muertas sobre el techo, D_t	53,03 kg/m ²
Sobrecarga de uso, L_t	150,00 kg/m ²
Peso de la nieve, S	0,00 kg/m ²
Balanced design snow, S_b	0,00 kg/m ²
Unbalanced design snow, S_u	0,00 kg/m ²
Presión exterior, P_e	0,00 kg/m ²
Combinación R-e1 $D_t + (L_t \text{ or } S_u \text{ or } S_b) + 0.4P_e$	203,03 kg/m ²
Combinación R-e2 $D_t + P_e + 0.4x(L_t \text{ or } S_u \text{ or } S_b)$	113,03 kg/m ²
Combinación Mayor, T	203,03 kg/m ²

Cálculo de las cargas radiales

Carga radial total	$F_R = \frac{Tr^2}{2tg\alpha} =$	26.769,15 Kg
Carga radial por viga, W		787,33 Kg

Cálculo de momentos, axiales y cortantes

Momento en el punto de carga, M_a	-117,07 Kgxm
Axial en el punto de carga, T_a	4.248,44 Kg
Cortante en el punto de carga, V_a	393,66 Kg
Momento entre cargas, M_b	58,56 Kgxm
Axial entre cargas, T_b	4.266,64 Kg
Cortante entre cargas, V_b	0,00 Kg

Comprobación del aro

Perfil utilizado	L-80x8
Área del perfil, A	12,30 cm ²
Módulo resistente, W_x	12,60 cm ³

Tensión máxima en el aro	$f = \frac{T}{A} \pm \frac{M}{W_x}$	1.274,51 Kg/cm ²
Tensión máxima admisible, S_{max}		1.600,00 Kg/cm ²

El aro de coronación es válido

$$M_a = \frac{WR}{2} \left(\cot \frac{180}{N} - \frac{N}{\pi} \right)$$

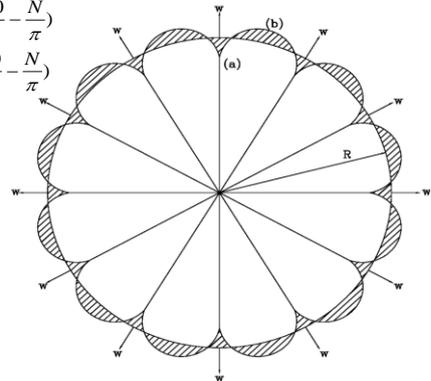
$$M_b = \frac{WR}{2} \left(\csc \frac{180}{N} - \frac{N}{\pi} \right)$$

$$T_a = \frac{W}{2} \cot \frac{180}{N}$$

$$T_b = \frac{W}{2} \csc \frac{180}{N}$$

$$V_a = \frac{W}{2}$$

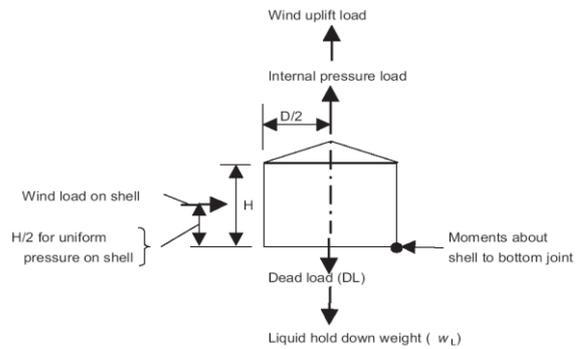
$$V_b = 0$$



7.- ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD FRENTE AL VIENTO

Velocidad del viento de diseño, V	140 Km/h
Presión dinámica de viento para superficie cilíndrica, qb	0,47 KPa
s/ API-650 5.2.1.k $qb = 0,86\left(\frac{V}{190}\right)^2 =$	
Presión dinámica de viento para superficie esférica, qb' (uplift)	
s/ API-650 5.2.1.k $qb' = 1,44\left(\frac{V}{190}\right)^2 =$	0,78 KPa

Diámetro del tanque, D	19,30 m
Altura del tanque, H	12,00 m
Altura máxima de producto, H'	12,00 m
Espesor requerido en la unión fondo-viola corrida, tb	6,40 mm
Límite elástico de las chapas del fondo, Fby	275,00 Mpa
Espesor de aislamiento	0 mm
Diámetro de exposición a viento	19,30 m
Área de exposición del cuerpo, Ac	231,6 m ²
Área de exposición del techo, At	292,55 m ²
Carga horizontal de viento en cuerpo, Fwc=qb'xAc	108.139,88 N
Carga de levantamiento de viento en techo, Fwp=qb'xAt	228.726,17 N
Momento de viento, Mw=Fwcx(H/2)+Fwx(D/2)=	2.856.046,83 Nxm
Momento producido por presión interna, MPI	0,00 Nxm
Momento del peso del techo, MDLR (Corroído)	1.149.612,71 Nxm
Momento del peso del cuerpo, MDL (Corroído)	3.078.596,15 Nxm
Peso del líquido, wl = 59 t_b √F_{by} H	21.691,47 N/m
140,8HD	32.609,28 N/m
wl adaptado	21.691,47 N/m
Momento del peso del líquido, Ml	12.691.806,75 Nxm
Momento de la fuerza horizontal de viento, Mws	648.839,27 Nxm
Factor de combinación de presión, Fp	0,40
0,6Mw+MPI	1.713.628,10 Nxm
Mw+FpxMPI	2.856.046,83 Nxm
MDL/1,5+MDLR	3.202.010,14 Nxm
(MDL+Ml)/2+MDLR	9.034.814,16 Nxm
Mws+FpxMPI	648.839,27 Nxm
Fuerza de rozamiento, Fr (s/ API-650 5.11.4 el coef. de fricción=0,4)	332.342,31 N



Para que el tanque sea estable frente al viento se debe cumplir lo siguiente:

- 1) $0,6M_w + M_{PI} < M_{DL} / 1,5 + M_{DLR}$
- 2) $M_w + F_p(M_{PI}) < (M_{DL} + M_l) / 2 + M_{DLR}$
- 3) $M_{ws} + F_p(M_{PI}) < MDL / 1,5 + MDLR$

S/ 5.11.4, para que no exista deslizamiento se debe cumplir que $F_{wc} < F_r$

El tanque es estable frente al viento. No es necesario disponer anclajes

8.1.- CÁLCULO SÍSMICO (1/4)

Determinación de los coeficientes del espectro de respuesta de aceleraciones

Según API-650 Apéndice E.4.3 para regiones fuera de USA se podrán usar los espectros de respuesta elástica locales:

Diámetro del tanque, D	19,30 m	
Altura de llenado, H	12,00 m	
Coeficiente de aceleración de diseño, Aa	0,1 'gs	S/ NSR-10
Coeficiente de aceleración de diseño, Av	0,15 'gs	S/ NSR-10
Coeficiente de Importancia, I	1,25	S/ NSR-10
Coeficiente Fa	1,6	S/ NSR-10
Coeficiente Fv	2,2	S/ NSR-10
Factor de amortiguamiento	5%	
Producto Aa*Fa*I	0,2	
Producto Av*Fv*I	0,4125	
Períodos característicos del espectro de respuesta s/ NSR-10	Tc= 0,990 s TL= 5,280 s	
$K_s = \frac{0,578}{\sqrt{\tanh\left(\frac{3,68H}{D}\right)}} =$	0,58	
Período impulsivo, Ti	0,2 s	S/ E.4.6.2
Período del primer modo, Tc = 1,8Ks√D = (Convectivo)	4,62 s	
Espectro de respuesta elástica en período impulsivo, Sa(Ti)	0,50	
Espectro de respuesta elástica en período = 1s, Sa(1)	0,53	

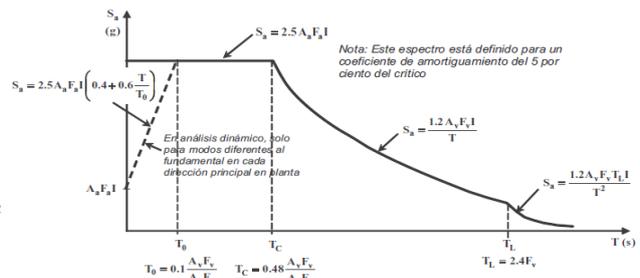


Figura A.2.6-1 — Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño como fracción de g

Parámetro relacionado con el espectro de respuesta elástica de aceleración amortiguado al 5% del crítico, en el p. impulsivo,	$S_{DS} = S_a(T_i)$	0,50
Parámetro relacionado con el espectro de respuesta elástica de aceleración amortiguado al 5% del crítico, en T=1s	$S_{D1} = S_a(1)$	0,53

Coeficiente de aceleración impulsiva	$A_i = S_{DS} \left(\frac{I}{R_{wi}} \right) =$	0,143	S/ E.4.6.1-1
Coeficiente de aceleración convectiva	$A_c = K S_{D1} \left(\frac{1}{T_c} \right) \left(\frac{I}{R_{wc}} \right) =$	0,086	S/ E.4.6.1-4
Coeficiente de aceleración vertical, Av (S/ NCSE-02 se considerará el 70% del horizontal)		0,060	

s/ Tabla E-4		Rwi	Rwc
¿El tanque está anclado?	NO	3,5	2

I	1	S/ tabla E.5
K	1,50	Nota 1

(1) Coeficiente de amplificación

8.2.- CÁLCULO SÍSMICO (2/4)

Determinación de las alturas de los puntos de aplicación de las cargas de diseño s/ E-6

Diámetro del tanque, D	19,30 m
Altura de llenado, H	12,00 m
Cociente D/H	1,61
Peso total del contenido del tanque, W_p	35.106.355 N
Peso efectivo impulsivo, W_i	22.276.164 N
Peso efectivo convectivo, W_c	12.718.501 N

$$D/H \geq 1,333 \Rightarrow W_i = \frac{\tanh\left(\frac{0,866 D}{H}\right)}{0,866 \frac{D}{H}} W_p \quad D/H < 1,333 \Rightarrow W_i = \left(1 - 0,218 \frac{D}{H}\right) W_p$$

$$W_c = 0,230 \left(\frac{D}{H}\right) \tanh\left(\frac{3,67 H}{D}\right) W_p$$

Alturas para el momento de vuelco en el anillo (E.6.1.2.1)

El momento de anillo, *M_w*, es la porción del momento total de vuelco que actúa en la base de la chapa perimetral del tanque. Este momento se utilizará para determinar las cargas en el anillo de la base, fuerzas de anclaje y para comprobar la compresión longitudinal del cuerpo.

Altura del punto de aplicación de la fuerza sísmica lateral convectiva, X_c	7,72 m
Altura del punto de aplicación de la fuerza sísmica lateral impulsiva, X_i	4,50 m

$$D/H \geq 1,333 \Rightarrow X_i = 0,375 H \quad X_c = \left[1 - \frac{\cosh\left(\frac{3,67 H}{D}\right) - 1}{\frac{3,67 H}{D} \sinh\left(\frac{3,67 H}{D}\right)}\right] H$$

$$D/H < 1,333 \Rightarrow X_i = \left(0,5 - 0,094 \frac{D}{H}\right) H$$

Alturas para el momento de vuelco en la placa (E.6.1.2.2)

El momento de placa, *M_s*, es el momento total de vuelco actuando a través de la sección completa de la base del tanque. Se utilizará para diseñar cimentaciones de losa y de placas pilotadas.

Altura del punto de aplicación de la fuerza sísmica lateral convectiva, X_{cs}	8,73 m
Altura del punto de aplicación de la fuerza sísmica lateral impulsiva, X_{is}	7,95 m

$$D/H \geq 1,333 \Rightarrow X_{cs} = 0,375 \left[1 + 1,333 \left[\frac{0,866 \frac{D}{H}}{\tanh\left(\frac{0,866 \frac{D}{H}}\right)} - 1\right]\right] H \quad D/H < 1,333 \Rightarrow X_{is} = \left(0,5 + 0,06 \frac{D}{H}\right) H$$

$$X_{cs} = \left[1 - \frac{\cosh\left(\frac{3,67 H}{D}\right) - 1,937}{\frac{3,67 H}{D} \sinh\left(\frac{3,67 H}{D}\right)}\right] H$$

8.3.- CÁLCULO SÍSMICO (3/4)

Determinación de los momentos de vuelco s/ E.6.1.5

Peso total del cuerpo del tanque incluidos accesorios, W_t	471.131 N
Peso total del techo incluida estructura, accesorios y el 10% de la carga de nieve, W_r	156.171 N
Altura desde el fondo del tanque hasta el centro de gravedad del cuerpo, X_s	5,48 m
Altura desde la parte superior del cuerpo al centro de gravedad del techo, X_r	13 m

Momento sobre el anillo:

$$M_{r,W} = \sqrt{[A_i(W_i X_i + W_s X_s + W_r X_r)]^2 + [A_c(W_c X_c)]^2} = 17.180.772,8 \text{ Nxm}$$

Momento sobre la placa:

$$M_s = \sqrt{[A_i(W_i X_{iS} + W_s X_s + W_r X_r)]^2 + [A_c(W_c X_{cS})]^2} = 27.664.526,1 \text{ Nxm}$$

Resistencia al vuelco s/ E.6.2

Peso específico del contenido del tanque, G	1,00
Peso específico, incluyendo efectos de sismo vertical, $G_e = G(1 - 0,4 A_v)$	0,98
Límite elástico del anillo del fondo, F_y	275 MPa
Espesor del fondo corroído debajo del cuerpo, t_a	6,4 mm
Carga de levantamiento debido a presión interna, w_{int}	0 N/m
201,1HDGe	45.456,47 N/m
Fuerza resistente del tanque lleno por unidad de longitud de circunferencia usada para resistir el momento de vuelco, $w_a = 99 t_a \sqrt{F_y G_e} \leq 1,96 HDG_e$	35.957,93 N/m
W_a	35957,93 N/m
Peso del techo actuando en el cuerpo incluido el 10% de la carga de nieve, w_n	2.575,69 N/m
Peso del tanque y del techo que actúa en la base, $w_r = \left(\frac{W_s}{\pi D} + w_n\right)$	10.345,93 N/m
Ratio de anclaje, $J = \frac{M_{r,W}}{D^2(w_i(1-0,4A_v) + w_a - 0,4w_{int})}$	1,00

[S/ Ap. R se minorra por 0,4]

Table E-6—Anchorage Ratio Criteria

Anchorage Ratio (J)	Criteria
$J < 0,785$	No calculated uplift under the design seismic overturning moment. The tank is self anchored.
$0,785 < J < 1,54$	Tank is uplifting, but the tank is stable for the design load providing the shell compression requirements are satisfied. Tank is self-anchored.
$J > 1,54$	Tank is not stable and cannot be self-anchored for the design load. Modify the annular plate if $L < 0,035D$ is not controlling or add mechanical anchorage.

Existe levantamiento pero el tanque es estable. Hay que comprobar la estabilidad a la compresión del cuerpo. No son necesarios anclajes

8.4.- CÁLCULO SÍSMICO (4/4)

Determinación de la estabilidad a compresión de la membrana del cuerpo s/E.6.2.2

Espesor del fondo corroído, t_s	6,4 mm
¿El tanque está anclado?	NO
Máxima tensión de compresión longitudinal, σ_c	11,713 MPa

Tensión admisible a compresión s/ E.6.2.2.3:

Espesor de la primera virola, t (corroída)	7,4 mm
$\frac{GHD^2}{t^2}$	81,63
Límite elástico de las chapas del cuerpo, F_{ly}	275 MPa
$0,5F_{ly}$	137,5 MPa
Tensión admisible a compresión, F_c	31,82 MPa

El tanque es estable frente a compresión del cuerpo

Determinación de la carga por cortante s/E.6.1

Peso del fondo, W_f	168,346,9 N
Cortante impulsivo, $V_i = A_i(W_s + W_r + W_f + W_i)$	3.295.973,2 N
Cortante convectivo, $V_c = A_c W_c$	1.090.639,4 N
Cortante total, $V = \sqrt{V_i^2 + V_c^2}$	3.471.733,6 N

Tanque sin anclaje

$$J < 0,785 \Rightarrow \sigma_c = (w_r(1 + 0,4A_v) + \frac{1,273M_{rw}}{D^2}) \frac{1}{1000t_s}$$

$$\sigma_c = \left(\frac{w_r(1 + 0,4A_v) + w_a}{0,607 - 0,18667[J]^{2,3}} - w_a \right) \frac{1}{1000t_s}$$

Tanque anclado

$$\sigma_c = (w_r(1 + 0,4A_v) + \frac{1,273M_{rw}}{D^2}) \frac{1}{1000t_s}$$

$$\frac{GHD^2}{t^2} \geq 44 \Rightarrow F_c = \frac{83t_s}{D}$$

$$\frac{GHD^2}{t^2} < 44 \Rightarrow F_c = \frac{83t_s}{2,5D} + 7,5\sqrt{(GH)} < 0,5F_{ly}$$

9.- RESUMEN DE PESOS

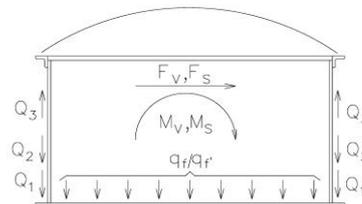
Envolvente	41.355 Kg.
Conexiones en Cuerpo	340 Kg.
Escalera Helicoidal	2.043 Kg.
Barandilla	788 Kg.
Ángulo de coronación	587 Kg.
Rigidizador de Viento	0 Kg.
Puerta de limpieza	0 Kg.
Clips de Tuberías	0 Kg.
Varios	2.000 Kg.
Silletas	0 Kg.
Total Peso Accesorios Cuerpo	5.758 Kg.
Techo	11.865 Kg.
Estructura en Techo	3.164 Kg.
Conexiones en Techo	48 Kg.
Plataforma	540 Kg.
Total Peso Accesorios Techo	588 Kg.

Fondo	16.835 Kg.
Anillo Perimetral del Fondo	3.521 Kg.
Serpentín	0 Kg.
Internos (baffles,...)	0 Kg.
Total Peso Accesorios Fondo	0 Kg.

Peso del contenido	3.510.636 Kg.
Del agua de prueba	3.510.636 Kg.
En Vacío	83.086 Kg.
En Operación Nuevo	3.593.721 Kg.
En Operación Corroído	3.592.925 Kg.
En Prueba Hidráulica	3.593.721 Kg.
Cuerpo corroído	31.903 Kg.
Techo Corroído con Estructura	28.439 Kg.
Fondo corroído	12.826 Kg.
Anillo Perimetral corroído	2.775 Kg.

10.- CARGAS SOBRE FUNDACIONES

Datos de Diseño		
	NUEVO	CORROIDO
Diámetro nominal del tanque, (D)	19,30 m.	19,30 m.
Altura de la parte cilíndrica, (HC)	12,00 m.	12,00 m.
Altura máxima de producto, (HII)	12,00 m.	12,00 m.
Superficie horizontal, (A)	292,55 m ² .	292,55 m ² .
Longitud perimetral del tanque, (LP)	60,63 m.	60,63 m.
Sobrecarga (Nieve + otros), (Sn)	150 Kg/m ²	150 Kg/m ²
Momento de vuelco por viento, (Mv)	N.A. Kg*m	285,605 Kg*m
Momento de vuelco por sismo, (Ms)	1.718,077 Kg*m	- Kg*m
Peso específico agua prueba, (pea)	1	1
Peso específico de producto, (pep)	1,000	1,000
Peso envolvente + accesorios, (Pe)	47,113 Kg.	37,661 Kg.
Peso del techo + accesorios, (Pt)	28,653 Kg.	29,027 Kg.
Peso del fondo + accesorios, (Pf)	20,355 Kg.	15,601 Kg.
Peso máximo del agua, (PMA)	12,000 Kg/m ²	12,000 Kg/m ²
Peso máximo del contenido, (PMC)	12,000,000 Kg/m ²	12,000,000 Kg/m ²
Presión sobre el fondo, Plondo	0 Kg	0 Kg



Signos convencionales

(qf): Acción máx. sobre el fondo (producto + presión) / (qf'): Acción máx. sobre el fondo en prueba de llenado
 (Q1): Acción periférica permanente / (Q2): Acción periférica por sobrecarga exterior del techo.
 (Fv): Fuerza horizontal de viento / (Mv): Momento debido a viento.
 (Fs): Fuerza horizontal de sismo / (Ms): Momento debido a sismo

Acciones del Techo sobre la Envolvente

Nuevo	
Peso propio (P12, Kg)	Sobrecarga (P'12, Kg)
28,653	43,883

Corroído	
Peso propio	Sobrecarga
29,027	43,883

Acciones sobre el fondo

Uniformemente repartida, qf en Kg/m²

Nuevo	Corroído
$qf = PMC + \frac{Pf + Plondo}{A} = 12070$	12053

Nuevo	Corroído
$qf' = PMA + \frac{Pf}{A} = 12070$	N.A.

Acciones Periféricas

Permanente, en Kg/m:

$$Q1 = \frac{Pe + Pt}{LP} = \begin{matrix} \text{Nuevo} & \text{Corroído} \\ 1,250 & 1,100 \end{matrix}$$

Sobrecarga (nieve+otros), en kg/m:

$$Q2 = \frac{P'12}{LP} = \begin{matrix} 724 & 724 \end{matrix}$$

Acciones de Viento, Sismo y presión interior

	Nuevo	Corroído
Momento de viento en Kg*m	-	285,605
Momento de sismo en Kg*m	1.718,077	-
Fuerza horizontal de viento en Kg	N.A.	10,813,99
Fuerza horizontal de sismo en Kg	347,173,4	-
Carga de levantamiento por presión Q3	0,0	0,0

Cargas verticales sobre las fundaciones

Acción	qf	Q1	Q2	Mpi	Mv	Ms	qf'
Unidades	Kg/m2	Kg/m	Kg/m	Kgxm	Kgxm	Kgxm	Kg/m2
Nuevo	12,070	1,250	724	0	-	1.718,077	12,070
Corroído	12,053	1,100	724	0	285,605	-	-

Cargas horizontales sobre las fundaciones

Acción	Fv	Fs
Unidades	Kg	Kg
Nuevo	-	347,173
Corroído	10,814	-

11.- CÁLCULO DE LA VENTILACIÓN ATMOSFÉRICA PARA TANQUES DE TECHO FIJO

Datos de Diseño	
Código de diseño	API 2000, 6ª Edic
Diámetro del tanque, D	19,30 m
Volumen geométrico, V_{IK}	3510,64 m ³
Espesor de aislamiento, l_a	0,1 m
Coefficiente de transmisión de calor interior, h	4 W/m ² K
Conductividad térmica del aislamiento, λ_a	0,035 W/m ² K
Con aislamiento, R_i	$R_{i0} = \frac{1}{1 + \frac{hl_a}{\lambda_a}} =$ 0,08
Factor Y para la latitud	0,32
Factor C para la latitud	6,5
Caudal de llenado, V_{pl}	1000 m ³ /h
Caudal de vaciado, V_{pe}	600 m ³ /h

Requerimientos de Ventilación s/ API-2000 4.3.2

a) Por cambio térmico:		
En sobrepresión:	$\dot{V}_{OT} = YV_{tk}^{0.9} R_i =$	39,96 m ³ /h
En vacío:	$\dot{V}_{IT} = CV_{tk}^{0.7} R_i =$	158,59 m ³ /h
b) Por entrada de producto:		
	$\dot{V}_{OP} = \dot{V}_{pf} =$	1000,00 m ³ /h
c) Por salida de producto:		
	$\dot{V}_{IP} = \dot{V}_{pe} =$	600,00 m ³ /h

Requerimientos Totales de Ventoeo

1) Por sobrepresión :	1040,0 m ³ /h
2) Por vacío :	758,6 m ³ /h

Cálculo de Capacidad de Alivio s/ Crane Technical Paper 410

Capacidad de ventoeo adoptada	8 "
Carga de presión admisible en el interior del tanque s/APÉNDICE F API 650	0,0000 barg
Carga de vacío admisible	0,0025 barg

Capacidad de alivio con el ventoeo adoptado:

$$q_v \text{ (m}^3\text{/h)} = 19,31 * Y * d^2 * ((DP * P_1) / (K_{total} * T_1 * S_0))^{1/2}$$

Siendo:

- Y** = Factor neto de expansión en fluidos compresibles = **0,8** (valor muy conservador s/ tabla A-20 Crane)
- d (mm)** = Diámetro interior del ventoeo = **193,7** mm **T₁ (K)** = Temperatura diseño = **303** °K
- S₀** = Peso específico fluido respecto del aire = **1**
- K_{total}** = Suma de la pérdida de carga de cada uno de los elementos del ventoeo **K_{total} = K₁ + K₂ + K₃ + K₄ + K₅**

Elemento	K (s/ Crane)
Entrada	K ₁ = 0,5
Salida	K ₂ = 1
Tubería entrada	K ₃ = f _t * L/D = 0,02
Codo de 90° r=1,5d	K ₄ = 14 * f _t ; K ₄ = 2 * K ₃ = 0,4
Malla 4 Mesh	K ₅ = 1 - 6 * f _t = 0,45
Otras pérdidas	20%

f_t: factor de fricción A-24 Crane = 0,014
 L: Longitud tubería entrada (mm) = 250
 D: Diámetro tubería entrada (mm) = 193,70

S: S_{libre}/S_{total malla}: Malla de MESH 4 con un diámetro de hilo de 0,9mm que tiene un área libre del 74%

DP (vacío) = 0,0025 barg **P₁' (vacío)** = P_{atm} - DP (vacío) = 1,01075
DP (sobrepresión) = 0,0000 barg **P₁' (sobrepresión)** = P_{atm} + DP (sobrepres) = 1,01325

q_v' (vacío) = 994,60 m ³ /h	q_v' (sobrepresión) = 0,00 m ³ /h
--	---

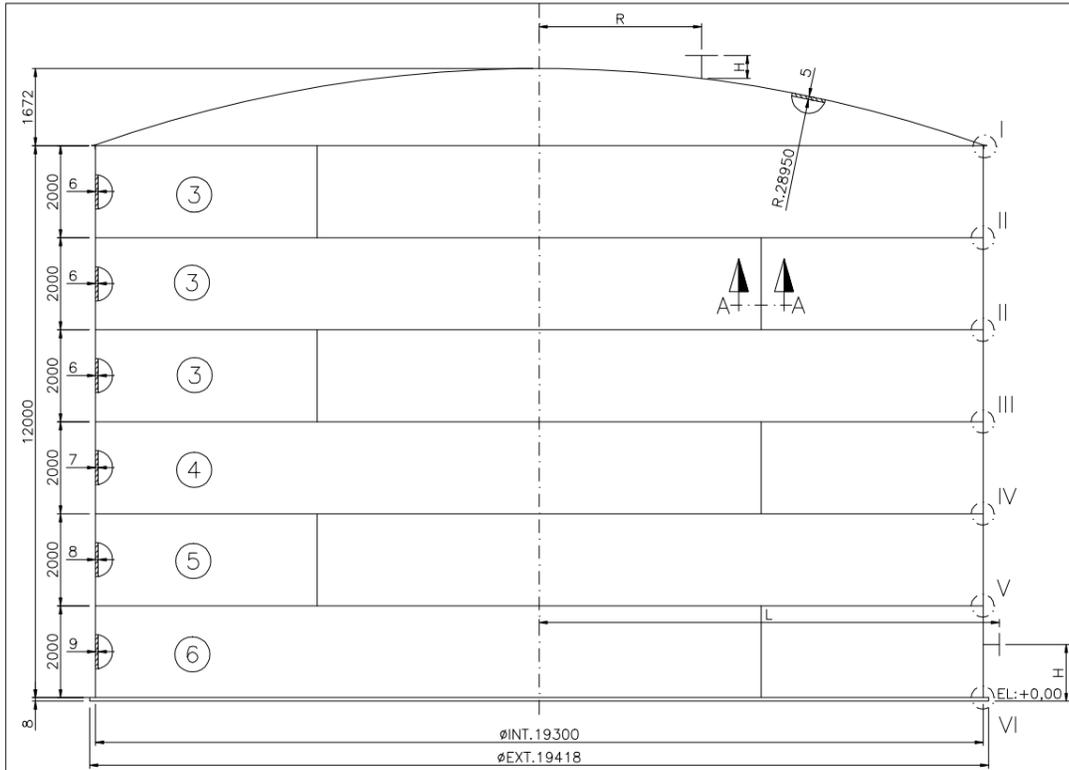
Número y capacidad de la Ventilación adoptada

	Requer.		Cap.		#DIV/0! Und.
- Número mín requerido (sobrep.):	1040,0	/	0,0	=	0,76 Und.
- Número mín requerido (vacío):	758,6	/	994,6	=	0,76 Und.

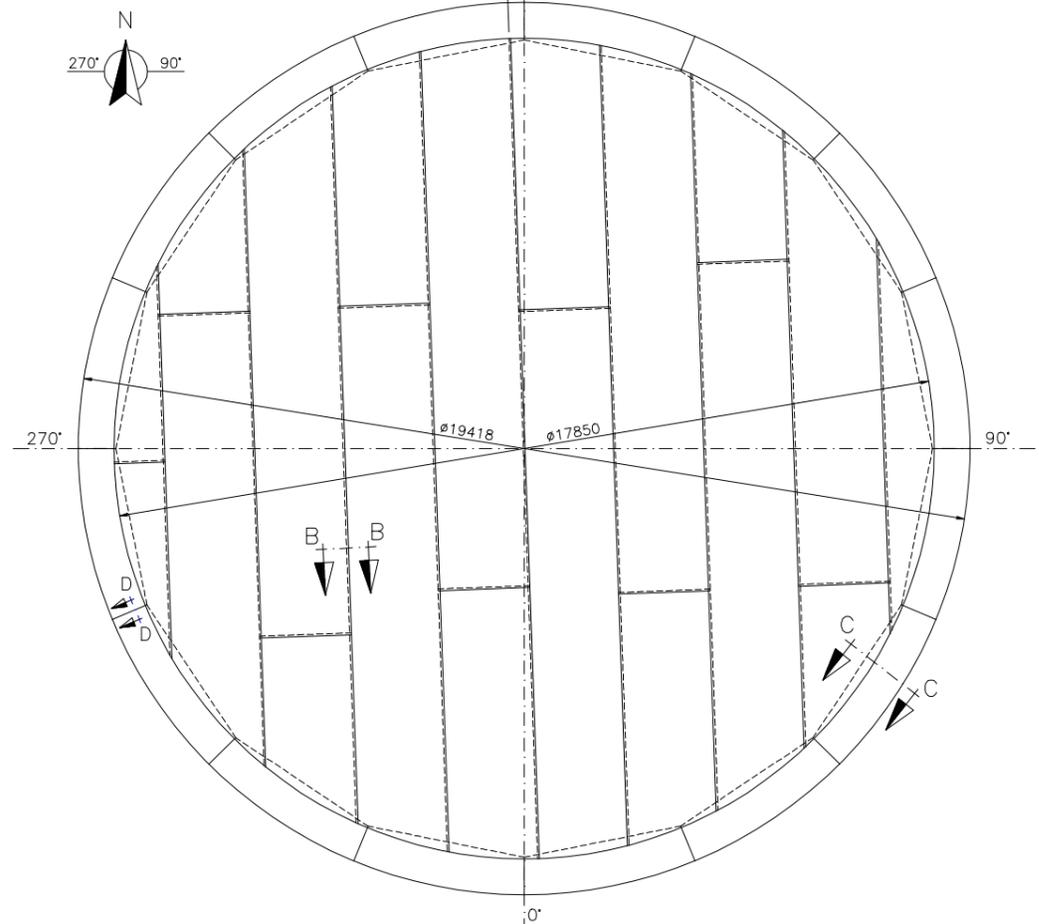
Capacidad adoptada:	1	VENTILACION DE	8 "
----------------------------	----------	-----------------------	------------

Anexo 2

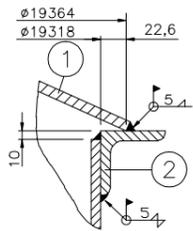
Planos del tanque



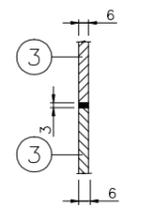
ALZADO
ESCALA 1:70



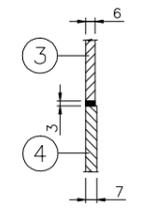
PLANTA
ESCALA 1:70



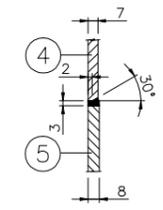
DETAIL -I-



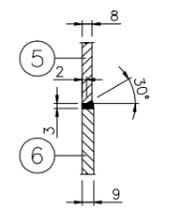
DETAIL -II-



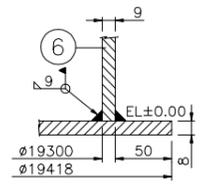
DETAIL -III-



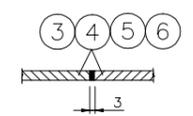
DETAIL -IV-



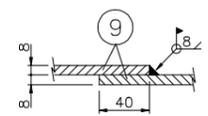
DETAIL -V-



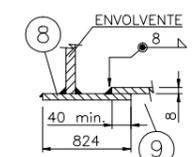
DETAIL -VI-



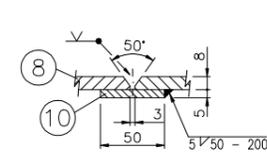
SECTION A-A



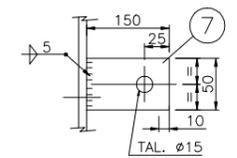
SECTION B-B



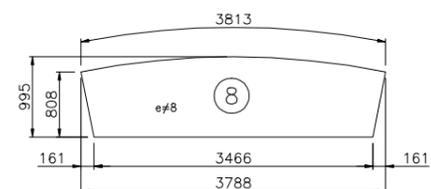
SECCION C-C



SECCION D-D



TOMA DE TIERRA
4 UNIDADES



SECTOR ANILLO DEL FONDO
ESCALA 1:40 16 SECTORES

LISTA DE MATERIALES

POS	N°	DENOMINACION	MATERIAL	PESO	OBSERVACIONES
1	1	TECHO x 5	S-275 JR	22841	
2	1	L.80.80.8 x 60950	S-275 JR	587	
3	18	LAMINA 10100 x 2000 x 6	S-275 JR	17452	
4	6	LAMINA 10100 x 2000 x 7	S-275 JR	6787	
5	6	LAMINA 10100 x 2000 x 8	S-275 JR	7756	
6	6	LAMINA 10100 x 2000 x 9	S-275 JR	8726	
7	4	PLETINA 150 x 50 x 5	304L	2	
8	16	SECTOR ANILLO FONDO S/DETALLE	S-275 JR	3481	
9	1	FONDO $\phi 17850$ x 8	S-275 JR	16016	
10	8	PLETINA 50x5 x 824	S-275 JR	26	

TOTAL: 83674 Kg.

N° DE PLANO	DENOMINACION
1	CONJUNTO
2	ORIENTACIONES
3	ESTRUCTURA
4	ACCESORIOS I
5	BOCAS DE HOMBRE
6	ESCALERA HELICOIDAL
7	BARANDILLA
8	PLACA DE CARACTERISTICAS
9	CARGAS
10	TRATAMIENTO SUPERFICIAL

DATOS DE PROYECTO		CODIGO: API-650
LUGAR: GUADALAY	PLANTA: GUADALAY	
SERVICIO: ALMACENAMIENTO DIESEL	CONTENIDO: DIESEL	
EQUIPO N°: TK-01	PROYECTO: PLANTA GUADALAY	
CAPACIDAD NOMINAL: 3.500 m³	TRABAJO: ATM.	
PESO VACIO: 83.674 Kg.	DISEÑO INT/EXT: ATM.	
PESO OPERACION NUEVO: 3.593.721 Kg.	PRUEBA: LLENO DE AGUA	
D. INTERIOR: 19.300 mm	P. HIDRAULICA: LLENO DE AGUA	
H. NOMINAL: 12.000 mm	TRABAJO: 28°C	
MARGEN DE CORROSION: FONDO: 1,6 mm. TECHO: 0 mm. CUERPO: 1,6 mm.	TEMPER.: DISEÑO: 30°C	
RADIOGRAFIADO: S/API 650	VELOCIDAD DEL VIENTO: 140 Km/h	
PINTURA EXT.: -	N° DE EQUIPOS REQUERIDOS: UNO	
RECUBRIMIENTO INT.: NO	PESO ESPEC. DEL CONTENIDO: 1	
	AISLAMIENTO: NO	

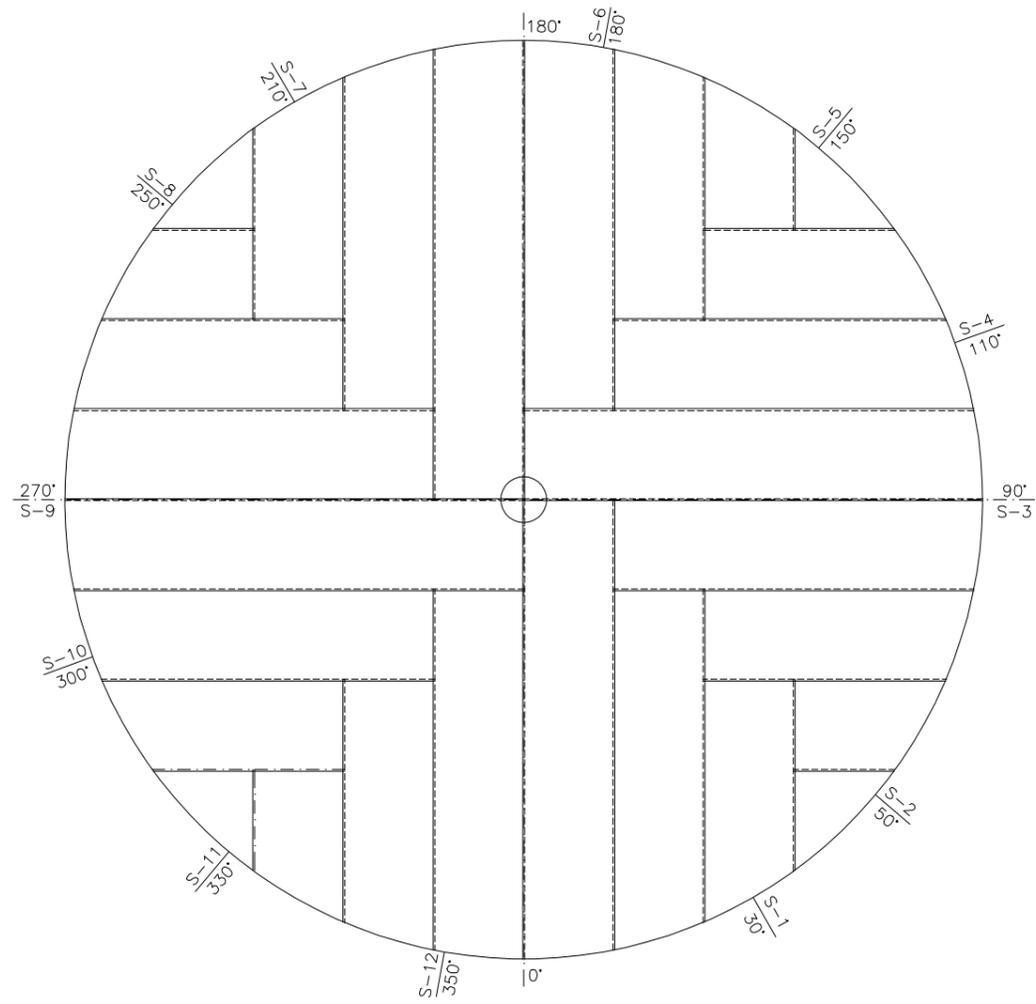
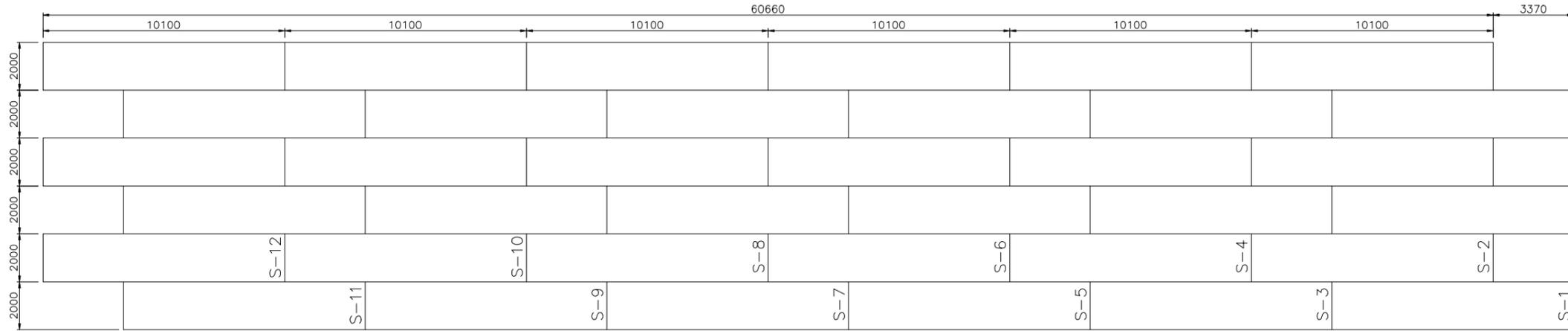
LISTA DE CONEXIONES

MAR	CANT	DIAM NOM	BRIDA	ESPEC. TUBO	L/R	H	SERVICIO
N1	1	3"	150# S.O R.F.	Sch.40	-	-	REBOSE
N2	1	8"	150# S.O R.F.	Sch.40	-	-	DRENAJE
N3	1	8"	150# S.O R.F.	Sch.40	-	-	DESCARGA
N4	1	3"	150# S.O R.F.	Sch.40	-	-	ELEMENTO MEDIDOR DE NIVEL
N9	1	1"	150# S.O R.F.	Sch.40	-	-	CONEXION 1 VISOR
N10	1	1"	150# S.O R.F.	Sch.40	-	-	CONEXION 1 VISOR
M1	1	24"	S/ API-650	9mm	-	-	BOCA DE HOMBRE CUERPO
N5	1	3"	150# S.O R.F.	Sch.40	-	-	ENTRADA
N6	1	3"	150# S.O R.F.	Sch.40	-	-	RESERVA
N7	1	3"	150# S.O R.F.	Sch.40	-	-	RESERVA
N8	1	10"	150# S.O R.F.	Sch.40	-	-	VENTO
M2	1	24"	S/ API-650	6mm	-	-	BOCA DE HOMBRE TECHO

MATERIALES

CUERPO, TECHO Y FONDO: S-275 JR	TUBO: SA-106 Gr.B
PERFILES: S-275 JR	BRIDA: SA-105
REFUERZOS: S-275 JR	JUNTAS: CSA-90
	ESPARRAGO/TUERCA: SA-193 Gr.B7/SA-194 Gr.2H

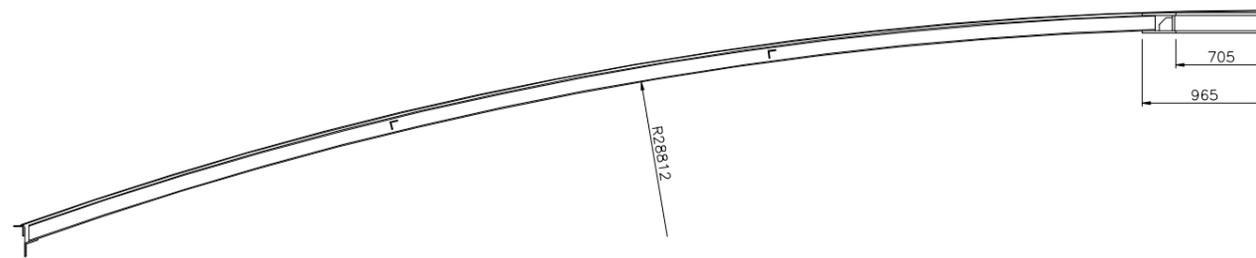
CONTENIDO: DIESEL	CONJUNTO
REF. CAD: P-01.DWG	
PLANO N° 1	REVISION 0
	FORMATO A3



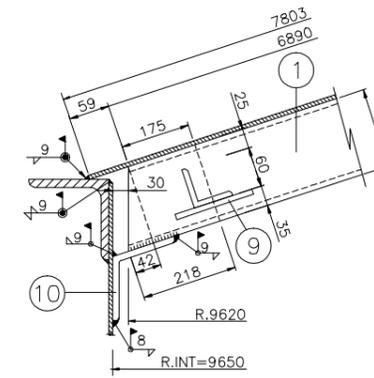
CONTENIDO:		ORIENTACIONES	
DIÉSEL		REF. CAD: P-02.DWG	
PLANO N°	2	REVISION	FORMATO
		0	A3

LISTA DE MATERIALES

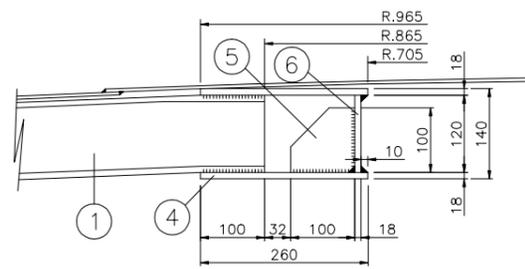
POS	N°	DENOMINACION	MATERIAL	PESO	OBSERVACIONES
1	34	IPN.120 x 8962	S-275 JR	3382	
2	34	L.60.60.6 x 713	S-275 JR	22	
3	34	L.60.60.6 x 1257	S-275 JR	38	
4	2	CHAPA Ø1930/1410 x 18	S-275 JR	393	
5	34	CHAPA 100 x 100 x 10	S-275 JR	27	
6	1	CHAPA 4540 x 120 x 18	S-275 JR	79	
7	8	L.60.60.6 x 2710	S-275 JR	82	
8	8	L.60.60.6 x 2394	S-275 JR	86	
9	34	CHAPA 150 x 150 x 10	S-275 JR	62	
10	34	L.100.100.10 x 100	S-275 JR	51	
TOTAL:					4222 Kg.



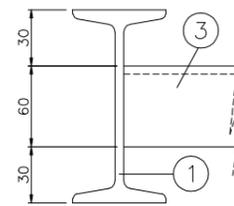
SECCION (34 CORREAS)



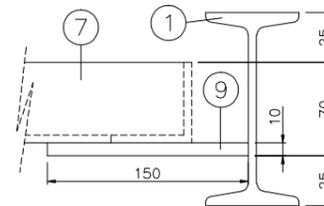
DETALLE -A-



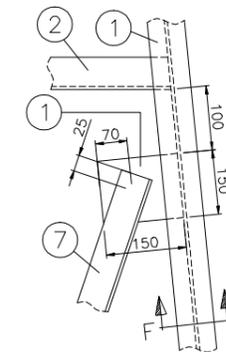
DETALLE -B-



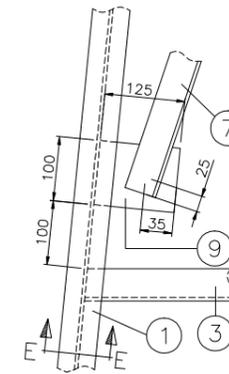
SECTION E-E



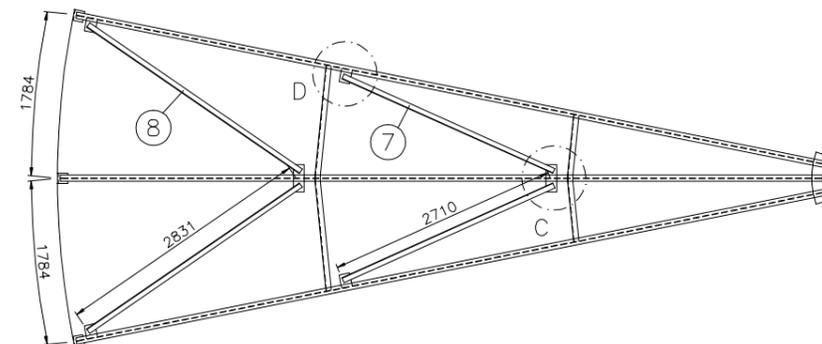
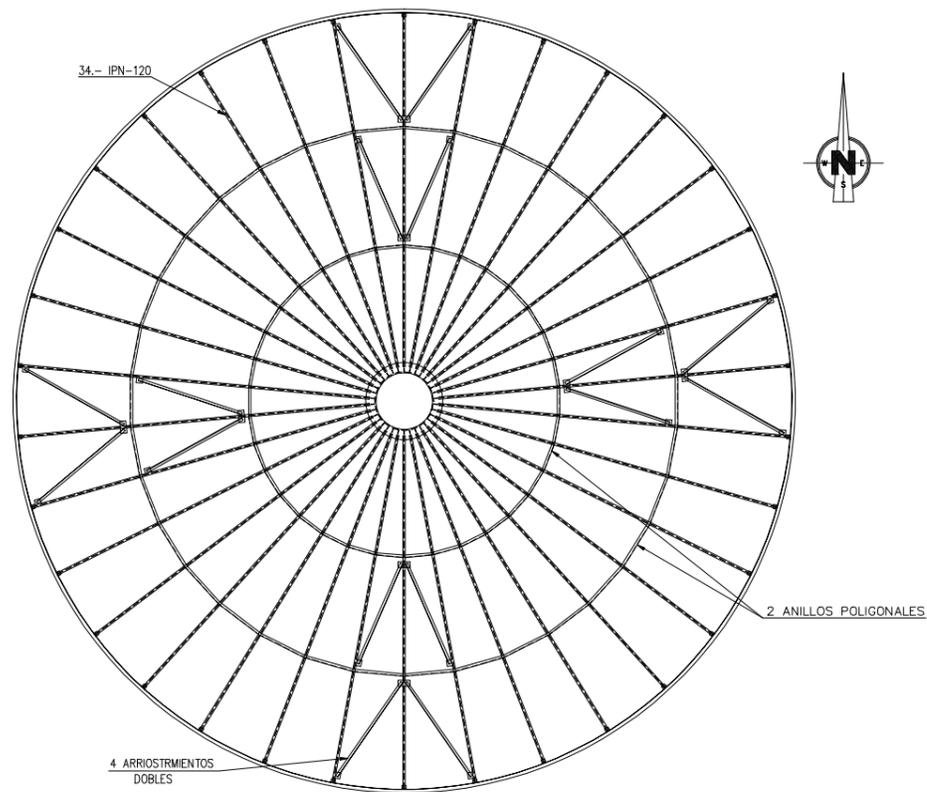
SECTION F-F



DETAIL -D-



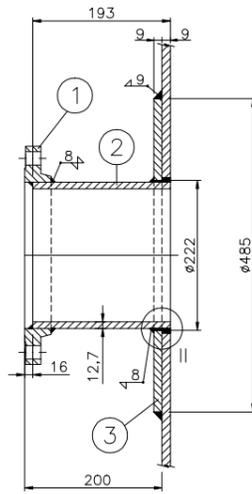
DETAIL -C-



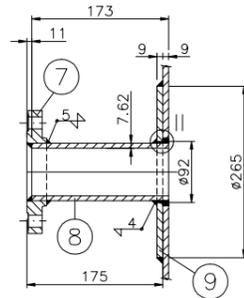
CONTENIDO:		ESTRUCTURA	
DIÉSEL		REF. CAD: P-03.DWG	
PLANO N°	3	REVISION	FORMATO
		0	A3

LISTA DE MATERIALES

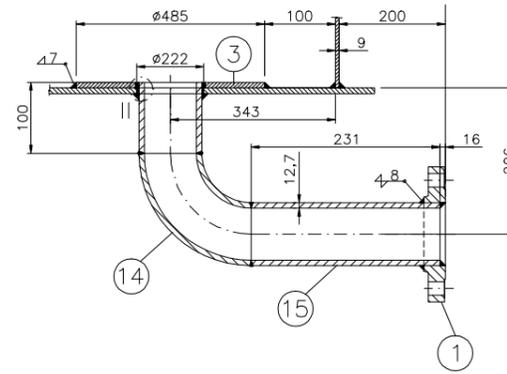
POS	N°	DENOMINACION	MATERIAL	PESO	OBSERVACIONES
1	2	BRIDA Ø8" S.O. sch.80 #150 R.F.	A-105	26	
2	1	TUBO Ø8" sch.80 x 192	A-106 Gr.B	13	
3	2	REFUERZO Ø485/222 x 9	S-275 JR	22	
4	8+5	TORNILLO M-16 X 30 c/t	5.6	-	
5	1	MALLA ANTIPAJARO Ø330 x 1.5	-	-	
6	2	CHAPA Ø340/222 x 5	S-275 JR	4	
7	5	BRIDA Ø3" S.O. sch.80 #150 R.F.	A-105	20	
8	2	TUBO Ø3" sch.80 x 173	A-106 Gr.B	6	
9	5	REFUERZO Ø265/92 x 9	S-275 JR	17	
10	2	MEDIO MANGUITO Ø1" N.P.T. 3000#	A-105	1	
11	3	TUBO Ø3" sch.80 x 192	A-106 Gr.B	9	
12	2	REFUERZO Ø450/222 x 6	S-275 JR	12	
13	1	TUBO Ø8" sch.80 x 252	A-106 Gr.B	17	
14	3	CODO Ø8" sch.XS R.L. 90°	S-275 JR	97	
15	1	TUBO Ø8" sch.80 x 231	A-106 Gr.B	16	
				TOTAL:	260 Kg



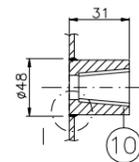
N3 DESCARGA Ø8"
ELEVACIÓN +300



N1 REBOSE Ø3"
ELEVACIÓN +1000
N4 ELEMENTO MEDIDOR DE NIVEL Ø3"
ELEVACIÓN +400

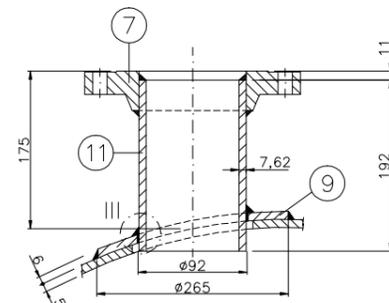


N2 DRENAJE Ø8"



N9 SWITCH DE NIVEL ALTO Ø1"

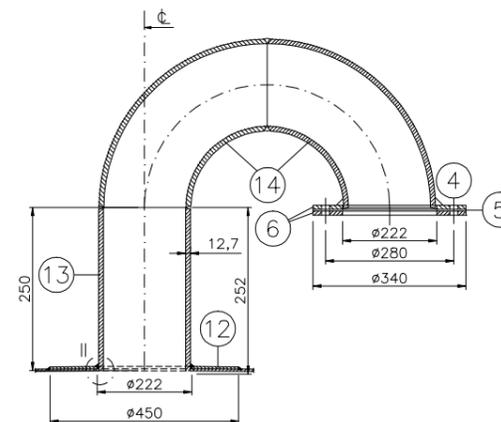
N10 SWITCH DE NIVEL BAJO Ø1"



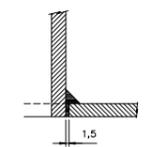
N5 ENTRADA Ø3"

N6 RESERVA Ø3"

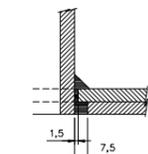
N7 RESERVA Ø3"



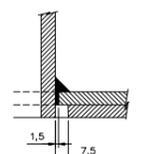
N8 VENTEO CENTRAL Ø8"



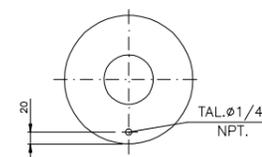
DETALLE -I-



DETALLE -II-



DETALLE -III-

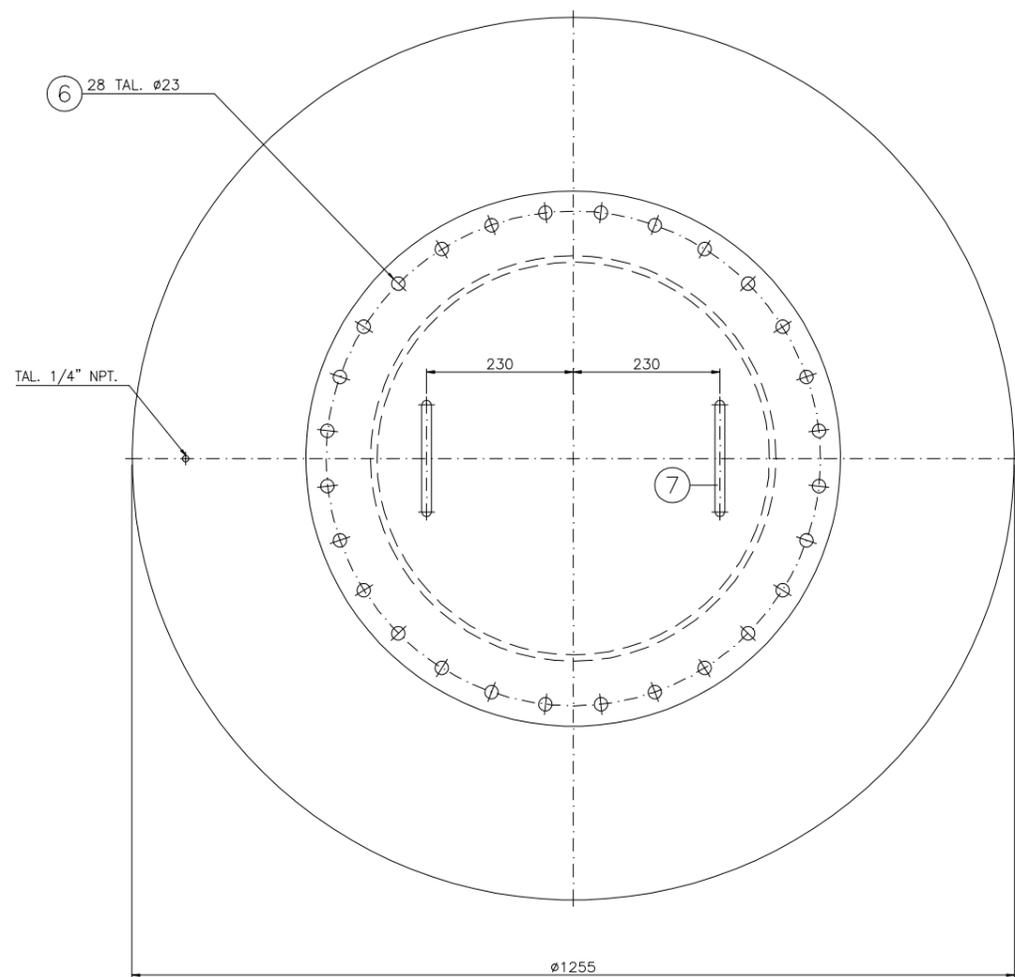


DETALLE TÍPICO
TALADRO REFUERZO

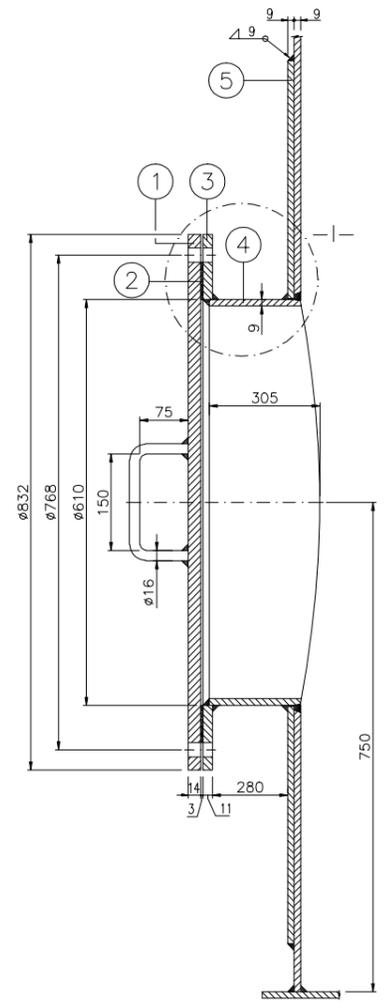
CONTENIDO:		ACCESORIOS	
DIÉSEL		REF. CAD: P-04.DWG	
PLANO N°	4	REVISION	FORMATO
		0	A3

LISTA DE MATERIALES

POS	N°	DENOMINACION	MATERIAL	PESO	OBSERVACIONES
1	1	CHAPA $\phi 832 \times 14$	S-275 JR	61	
2	1+2	JUNTA $\phi 746/610 \times 3$	CSA-90	-	
3	1	CHAPA $\phi 832/610 \times 11$	S-275 JR	22	
4	1	CHAPA $1888 \times 305 \times 9$	S-275 JR	42	
5	1	REFUERZO $\phi 1255/613 \times 9$	S-275 JR	68	
6	28+5	ESPARRAGO $\phi 3/4" \times 90$	A-193 ZH	-	ZINCADO
7	4	REDONDO $\phi 16 \times 300$	S-275 JR	2	
8	1	CHAPA $\phi 762 \times 6$	S-275 JR	24	
9	1+2	JUNTA $\phi 762/600 \times 1.5$	CSA-90	-	
10	1	CHAPA $\phi 762/612 \times 6$	S-275 JR	8	
11	1	CHAPA $1904 \times 466 \times 6$	S-275 JR	43	
12	20+5	TORNILLO M-16x40 C/T	5.6	-	ZINCADO
13	1	CHAPA $\phi 1150/615 \times 6$	S-275 JR	36	
TOTAL:				306 Kg.	

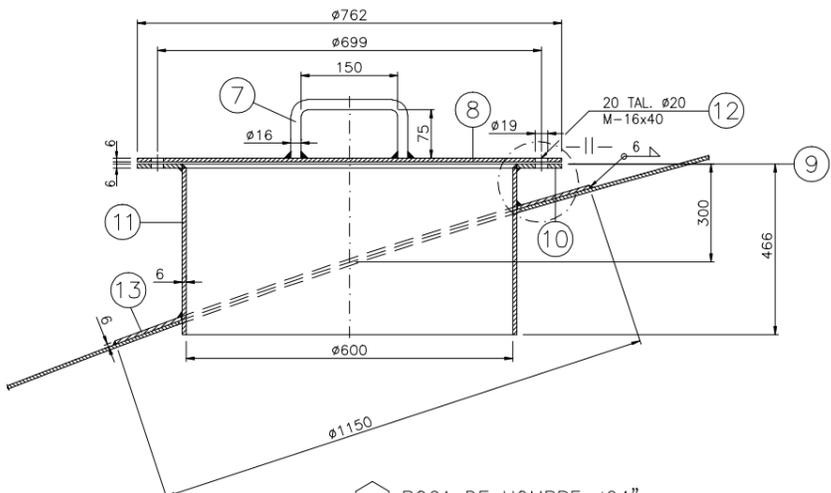


ALZADO

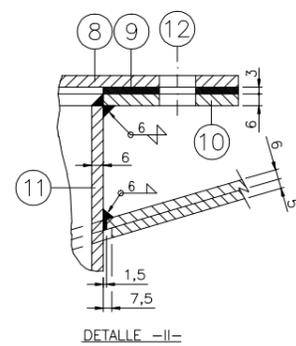


SECCION

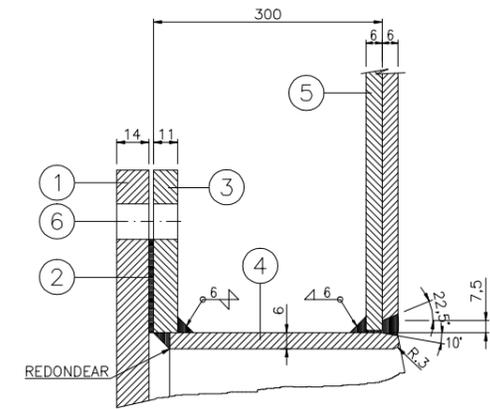
M1 BOCA DE HOMBRE $\phi 24"$



M2 BOCA DE HOMBRE $\phi 24"$



DETALLE -I-

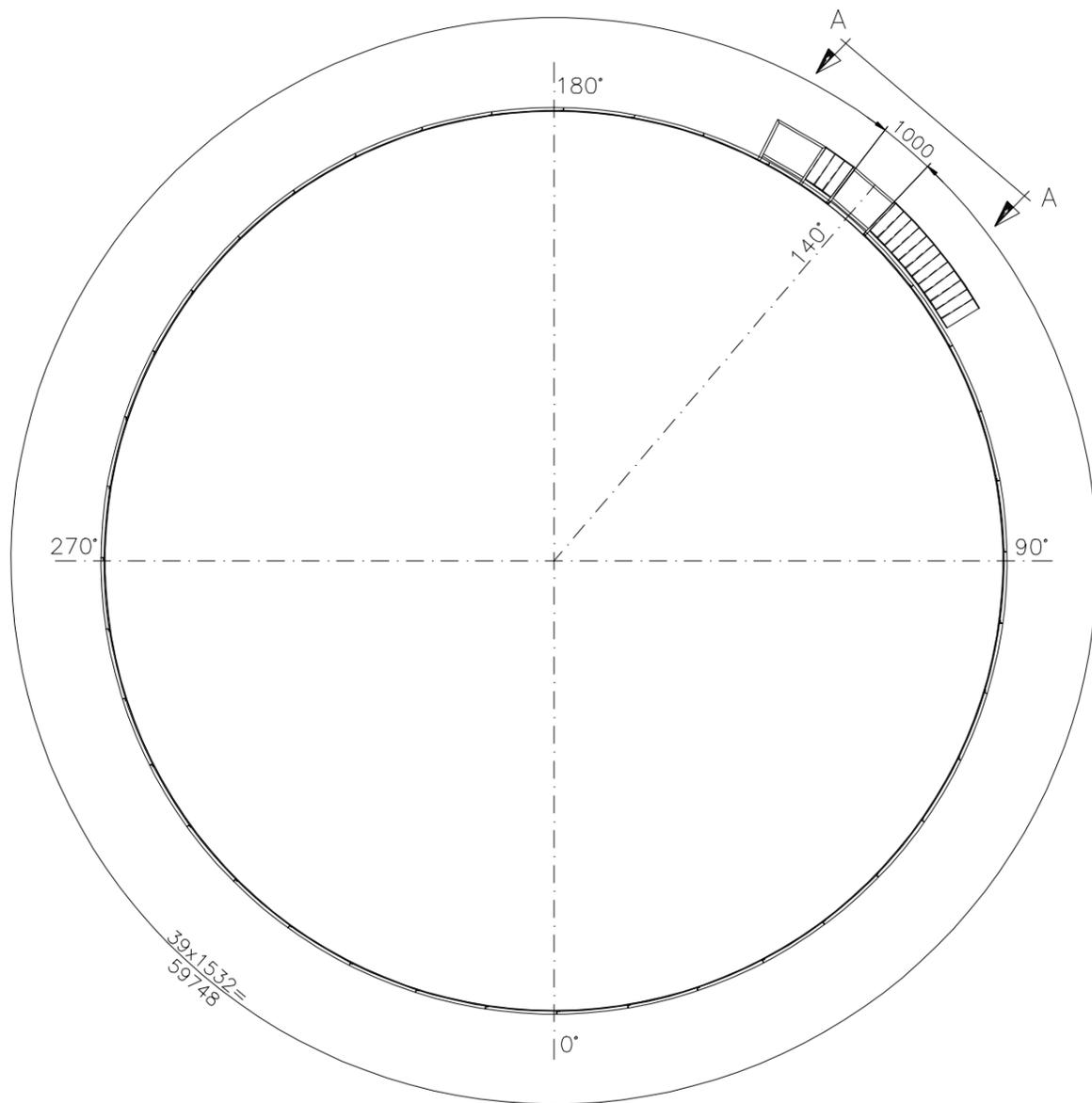


DETALLE -I-

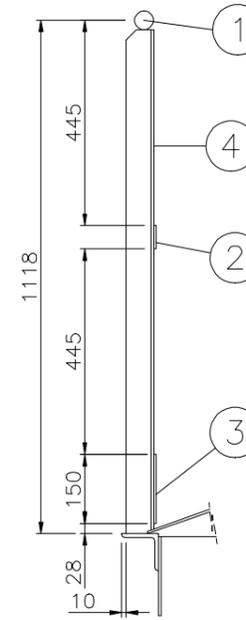
CONTENIDO:		BOCA DE HOMBRE	
DIÉSEL		REF. CAD: P-05.DWG	
PLANO N°	5	REVISION	FORMATO
		0	A3

LISTA DE MATERIALES

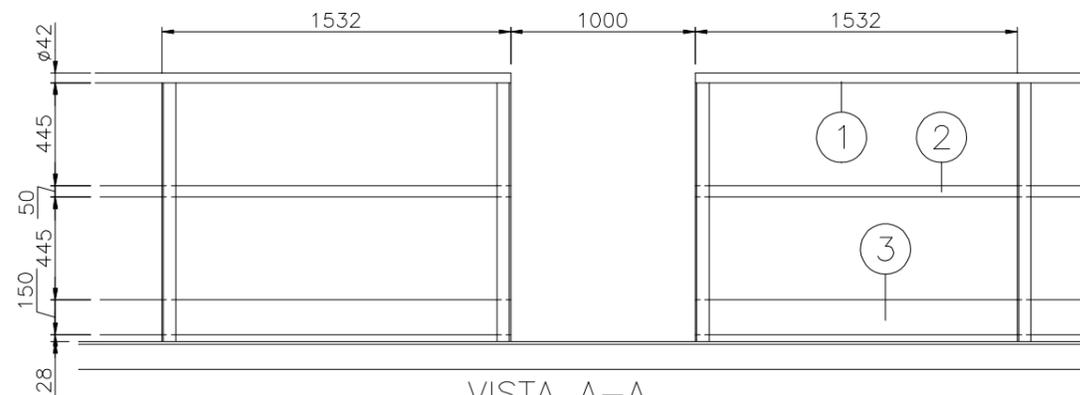
POS	N°	DENOMINACION	MATERIAL	PESO	OBSERVACIONES
1	1	TUBO 1 1/4" X 59750 DIN.2448	ST-35	189	
2	1	PLETINA 50x5 X 59750	S-275 JR	120	
3	1	PLETINA 150x6 X 59750	S-275 JR	358	
4	40	L.60.60.6 x 1097	S-275 JR	238	
				TOTAL.	905 Kg



PLANTA
ESCALA 1:70

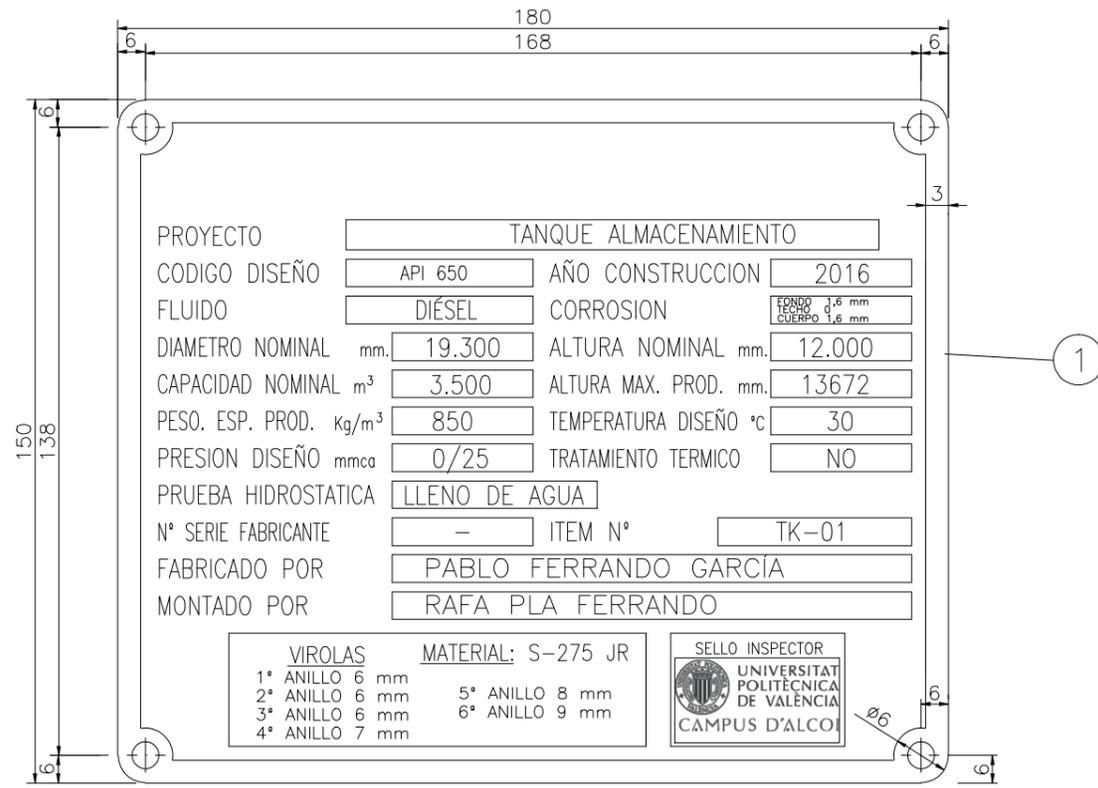


DETALLE CANDELERO

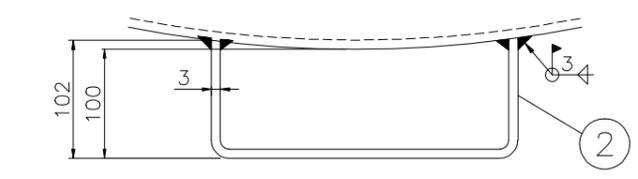
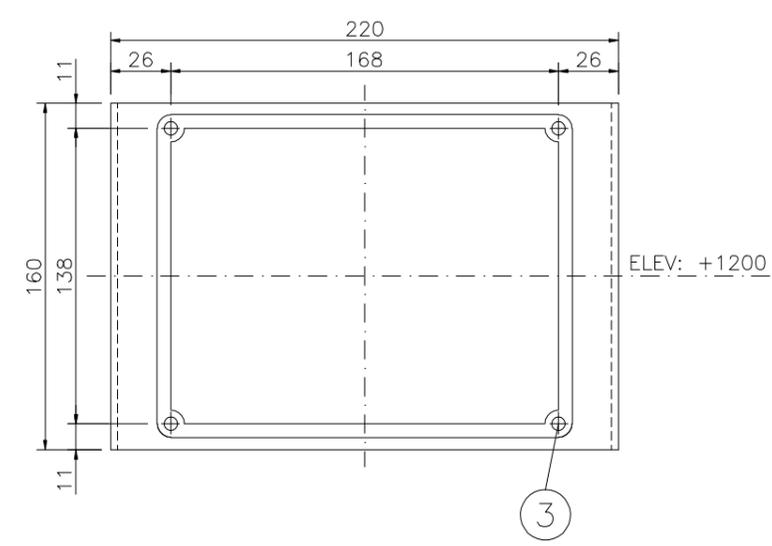


VISTA A-A
ESCALA 1:20

CONTENIDO:		DÍESEL		BARANDILLA	
				REF. CAD: P-07.DWG	
PLANO N°	7			REVISION	FORMATO
				0	A3



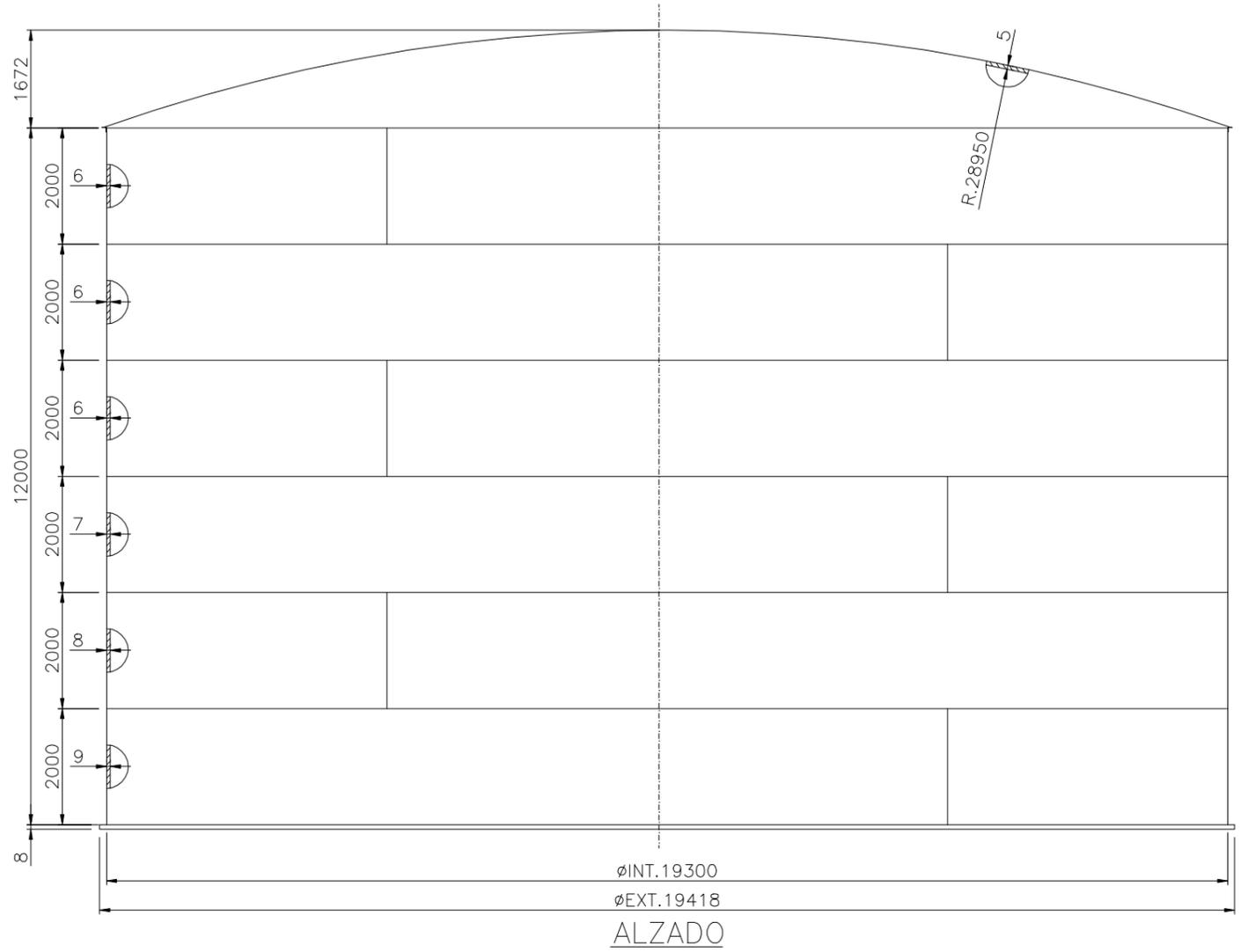
LISTA DE MATERIALES					
POS	N°	DENOMINACION	MATERIAL	PESO	OBSERVACIONES
1	1	CHAPA 180 x 150 x 3	304L		
2	1	CHAPA 410 x 160 x 3	S-275-JR		
3	4	TORNILLOS M-5 x 10	5.6		zincados



SOPORTE PLACA DE CARACTERISTICAS

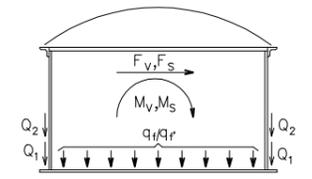
- NOTAS:
- ESPESOR DE LA PLACA = 2 mm.
 - MATERIAL DE LA PLACA: AC. INOX. 18/8 CR.NI CON BRILLO.
 - TRATAMIENTO: GRABADO AL ACIDO CON UNA PROFUNDIDAD DE 0,2 ± 0,05
 - PINTURA: PINTADO CON ESMALTE NEGRO.
 - SECADO: EN HORNO A 125 °C
 - PULIDO: MECANICO
 - BARNIZ: BARNIZ DE HORNO, SECADO A 100°C

CONTENIDO:	DIÉSEL	PLACA DE CARACTERISTICAS
		REF. CAD: P-08.DWG
PLANO N°	8	REVISION
		0
		FORMATO
		A3



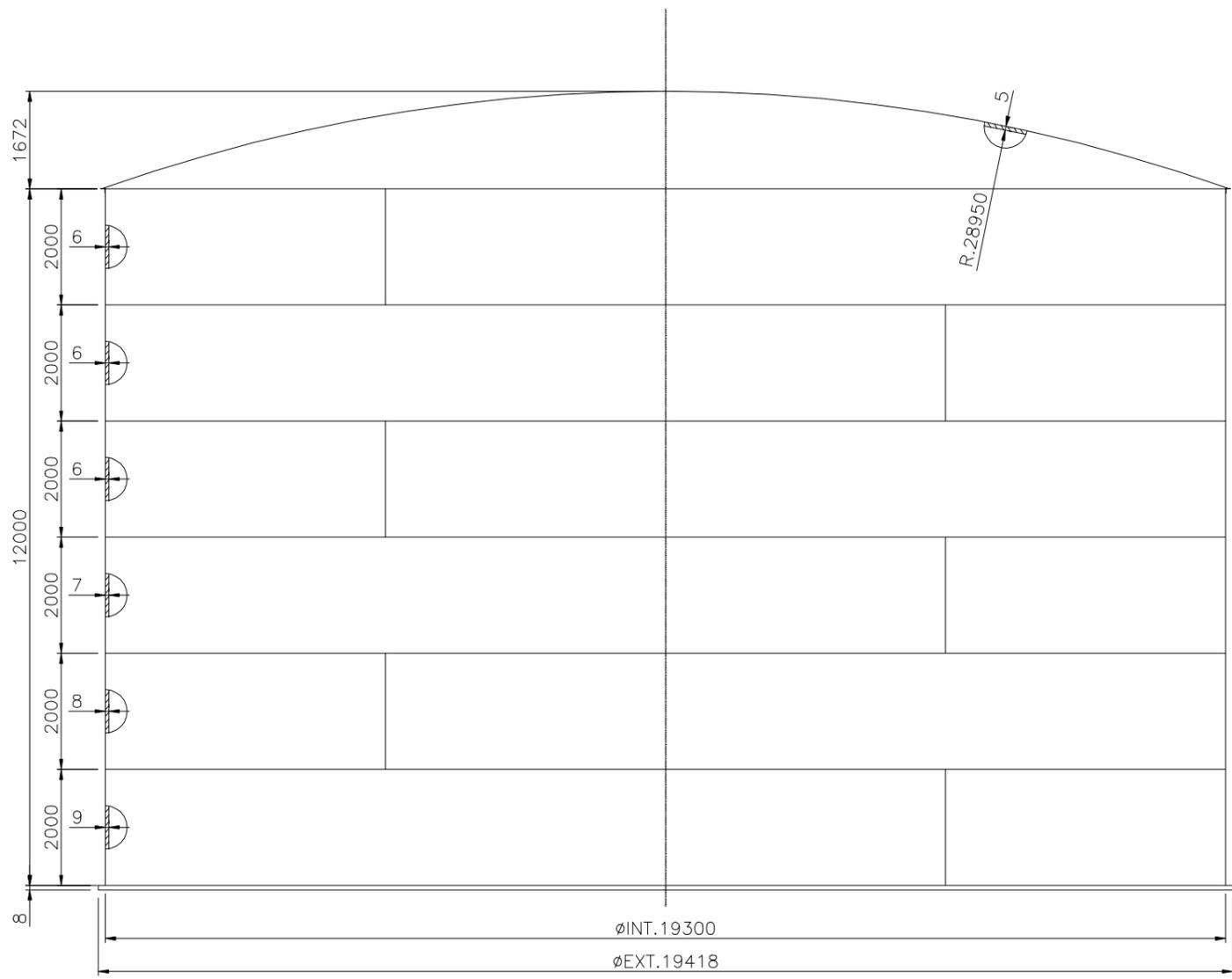
DATOS DE CARGAS SOBRE LAS FUNDACIONES

SIGNOS CONVENCIONALES:
 Q_f ACCION MAX. SOBRE EL FONDO (PRODUCTO + PRESION).
 Q_f' ACCION MAX. SOBRE EL FONDO EN PRUEBA
 Q_1 ACCION PERIFERICA PERMANENTE.
 Q_2 ACCION PERIFERICA POR SOBRECARGA EXT. DEL TECHO.
 F_V FUERZA DE VIENTO
 F_S FUERZA DE SISMO
 M_V MOMENTO DE VIENTO
 M_S MOMENTO DE SISMO



ACCION	Q_f	Q_f'	Q_1	Q_2	F_V	F_S	M_V	M_S
UNIDADES	Kg/m ²	Kg/m ²	Kg/m	Kg/m	Kg	Kg	Kg*m	Kg*m
VALOR NUEVO	12.044	12.044	1.250	724	N.A.	346.253	N.A.	1.718.077
VALOR CORRIDIDO	12.034	N.A.	1.100	724	10.814	N.A.	285.605	N.A.

CONTENIDO:		DIÉSEL		PLANO DE CARGAS	
				REF. CAD: P-09.DWG	
PLANO N°	9		REVISION	FORMATO	
			0		A3



ALZADO

TRATAMIENTO

SISTEMA DE PROTECCION SPRING EE-33/20. PINTURA INTERIOR

- PREPARACION DE SUPERFICIES (Sa 3, UNE-EN ISO 8501-1)
- ACABADO: PINTURA EPOXI SIN DISOLVENTES, APTA PARA ESTAR EN CONTACTO CON PRODUCTOS ALIMENTICIOS, CON 450-500 MICRAS DE ESPESOR TOTAL, EN 2 O MAS CAPAS CONSECUTIVAS, CADA UNA DE DISTINTO COLOR.
- TODAS LAS CONEXIONES IRAN CON EL TRATAMIENTO INTERIOR DE LAS MISMAS REALIZADAS EN TALLER Y SE REALIZARA UN REPASO DE SOLDADURAS EN OBRA.

SISTEMA DE PROTECCION SPRING ZU-42/20. PINTURA EXTERIOR

FASE EN TALLER

- PREPARACION DE SUPERFICIES (Sa 2 1/2, UNE-EN ISO 8501-1)
- CAPA DE IMPRIMACION DE SILICATO DE ETILO RICA EN ZINC, CON 75 MICRAS DE ESPESOR EFICAZ DE PELICULA SECA.
- EN UNIONES QUE VAYAN A SER SOLDADAS, EN UNA FRANJA DE 5 A 10 cm A LO LARGO DE CADA BORDE, SE APLICARA LA MISMA IMPRIMACION, PERO CON ESPESOR NO SUPERIOR DE 35 MICRAS.

FASE EN OBRA

- PREPARACION DE SUPERFICIES.
- LAS ZONAS DAÑADAS O SOLDADAS SERAN CHORREADAS AL GRADO SA 2 1/2.
- LAS ZONAS CHORREADAS SERAN PARCHEADAS CON IMPRIMACION EPOXI RICA EN ZINC CON UN ESPESOR DE PELICULA SECA DE 70-75 MICRAS.
- SE REALIZARA UN LAVADO DE TODA LA SUPERFICIE CON AGUA A PRESION A 20MPa.
- CAPA INTERMEDIA DE PINTURA EPOXI INTERMEDIA DE OXIDO DE HIERRO MICACEO, CON 100 MICRAS DE ESPESOR DE PELICULA SECA. (DE COLOR DISTINTO A LA IMPRIMACION)
- ACABADO: PINTURA DE POLIURETANO DE ALTO CONTENIDO EN SOLIDOS, DE DOS COMPONENTES, CON UN ESPESOR DE PELICULA SECA DE 65-70 MICRAS.
- COLOR ACABADO: PENDIENTE.

PINTURA EXTERIOR FONDO

- PREPARACION DE SUPERFICIES (Sa 2 1/2)
- PINTURA DE ALQUITRAN EPOXI DE 500 MICRAS.

CONTENIDO:		DIÉSEL		TRATAMIENTO DE SUPERFICIES	
				REF. CAD: P-10.DWG	
PLANO N°	10		REVISION	FORMATO	
			0		A3