

**DESARROLLO DE SOFTWARE PARA DIMENSIONAMIENTO DE TANQUES
DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO Y GUN BARREL PARA UNA BATERÍA**

**ODAIR JOSÉ POLO OVIEDO
JORGE MARIO PUENTES QUINTERO**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
NEIVA
2014**

**DESARROLLO DE SOFTWARE PARA DIMENSIONAMIENTO DE TANQUES
DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO Y GUN BARREL PARA UNA BATERÍA**

**ODAIR JOSÉ POLO OVIEDO
JORGE MARIO PUENTES QUINTERO**

Trabajo de grado presentado como requisito académico para optar al título de
Ingeniero de Petróleos

Director:
ING. LUZ MARINA BOTERO ROJAS
Ingeniera Química

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
NEIVA
2014**

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

A Dios principalmente por haberme regalado la bendición de tener vida y salud para lograr esta meta tan anhelada, por darme su fuerza para enfrentar los altibajos que se presentaron durante el camino y por permitirme compartir este triunfo con mis seres queridos. A mis padres Luz Marina Oviedo y Alfonso Polo Tevar y hermanos, por el apoyo incondicional que me han dado, por mantener viva en mí la esperanza de un mañana mejor y por compartir conmigo las tristezas y las alegrías. A los demás familiares, que de una u otra forma me apoyaron, especialmente a los seres incondicionales en especial a Carlos Gabriel Vargas Vargas, quienes siempre estuvieron conmigo apoyándome, dándome sus consejos y quien fue uno de los que hizo este sueño posible. A mis profesores, porque todos me dejaron enseñanzas muy grandes y valiosas y, de los que obtuve el conocimiento necesario para enfrentarme a los retos que me pondrá mi vida profesional. A mis amigos, Por compartir conmigo las más gratas experiencias y darme su apoyo en los momentos que más lo necesité. En general, gracias a Dios y a todas aquellas personas que contribuyeron, para que esto fuera posible, hoy con gran orgullo y satisfacción puedo decirles "lo logré"

ODAIR JOSE POLO OVIEDO

A mis padres, José Reginal Puentes Losada y Alba Luz Quintero Charry, los principales, gestores de los logros de mi vida.
A mis hermanos, mis fieles amigos, compañeros y cómplices.
A mis tías, Fabiola y Alicia, mis segundas madres. Sin ellas, nada de esto hubiera sido posible.
A mi esposa, Adriana y mis hijos, Alejandro, Nicolás y Julieta, mi fuerza, mi motivo y la razón de mi existir.

JORGE MARIO PUENTES QUINTERO

AGRADECIMIENTOS

Los autores ofrecen sus agradecimientos a:

A la ingeniera **Luz Marina Botero Rojas**, profesora de la Universidad Surcolombiana y directora del proyecto, por su colaboración, su constante e incansable enseñanza y su apoyo incondicional durante el desarrollo del proyecto.

A los ingenieros **Ervin Aranda Aranda** y **Luis Enrique Mantilla**, profesores de la Universidad Surcolombiana y evaluadores de este proyecto, por su gran disposición, interés y acertadas observaciones.

A **Elcy Obregón Tamayo** secretaria del programa de ingeniería de petróleos por toda la colaboración y apoyo prestado durante nuestro paso por la universidad.

A todos los docentes de la facultad de ingeniería de la Universidad Surcolombiana, por su enseñanza y colaboración durante el transcurso de la carrera.

A **Todos**, los que de una u otra forma influyeron en el desarrollo de este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	
1. GENERALIDADES DEL DISEÑO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO	2
1.1. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS	2
1.2. IMPORTANCIA DEL ALMACENAMIENTO	3
1.2.1. Tipos de tanques de almacenamiento	4
1.2.1.1. Almacenamiento a temperatura ambiente y presión atmosférica	5
1.2.1.2. Almacenamiento bajo presión a temperatura ambiente	6
1.2.1.3. Clasificación de los tanques según su capacidad de moverse	7
1.2.1.4. Clasificación de los tanques según la orientación de sus ejes de simetría	7
1.2.1.5. Clasificación de los tanques según la temperatura que debe mantenerse el fluido almacenado	8
1.3. TANQUES ATMOSFÉRICOS TIPO API 650	8
1.3.1. Tanques de techo fijo	9
1.3.2. Tanques de techo flotante	10
1.4. NORMAS, ESTANDARES Y CÓDIGOS UTILIZADOS	12
1.4.1. Aplicación del estándar API 650	13
1.4.2. AISC (Instituto Americano de Construcción de Acero)	15
1.5. Tanque de lavado (Gun Barrel)	16

1.5.1. Principios de funcionamiento	17
CAPITULO II	
2. DISEÑO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO	21
2.1. DIMENSIONAMIENTO	21
2.1.1. Dimensiones del cuerpo del tanque	21
2.1.2. Dimensiones de los muros	24
2.1.3. Número de láminas del cuerpo	24
2.2. MATERIALES	25
2.2.1. Materiales para el cuerpo del tanque	26
2.3. DISEÑO DEL CUERPO DEL TANQUE	28
2.3.1. Método del punto fijo o de un pie	32
2.4. ÁNGULO CIRCUNFERENCIAL PARA CARGAS DE VIENTO	33
2.4.1. Anillo superior o ángulo tope	34
2.4.1.1. Condiciones para presión interna menor y/o igual a 2,5 psig	36
2.5. DISEÑO DEL FONDO DEL TANQUE Y PLACA ANULAR	38
2.5.1. Diseño de la placa anular	39
2.6. DISEÑO, CONCEPTOS Y DEFINICIONES, PARA TANQUES DE TECHO FIJO CÓNICO	40
2.6.1. Parámetros geométricos de techos cónicos autosoportados.	41
2.6.2. Parámetros geométricos de techos cónicos soportados	42
2.6.3. Diseño y alternativas de techos cónicos (Autosoyortados)	43
2.6.4. Juntas de techo	49
2.7. DISEÑO Y SELECCIÓN DE ACCESORIOS PRINCIPALES	49
2.7.1. Manhole para el cuerpo	52

2.7.1.1.	Pernos y agujeros	54
2.7.1.2.	Empaques	54
2.7.1.3.	Alturas mínimas desde el empaque hasta el centro del agujero del manhole.	55
2.7.2.	Manhole para el techo.	61
2.7.3.	Boquillas y bridas para el cuerpo del tanque	62
2.7.4.	Boquillas y bridas para el techo del tanque	66
2.7.5.	Acceso de limpieza tipo lápida o caja o compuerta de sedimentos (puerta de limpieza de nivel)	67
2.7.6.	Sumidero para extracción de agua o tina de lodos	71
2.7.7.	Escaleras – pasamanos	72
CAPITULO III		
3.	ESTRUCTURACIÓN Y CONTENIDO DEL SOFTWARE	73
3.1.	FUNDAMENTOS DEL DISEÑO COMPUTACIONAL	73
3.1.1.	Definición del problema	74
3.1.2.	Parámetros y restricciones del problema	74
3.1.3.	Herramientas físicas – matemáticas. (Ingeniería).	74
3.1.4.	Herramientas de programación	74
3.1.4.1.	Visual Basic 6.0	75
3.1.4.2.	Microsoft Excel	76
3.1.4.3.	Microsoft Visual Studio	77
3.1.4.4.	Net. Framework	78
3.1.4.5.	Crystal Reports	79
3.1.5.	Estudio del mercado	79
3.2.	REQUERIMIENTOS DE HARDWARE	80

3.3.	ESTRUCTURA GENERAL DEL PROGRAMA	80
3.3.1.	Salida y presentación de la información	94
3.4.	DEPURACIÓN	95
3.5.	COMPILACIÓN (COMPILADO)	95
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
4.1.	CONCLUSIONES	96
4.2.	RECOMENDACIONES	96
	BIBLIOGRAFÍA	98

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Tanques de almacenamiento en la costa Atlántica.	4
Figura 1.2. Clasificación de los tanques de almacenamiento.	5
Figura 1.3. Tanque tipo de techo fijo.	10
Figura 1.4. Tanque tipo de techo flotante.	12
Figura 1.5. Gun Barrel.	16
Figura 2.1. Selección del grupo de material.	27
Figura 2.2. Detalle de la junta de compresión: Techo –ángulo – cuerpo.	34
Figura 2.3. Presión interna del tanque de techo cónico.	36
Figura 2.4. Unión cuerpo – fondo del tanque.	38
Figura 2.5. Arreglo de planchas para placa anular	39
Figura 2.6. Vista superior alternativa I-11	44
Figura 2.7. Vista superior alternativa I-12	44
Figura 2.8. Vista superior alternativa I-13 (A)	45
Figura 2.9. Vista superior alternativa I-13 (B)	45
Figura 2.10. Vista superior alternativa I-13 (C)	46
Figura 2.11. Vista superior alternativa I-14 (A)	46
Figura 2.12. Vista superior alternativa I-14 (B)	47
Figura 2.13. Vista superior alternativa I-14 (C)	47
Figura 2.14. Vista superior alternativa I-15 (A)	48
Figura 2.15. Vista superior alternativa I-15 (B)	48

Figura 2.16. Vista superior alternativa I-15 (C)	49
Figura 2.17. Accesorios de tanque, boquillas y placa de refuerzo.	50
Figura 2.18 Descripción y geometría de aberturas	51
Figura 2.19 Manhole del cuerpo	53
Figura 2.20 Empaques del manhole	54
Figura 2.21. Unión cuello del manhole - cuerpo del tanque.	55
Figura 2.22. Manhole en el techo del tanque.	61
Figura 2.23. Tipos de boquillas – bridas	63
Figura 2.24. Tipo de soldadura para bridas.	64
Figura 2.25. Tipo de boquillas y bridas para el techo.	66
Figura 2.26. Accesorios de limpieza a nivel.	68
Figura 2.27. Coeficiente de área determinado por el mínimo reforzamiento y accesorio de limpieza	69
Figura 2.28. Sumidero para extracción de agua o tina de lodos.	71
Figura 3.1. Ventana principal PULPO	81
Figura 3.2. Ventana simulador PULPO	81
Figura 3.3. Ingreso de datos de entrada.	82
Figura 3.4. Dimensiones de la placa.	82
Figura 3.5 Datos de salida – volúmenes	83
Figura 3.6. Número de anillos	83
Figura 3.7. Datos de salida – Pestaña 1	84
Figura 3.8 Grupo de materiales	84
Figura 3.9 Selección de grupo de materiales	85
Figura 3.10 Selección de tipo de material	85

Figura 3.11. Datos de salida – pestaña 2	86
Figura 3.12. Anillos	86
Figura 3.13. Fondo y techo	87
Figura 3.14. Datos de lámina de techo	87
Figura 3.15. Accesorios	88
Figura 3.16. Manhole del cuerpo y techo (1)	89
Figura 3.17. Manhole del cuerpo y techo (2)	89
Figura 3.18. Datos de salida – manhole	90
Figura 3.19. Accesorios – imágenes	90
Figura 3.20. Imagen del manhole del cuerpo	91
Figura 3.21. Boquillas	91
Figura 3.22. Datos salida boquillas I	92
Figura 3.23. Boquillas II	92
Figura 3.24. Placas	93
Figura 3.25. Sumideros, escaleras y pasamanos	93
Figura 3.26. Resumen pdf datos simulados	94
Figura A.1. Lamina de acero, Designación ASTM.	101
Figura A.2. Proceso de rolado de láminas.	103
Figura A.3. Sujeción por soldadura en tanques de almacenamiento.	105
Figura A.4. Ingenieros inspeccionando tanques.	109
Figura A.5. Base circular asentada y alineada lista para montar.	111
Figura A.6. Columnas armadas montadas sobre la base del tanque.	111
Figura A.7. Montaje de columnas – estructuras auxiliar soportante.	113
Figura A.8. Montaje techo – estructura terminada.	114

Figura A.9. Montaje del cuerpo – estructura terminada.	115
Figura A.10. Montaje de las placas – colocación y ajuste.	116
Figura A.11. Montaje de cartelas – unión estructura – envolvente del tanque.	116
Figura A.12. Montaje del anillo o ángulo de rigidez.	117
Figura A.13. Montaje de accesorios del tanque	118
Figura A.14. Unión por soldadura de los elementos que conforman la estructura del tanque.	120
Figura A.15. Soldadura manual eléctrica por arco con electrodo revestido.	124
Figura A.16. Soldadura eléctrica por arco con alambre sólido como electrodo y protección gaseosa	125
Figura A.17. Diagrama de equipo para soldadura con arco de metal y a gas.	126
Figura A.18. Soldadura eléctrica por arco con alambre tubular como electrodo.	127
Figura A.19. Equipo típico para soldadura.	128
Figura A.20. Esquema de procesos de soldadura por arco sumergido.	129
Figura A.21. Soldadura por arco de plasma.	131
Figura A.22. Grado de óxido A	136
Figura A.23. Grado de óxido B	137
Figura A.24. Grado de óxido C	137
Figura A.25. Grado de óxido D	137
Figura A.26. Descripción de los procesos de limpieza con chorro de arena	140
Figura A.27. Limpieza con chorro de arena	141
Figura A.28. Descripción de un recubrimiento de pintura y aditivos.	143
Figura A.29. Placa de fabricación de pintura	144
Figura A.30. Momento en que se realiza el mezclado por medio de una batidora.	145

Figura A.31. Mezclado y diluido de pintura.	146
Figura A.32. Aplicación de la pintura por medio de brocha.	149
Figura A.33. Aplicación de la pintura por medio de soplete.	150
Figura A.34. Tipos de indicadores de nivel usados en tanques	157
Figura A.35. Vista superior de Ubicación de Instrumentos	158
Figura A.36. Vista lateral y ubicación de instrumentos. a) Vista lateral derecha del tanque; b) Vista lateral izquierda del tanque.	158

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Almacenamiento a temperatura ambiente.	6
Tabla 1.2. Aplicación de tanques con baja presión a temperatura ambiente.	7
Tabla 1.3. Clases de normas API para diseño de tanques.	13
Tabla 2.1. Múltiplos de diámetros recomendados para la construcción de tanques	23
Tabla 2.2. Acero ASTM a 283- Gr C (Unidades Inglesas).	28
Tabla 2.3. Mínimo espesor de láminas para diferentes diámetros.	29
Tabla 2.4 Los esfuerzos máximos permisibles para diseño y prueba hidrostática.	30
Tabla 2.5. Grupo de materiales.	31
Tabla 2.6. Ángulos recomendados con respecto para tanques con techo cónico.	35
Tabla 2.7. Selección de espesor de plancha para anillo anular.	40
Tabla 2.8. Mínimas distancias de separación de las principales aberturas del cuerpo	51
Tabla 2.9. Diámetros de pernos y agujeros del manhole.	54
Tabla 2.10. Dimensiones del empaque del manhole	54
Tabla 2.11. Altura mínima desde la base del tanque hasta el centro del manhole	55
Tabla 2.12. Espesor de la tapa Tc y la brida Tf.	56
Tabla 2.13. Espesor del cuello del Manhole del cuerpo Tn.	57

Tabla 2.14. Diámetro del eje circular de los agujeros Db y diámetro de la tapa del manhole Dc.	58
Tabla 2.15. Dimensiones de las boquillas del cuerpo.	59
Tabla 2.16. Dimensiones de las boquillas del cuerpo: tubos placas y tamaño del filete de soldadura.	60
Tabla 2.17. Dimensión del manhole para el techo.	62
Tabla 2.18. Dimensiones para bridas en boquillas	65
Tabla 2.19. Dimensiones para boquillas – bridas en techo.	67
Tabla 2.20. Dimensiones para el acceso de limpieza.	70
Tabla 2.21. Espesores de la placa de cubierta, pernos y reforzamiento del fondo para el acceso de limpieza.	70
Tabla 2.22. Espesores y altura de la placa de refuerzo del cuerpo para accesorios de limpieza.	71
Tabla 2.23. Diámetro del sumidero	72
Tabla 2.24. Relación entre huella, contrahuella y ángulo de elevación.	72
Tabla A.1. Dimensiones y/o capacidades de la instrumentación del tanque, de acuerdo a su capacidad de almacenamiento.	161
Tabla A.2. Velocidad (en ft/s) de entrada de fluido a los tanques, de acuerdo al diámetro de la tubería y al caudal.	162

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1: Procedimiento de fabricación.	100
ANEXO 2: Control de calidad, calibración e inspección.	107
ANEXO 3: Proceso de montaje y construcción.	110
ANEXO 4: Procedimiento de soldadura.	120
ANEXO 5: Inspección de la soldadura.	133
ANEXO 6: Limpieza de tanques de acero antes de aplicación de pintura y productos análogos.	136
ANEXO 7: Aplicación de la pintura en tanques.	143
ANEXO 8: Reglas generales de seguridad industrial.	152
ANEXO 9: Instrumentación de los tanques de almacenamiento	153

RESUMEN

En la industria del petróleo, con la necesidad de almacenar los fluidos que se utilizan, se han generado soluciones a partir de normas y leyes establecidas; estas en algunas ocasiones suelen ser muy costosas.

Para esto se ha generado el presente estudio, que consiste en la realización de un software para el diseño de tanques de almacenamiento de petróleo, basado en la norma API 650: WELDED STEEL TANKS FOR OIL STORAGE, TANQUES SOLDADOS DE ACERO PARA ALMACENAMIENTO DE PETRÓLEO, del Instituto Americano del Petróleo, debido a que es la norma más utilizada para la construcción de tanques de uso en la industria petrolera y en el que se cubren aspectos tales como materiales, diseño, proceso y pasos de fabricación y pruebas.

Este software, basado en parámetros previamente introducidos por el comprador, realiza el diseño de un tanque de almacenamiento, incluyendo: Dimensiones del tanque, materiales a utilizar, diseño de cuerpo, fondo y techo, así como los accesorios básicos para su correcto funcionamiento.

ABSTRACT

In the oil industry, with the need to store fluids, solutions have been generated from standards and laws; these solutions are usually very expensive.

This reason, has generated our study, which is the implementation of software for the design of oil storage tanks based on API 650 standard norm: WELDED STEEL TANKS FOR OIL STORAGE, from The American Petroleum Institute, because it is the most used for the construction of tanks used by the oil industry and in which aspects such as materials, design, process and manufacturing steps and standard tests are covered.

This software, based on parameters previously entered by the buyer, makes the design of a storage tank, including: Tank dimensions, materials used, design body, bottom and roof, as well as the basic accessories for proper operation.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de almacenar los recursos energéticos como el petróleo, para controlar mejor la producción, su transporte, distribución y utilización es evidente en la medida en que se desea asegurar un abastecimiento abundante y regular de la industria y de los consumidores.

El almacenamiento proporciona a la industria una mejor planificación en las diferentes operaciones que se realizan tales como: distribución, reservas, inventario, transporte, tratamiento, refinación, etc. Con mayor exigencia, la industria petrolera, que requiere de recipientes con características particulares para almacenar una variedad de productos como son: crudo y sus derivados, butano, propano, gas licuado del petróleo, solventes, agua, etc.

Todo esto y la alta dependencia del almacenamiento tanto para el crudo bruto como para sus derivados, han motivado que organismos e institutos realicen normas o estándares, las mismas que son leyes y principios para el diseño, fabricación, mantenimiento, inspección técnica, de estos recipientes de almacenamiento. La norma encargada de la construcción de Tanques de Almacenamiento es API 650. WELDED STEEL TANKS FOR OIL STORAGE, TANQUES SOLDADOS DE ACERO PARA ALMACENAMIENTO DE PETRÓLEO, DEL INSTITUTO AMERICANO DEL PETRÓLEO.

La finalidad de este trabajo es presentar un informe sobre los parámetros de diseño, fabricación, montaje, y mantenimiento de tanques de almacenamiento de techo cónico, reuniendo todos estos puntos en un paquete de programación, el cual permite evaluar de una manera rápida y segura, cada una de las posibles alternativas de diseño, para lograr crear una ayuda técnica de construcción de tanques a la que se denominó: SOFTWARE PARA DIMENSIONAMIENTO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO Y GUN BARREL PARA UNA BATERÍA.

CAPITULO I

1. GENERALIDADES DEL DISEÑO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO

En el presente capítulo se presentan las bases fundamentales para abordar el tema de diseño de tanques; se hace una introducción a las generalidades del diseño de tanques de almacenamiento de crudo, tipos de tanques, normas utilizadas en dicho diseño y clasificación de estas normas. También se expone la importancia de la realización de este trabajo de grado.

1.1. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS

A continuación, se definen los conceptos más empleados en el presente libro, con la finalidad de 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 bridadas 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, objetos en tránsito y/o personas, 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).

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 presiones internas relativamente bajas.

1.2. Importancia del almacenamiento

La necesidad de almacenar los recursos energéticos como el petróleo, para controlar mejor su producción, transporte, distribución y utilización, es evidente en la medida en que se desea asegurar un abastecimiento abundante y regular de las industrias y de los consumidores.

El almacenamiento proporciona a la industria una mejor planificación en las diferentes operaciones que se realizan tales como: distribución, reservas, inventario, transporte, tratamiento, refinación, etc. Con mayor exigencia, la industria petrolera, que requiere de recipientes con características particulares para almacenar una variedad de productos como son: crudo y sus derivados, butano, propano, gas licuado del petróleo, solventes, agua, etc.

El almacenaje de los líquidos tales como el petróleo, nafta, fuel oil, diesel, kerosene u otros derivados petroquímicos que se pueden conservar a presión y temperatura ambiente se efectúa normalmente en tanques cilíndricos de fondo plano, techo fijo, o flotante, a fin de evitar la acumulación de gases dentro de los mismos.



Figura 1.1 Tanques de almacenamiento en la costa Atlántica. (Colombia).

En la construcción de los mismos se emplean laminas de acero de distintos espesores conforme su posición relativa en la estructura del tanque. Estas piezas se sueldan entre sí de acuerdo a normas de construcción que garantizan la integridad y posterior funcionamiento del almacenaje. Los tanques atmosféricos soldados están diseñados para soportar presiones internas (manométricas) del orden de 2,5 psi y se han construido de hasta 240000 m³ de capacidad. A efectos de prever el daño que puede ocasionar la rotura o rebalse del mismo, se construye un dique o muros de contención alrededor de cada tanque instalado en el sitio.

1.2.1. Tipos de tanques de almacenamiento.

Generalmente el primer paso para el diseño de cualquier recipiente de almacenamiento, es la determinación del tipo de tanque a utilizar, los principales factores que influyen en esta decisión son: la función y localización del tanque, la naturaleza del fluido, la temperatura y presión de operación, y el volumen necesario de almacenaje o la capacidad para procesamiento. La tabla 1.1 muestra la clasificación de los tanques de almacenamiento.

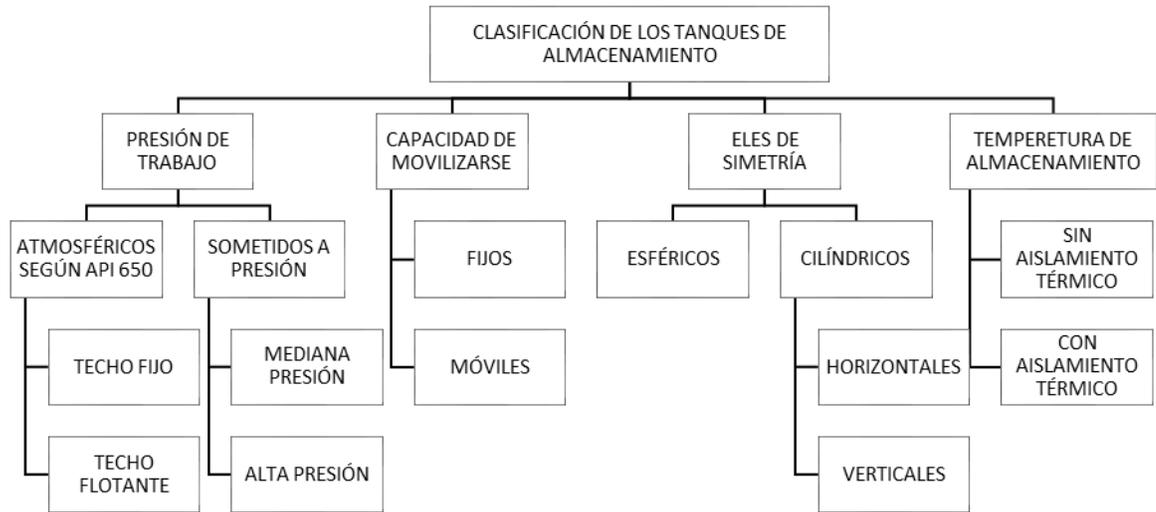


Figura 1.2 Clasificación de los tanques de almacenamiento.

1.2.1.1. Almacenamiento a temperatura ambiente y presión atmosférica.

La presión de operación máxima en este tipo de tanques, es la presión atmosférica, cuando se almacene petróleo o productos derivados se requiera de protección del producto contra agentes externos (lluvia, basura, granizo, etc.), esto se logra con la implementación de un techo. Los principales tipos de tanques atmosféricos son:

- Tanques sin techo (No son utilizados en la industria petrolera).
- Tanques con techo flotante (FRT: Floating Roof Tank).
- **Tanques con techo cónico (CRT: Cone Roof Tank).**
- Tanques con techo con domo (DRT: Dome Roof Tank).
- Tanques con techo flotante interno (IFRT: Internal Floating Roof Tank).
- Tanques de techo flotante externo (EFRT: External Floating Roof Tank).

Se utiliza como una guía inicial la figura 1.2, para la selección del tanque apropiado en función del producto almacenar.

Algunos tipos de tanques		Tanque sin techo	Tanque techo flotante con Pontones	Tanque con techo cónico soportado y membrana flotante interna	Tanque con techo cónico o domo auto soportado	Tanque con techo cónico soportado	Tanque con techo cónico o domo auto soportado con techo flotante interno
							
Presión de almacenamiento		Atm.	Atm.	Atm.	+25 (0.36) -5 (0.07) mbar (psi)	+5 (0.07) -2.5 (0.04) mbar (psi)	Atm.
Producto a almacenar	Agua potable				X	X	
	Agua no tratada	X			X	X	
	Desmineralizada				X		
Hidrocarburos	Gasolina		X	X	X		X
	Benzina - Tolueno			X	X		X
	Keroseno		X	X			X
	Nafta		X	X			X
	Diesel				X	X	
	Lodos				X	X	
	Aceites				X	X	
	Asfalto				X	X	

Tabla 1.1 Almacenamiento a temperatura ambiente.

1.2.1.2. Almacenamiento bajo presión a temperatura ambiente

Dentro de estos tipos de tanques para almacenamiento, los principales son:

- **Hemisferoides:** la presión de almacenamiento máxima en este tipo de recipientes es de 5.08 psi.
- **Esferoides:** la presión de almacenamiento del producto es de máximo 29.01 psi. Los tanques hemisferoides y esferoides son tanques que se utilizan para almacenamiento de líquidos muy volátiles (líquidos con bajo flash point).
- **Esferas con presión alta:** por la presión alta de almacenamiento estos funcionan hasta 362.59 psi.

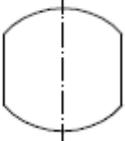
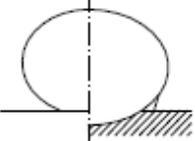
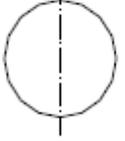
			
	Hemisferoide	Esferoide	Esfera
Presión de almacenam.	+350 mbar (5.08 psi) -5 mbar (0.07 psi)	≤ 2 bar (29.01 psi) -5 mbar (0.07 psi)	≤ 25 bar (362.59 psi)
Producto a almacenar	Gasolina Super Pentano	Gasolina liviana	Gases licuados Gases comprimidos

Tabla 1.2 Aplicación de tanques con baja presión a temperatura ambiente.

1.2.1.3. Clasificación de los tanques según su capacidad de movilizarse

- **Fijos:** Los que están contruidos en un punto fijo; para poder trasladarlos es necesario desarmarlos.
- **Estacionarios:** Son tanques, que pueden ser trasladados con la ayuda de un medio externo, grúas, camiones; sin embargo están diseñados para trabajar en condiciones estacionarias.
- **Transportables:** Tanques, que disponen de movilización propia o son fácilmente trasladables, están diseñados para el transporte de fluidos principalmente.

1.2.1.4. Clasificación de los tanques según la orientación de sus ejes de simetría

- **Esféricos:** Se usan generalmente para almacenar productos con una presión de vapor bastante alta, como propano, butano, etc.
- **Cilíndricos:** Según la orientación de sus ejes de simetría, pueden ser verticales u horizontales.

1.2.1.5. Clasificación de los tanques según la temperatura a la que debe mantenerse el fluido almacenado.

Cuando el almacenamiento es con un medio refrigerado a temperaturas cercanas a los 0 °C, la temperatura del líquido es reducida hasta conseguir una presión de almacenamiento cercana a los 72.51 psi. Para mantener al producto estable se requiere que las paredes sean aisladas térmicamente. Este tipo de recipientes se utiliza para el almacenamiento principalmente de productos como amoníaco, propano y propileno.

Almacenamiento refrigerado al punto normal de ebullición (PNE) hasta temperaturas de -60 °C: este tipo de tanque opera con presiones atmosféricas hasta máximo de 2.18 psi. Las paredes dispondrán de aislamiento térmico. Al igual que en el caso anterior se requiere enfriar el producto hasta lograr que la presión alcance a la presión atmosférica equivalente a su PNE. Amoníaco, gas licuado de petróleo y cloruro de vinilo son productos almacenados en este tipo de recipientes.

Tanques térmicos, son aquellos que mantienen una temperatura adecuada dando mayor fluidez a productos de alta viscosidad para facilitar su transporte. Se recomienda que los productos sean mantenidos a temperaturas mayores a los 8 °C a la de su punto de escurrimiento o que la viscosidad cinemática sea mayor a 300 cst.

1.3. TANQUES ATMOSFERICOS TIPO API 650

Existe una gran variedad de tanques atmosféricos, sin embargo el presente índice hace referencia a aquellos tanques atmosféricos tipo API 650. Este tipo de tanque es muy utilizado en instalaciones petroleras como: baterías de almacenamiento, producción, bombeo y refinerías; en cada uno de estos puntos se almacenan diferentes tipos de hidrocarburos tales como el petróleo crudo, productos intermedios como agua de producción o terminados como gasolinas, diesel, combustóleo (fuel oil). Por esta razón no solo un tipo de tanque es apropiado para el almacenamiento de los diferentes productos.

El código API 650 considera dos tipos de tanques de almacenamiento a presión atmosférica: el primero contempla **los tanques de techo fijo**, este tipo de tanque es fundamentalmente usado para productos poco volátiles como petróleo crudo; al segundo tipo pertenecen **los tanques de techo flotante**, este tipo de tanque como su nombre lo indica tiene un techo no soportado, el cual flota sobre el fluido

almacenado, manteniendo un volumen y presión constante sobre la superficie del producto, con lo cual se minimizan los efectos de la respiración del tanque en los procesos de carga o descarga; reduciendo también la formación de vapores con sus consecuentes peligros de explosión.

1.3.1. Tanques de techo fijo.

Los tanques de techo fijo se diseñan para presiones internas bajas. Son diseñados en conformidad con la estándar API 650 con presiones menores a 2.5 psi. Estos en su mayoría, tienen techo cónico, el cual puede ser soportado por una estructura interna, o puede ser auto soportado por las propias paredes del tanque. Debido a su menor costo y facilidad de fabricación, estos son los más populares en especial en la industria petrolera.

La clara desventaja de este tipo de tanques es la pérdida permanente de vapores por los venteos. Cuando un petróleo volátil se almacena en un tanque de techo fijo libremente ventilado, la concentración de vapores volátiles en el espacio varía dependiendo de las condiciones de presión y temperatura en las que opera el tanque con las consecuentes pérdidas del producto; este efecto se produce por la respiración del tanque: cuando el tanque se llena, el vapor sobre el líquido se desplaza a la atmósfera; cuando el tanque se vacía, entra aire al tanque y se origina una evaporación posterior.

Los venteos libres (conocidos también como cuellos de ganso) permiten la emisión de vapores, logrando que el interior se mantenga aproximadamente a la presión atmosférica, pero las pérdidas por la respiración del tanque son inevitables. Se dispone además de venteos de presión de vacío que evitan una sobrepresión o un vacío en el interior del tanque. Estos dos accesorios son montados sobre el techo suministrando una suficiente capacidad de venteo, protegiendo al tanque de daños por efectos de variación de presión. Los requerimientos para venteos normales y de emergencia para los tanques refrigerados o no, son cubiertos por el estándar API 650.

Existen otras dos opciones de techo fijo como son los techos domo de aluminio que resuelven algunos inconvenientes que generan los techos cónicos de acero. Un domo geodésico de aluminio auto soportado está compuesto de vigas estructurales, con sus uniones siguiendo la superficie de una esfera, cubiertas con hojas de aluminio triangulares de bajo grosor.

Estos tipos de tanques son muy utilizados sobre todo para el almacenamiento de petróleo crudo en campos de producción, en ciertos procesos dentro de estos campos, y para el almacenamiento de productos poco volátiles en refinerías y estaciones de bombeo. Excepcionalmente, grandes consumidores de hidrocarburos también tienen tanques propios de almacenamiento.

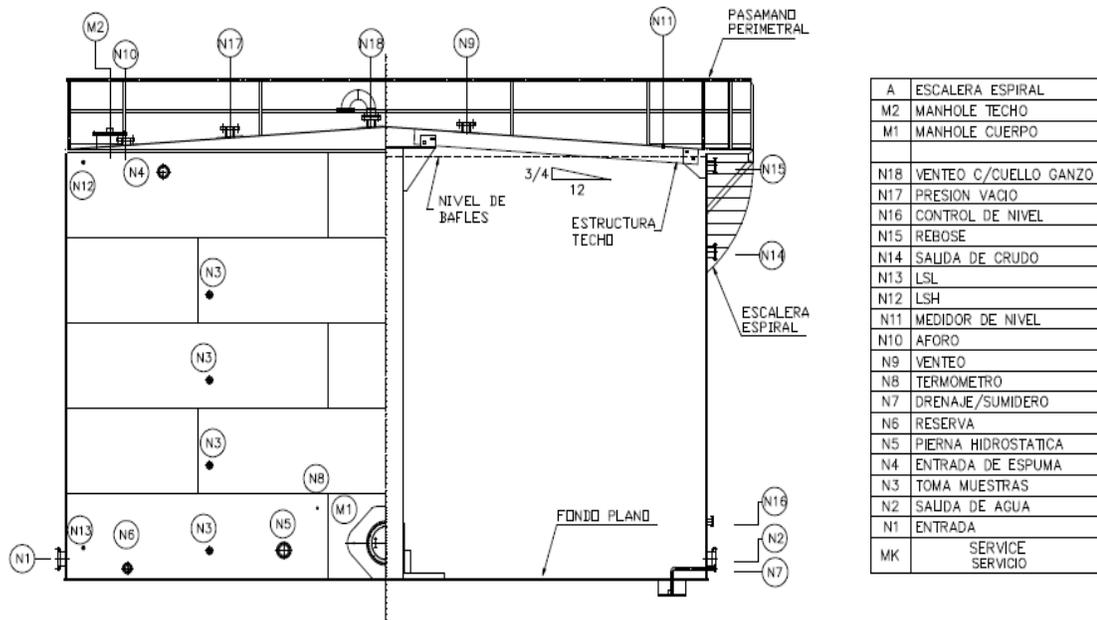


Figura 1.3 Tanque tipo de techo fijo

1.3.2. Tanques de techo flotante

Este tipo de tanques es más costoso y bastante complicado de construir y mantener. Su construcción se justifica, cuando se van a almacenar productos con un bajo punto de inflamación (flash point) y se desean reducir las pérdidas por evaporación. El sistema es sobre todo utilizado para el almacenamiento de combustibles de alto punto de destilación como la gasolina. **En este proyecto solo se tratan los tanques de techo fijo. Los de techo flotante no se tratarán a fondo debido a que el diseño de los sistemas de flotación están patentados y solamente los titulares de esas patentes pueden divulgar información al respecto.**

Existen tres tipos básicos de techos flotantes:

- **Tipo bandeja:** (Pan Type) Fue el primer tipo de techo flotante construido y ya prácticamente no se usa a pesar de su bajo costo, por su baja estabilidad sobre todo en zonas de alta precipitación.
- **Tipo Pontón:** (Pontoon Type) Este tipo de techo se utiliza para diámetros entre 18 y 90 metros es más estable y reduce las posibilidades de evaporación por debajo de la cubierta. El sistema de flotación consiste de pontones anulares cuyo número varía según el diámetro y una cubierta simple en el centro; La cámara de aire del pontón además de proporcionar flotación se convierte en un medio aislante. La gran ventaja de este tipo de techo es que los vapores que se atrapan bajo el centro de la cubierta forman una capa aislante hasta que se condensan.
- **Tipo cubierta doble** (Double Deck Type) Es sin duda el diseño más avanzado, más seguro pero más costoso, por esta razón se usa generalmente en diámetros mayores a 90 metros: bajo este diseño se elimina prácticamente cualquier posibilidad de evaporación debido a que está diseñado para mantenerse a flote a pesar de tener los pontones inundados, esto es gracias a la cámara de aire que está formada entre las cubiertas, adicionalmente esta cámara de aire funciona como una capa aislante, que minimiza la evaporación del producto almacenado.

Un sistema en boga, consiste en utilizar tanques de techo fijo con membranas internas flotantes, de esta forma se logran aprovechar las ventajas de ambos métodos, es importante mencionar que este método se debe utilizar solo cuando los beneficios económicos de la reducción de evaporación justifique la inversión en las membranas flotantes, el principio para la flotación del techo es la suspensión de grandes flotadores llenos de aire (pontones).

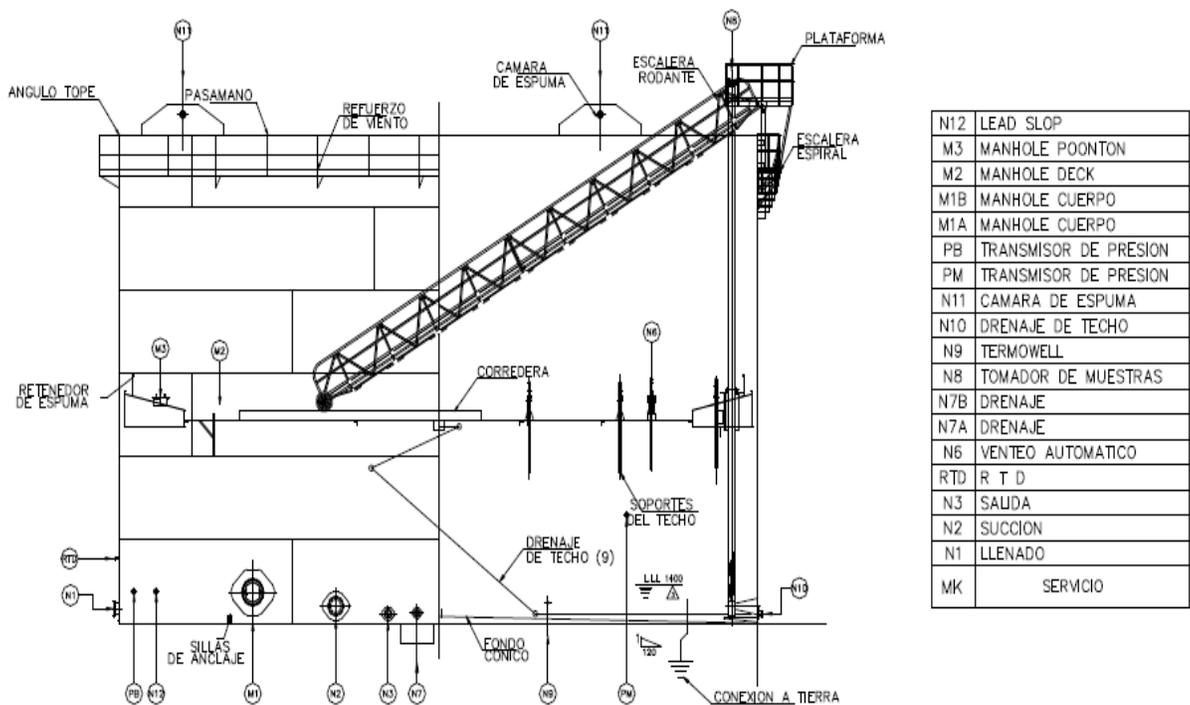


Figura 1.4 Tanque tipo de techo flotante.

1.4. NORMAS Y CÓDIGOS UTILIZADOS

En cada país, existe una entidad que regula las actividades de diseño y construcción a través de la emisión de reglamentos y códigos, estándares o normas. Dichos reglamentos están basados en Códigos reconocidos a nivel mundial y que son adaptados de acuerdo a algún grado de investigación o desarrollo tecnológico.

El estándar API 650, American Petroleum Institute, Welded Steel Tanks for Oil Storage, (traducido: Instituto Americano del Petróleo). Tanques soldados de acero para almacenamiento de petróleo, reconocido por su uso generalizado en todo el mundo y aceptado por varios países incluyendo Colombia, es aplicado por varias empresas de metalmecánicas dedicadas al diseño y construcción de tanques para la industria petrolera principalmente.

Para el desarrollo de la memoria de los tanques, se utilizaron las consideraciones más estrictas de diseño de sismo-resistencia, proporcionadas por el reglamento colombiano Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-

98 (Ley 400 de 1998, decreto 33 de 1998) y por el apéndice E de API 650 decima edición (publicada en 1998 con adenda 1 de marzo de 2000).

1.4.1. Aplicación del estándar API 650

Como las siglas del código lo que indican es que este ha sido recopilado, publicado y actualizado por la API. Actualmente, existen diez códigos desarrollados por al API, relacionados con tanques de almacenamiento.

12 B	Tanques empernados para el almacenamiento de líquidos de producción
12 D	Tanques soldados en campo para el almacenamiento de líquidos de producción; este código cubre tanques con capacidades nominales de 500 hasta 10.000 barriles.
12 F	Tanques soldados en taller para el almacenamiento de líquidos de producción; este código cubre tanques con capacidades nominales desde 90 hasta 500 barriles.
12 P	Tanques plásticos reforzados con fibra de vidrio.
620	Diseño y construcción de grandes tanques de almacenamiento soldados para trabajar a bajas presiones.
650	Tanques soldados de acero para el almacenamiento de petróleo.

Tabla 1.3 Clases de normas API para diseño de tanques.

Sin embargo para fines del presente proyecto se va a trabajar y mencionar el código API 650, que indica los procedimientos que rigen el diseño y fabricación para tanques soldados de almacenamiento de petróleo, el cual está conformado por 8 secciones más 18 apéndices los cuales son:

- **SECCIONES:**

1. Alcance del código.
2. Materiales
3. Diseño.
4. Procesos de fabricación.
5. Procedimientos de montaje.
6. Procedimientos de inspección.

7. Procedimientos de soldadura y calificación de soldadores.
8. Identificación de tanque.

- **APENDICES:**

- A. Diseño opcional para pequeños tanques.
- B. Especificaciones de diseño y construcción de bases de tanques.
- C. Diseño para almacenamiento de hidrocarburos con un punto de inflamación menor a 200°F.
- D. Relacionado con posibles consultas que se pueda hacer sobre aspectos técnicos.
- E. Menciona los factores sísmicos que deben de ser considerados en el diseño de un tanque.
- F. Diseño de tanques sometidos a pequeñas presiones.
- G. Techos de aluminio soportados estructuralmente.
- H. Techos flotantes internos.
- I. Detección de fugas en la parte inferior de tanques.
- J. Ensamble en taller de los tanques de almacenamiento
- K. Ejemplo de determinación del espesor de la lámina de un tanque por el método de punto variable.
- L. Hojas de datos para tanques atmosféricos según el estándar API 650.
- M. Requerimientos para tanques que operan a temperaturas entre 200 °F y 500 °F.
- N. Condiciones para el uso de materiales que no hayan sido perfectamente identificados.
- O. Recomendaciones para conexiones ubicadas en el fondo.
- P. Cargas externas permisibles en las aberturas del cuerpo del tanque.
- S. Tanques de acero inoxidable austenítico.

El estándar Api 650, tanques de acero soldados para almacenamiento de petróleo, cubre los materiales, el diseño, la fabricación y el montaje de los tanques de acero verticales, techo abierto o cerrado con fondo uniformemente soportado.

Los puntos que desarrolla este estándar, ayuda al diseño de tanques atmosféricos bajo ciertas condiciones:

- La presión de diseño es aproximadamente la presión atmosférica (1 atm o 14.696 psi), con un alcance de una presión interna de 2.5 psi siempre y cuando se reúnan los requerimientos del estándar API 650.

- La temperatura de operación máxima del tanque es de 200 °F. Sin embargo el Apéndice M provee requerimientos para tanques que operan a una temperatura de diseño mayor a los 200 °F, pero que no excedan 500 °F.

De esta manera el estándar API 650, proporciona tanques seguros y de razonable costo para el cliente, cumpliendo con las necesidades de acuerdo a sus especificaciones. A pesar de que este estándar ha sido utilizado como una fuente muy confiable para el diseño de tanques, claramente señala que los tanques diseñados deben cumplir con ciertos aspectos mínimos y deja a criterio del diseñador la ingeniería de detalle.

Es por este motivo que el “know-how” aplicado por las empresas metalmeccánicas, es celosamente cuidado, explicación para que no exista información suficiente disponible para el diseño de estos recipientes.

1.4.2. AISC (instituto americano de construcción de acero).

El instituto americano de construcción del acero, es el que gobierna el plan de fabricación, erección, resistencia, materiales y estudio de cargas de todo lo referente al diseño de estructuras metálicas con acero. Tiene una notable aceptación en todo el mundo.

El manual de construcción de acero, en su sección Standar Mill Practice (práctica normal de acería), define que la longitud máxima de un perfil puede ser hasta 100 ft. Sin embargo cuando se realiza la importación o compra de estos perfiles, las longitudes son: 20, 30 y 40 ft. Una gran ventaja de los perfiles laminados en caliente que propone este instituto es la gran variedad existente de los mismos, así como también los diferentes pesos que se encuentran para una misma lámina de perfil, lo que permite trabajar con perfiles de serie liviana o pesada.

Existen diferentes tipos de accesorios o formas disponibles de estos perfiles, entre ellos se destacan: perfiles I (formas WF, M, S, HP), canales americanos estándar (C), canales misceláneos (MC), y ángulos (L), de ala igual o desigual.

Además proporciona, conceptos, definiciones, tablas de cortantes, tablas de momentos, definiciones de esfuerzos permisibles, tanto para tracción, compresión, flexión, corte, restricciones para las estructuras metálicas, y formulas para los diferentes estados de carga en el diseño, las mismas que deben ser reconocidas por el fabricante, y que son una gran ayuda en el momento de realizar el cálculo estructural.

1.5. TANQUE DE LAVADO (GUN BARREL)

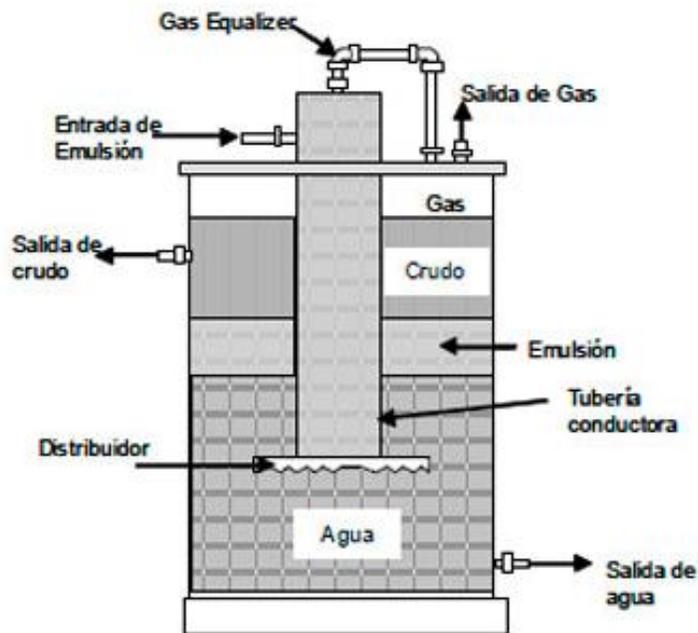


Figura 1.5. Gun Barrel.

Básicamente, un tanque de lavado, o más comúnmente llamado Gun barrel, es un tanque de asentamiento provisto de una serie de equipos que permite observar y supervisar la separación del agua del crudo.

En general, el Gun barrel está compuesto por cinco partes principales, cada una de las cuales presenta su propia función o propósito específico.

La línea de entrada: Es la tubería que conduce la emulsión (agua y aceite) desde el separador que contiene gas y aceite hasta el Gun barrel.

La tubería conductora: (también conocido como boot, flume o pila) es una tubería larga a través de la cual la emulsión pasa antes de llegar al fondo del Gun barrel. El boot puede ser montado en cualquier parte, tanto interior como exterior del tanque y funciona para tres propósitos fundamentalmente:

- Separar el gas de la emulsión en el interior de la tubería conductora y reducir la turbulencia con la que llega el fluido desde el separador.
- Esta funciona como un tanque agitador para prevenir pegadas de emulsión siendo expulsadas hacia el Gun barrel, es decir, aquellas gomas o pedazos de pegadas que provienen del separador, no quedan atrapadas dentro de la

tubería conductora, sino que pasan o se descargan directamente al fondo del tanque del Gun barrel.

- La expansión o incremento de la emulsión y su disipación dentro del tanque del Gun barrel, ocurre a través de un spreader que está ubicado cerca del fondo del tanque y permite hacer pasar la emulsión a través del agua libre.

El cuerpo o tanque: contiene el agua de lavado (o capa de agua), emulsión y capa de aceite limpio y permite llevar un control de tiempos para el aceite y el agua por separado.

La salida del agua: también llamado patada de agua o sifón exterior posee dos principales funciones:

- Suministrar una salida para el agua que se ha separado de la emulsión.
- Es usado para regular la cantidad de agua contenida en el Gun barrel (altura de agua).

La línea de salida para el aceite: permite conducir el aceite limpio del Gun barrel hacia los tanques de almacenamiento.

La mayoría de los Gun barrel tienen varias partes importantes, tales como equilibradores de gas entre el tanque y la tubería conductora, teniendo en cuenta que debido a seguridad industrial, las líneas son independientes y se envían a sistemas de venteo diferentes, líneas de gas, líneas de sangrado y medidores barométricos.

1.5.1. Principios de funcionamiento.

Los principios por los cuales opera el Gun barrel, son muy estudiados e investigados, siguiendo los pasos o caminos de la emulsión a través del tanque y su descripción en cada proceso.

Generalmente se asume, que en los tanques de asentamiento se presenta una sola separación principal del agua y el aceite, y que no intervienen otros factores como el calor o químicos adicionales; sin embargo, frecuentemente los químicos son inyectados y el sistema de transferencia de calor es instalado dentro del tanque antes de que la emulsión pase a través de éste y llegue hasta el Gun barrel.

Agentes emulsificantes:

Dentro de los activantes de la superficie que alteran la interface agua-aceite tenemos:

- Carbonatos de calcio
- Sulfato de aluminio
- Silica
- Sulfato de hierro
- Ácidos solubles en aceites

Sistemas térmicos:

El principio básico es debilitar y romper las películas que envuelven las gotas de agua y permite:

- Aumentar la diferencia de densidades
- Reducir la viscosidad del aceite
- Dilatación de la película.
- Reducción de la tensión superficial.

Como la emulsión que proviene del separador, pasa por la línea de entrada hacia la tubería conductora, estará sujeta a una presión atmosférica. Para ello es necesario contrarrestar la presión que proviene del separador de aceite y gas, la cual está localizada en la corriente de emulsión delante del Gun barrel. En este punto, parte del gas que viene en solución se liberará por la caída de presión a la entrada de la emulsión en el Gun barrel.

Este gas es llevado hacia fuera a través de la línea exterior de gas y posteriormente es venteado o pasa a un sistema de acumulación de gas.

Solo se va a permitir el paso de fluidos hacia la parte de abajo dentro de la tubería conductora para entrar en el Gun barrel y este va a estar próximo o cerca del fondo del tanque.

Un spreader, expansor o difusor esta frecuentemente situado en el fondo de la tubería conductora para extender o propagar la emulsión que está distribuida en el agua libre a través del tanque de lavado. Si el spreader, no estuviera aquí la emulsión no podría cambiar a través del free-water contenido en el gun barrel en una columna larga.

El expansor está usualmente situado a dos pies del fondo del tanque, en esta profundidad se trata de sumergir totalmente el spreader tan profundamente como sea posible en el agua, manteniendo claro está, una distancia prudente debido al pegado que pueda acumularse en el fondo del tanque.

El diámetro del spreader depende del tamaño del cuerpo del tanque del Gun barrel, usualmente cerca de 40 o 70% del diámetro del tanque, pero algunos son más pequeños.

Algunos rompimientos de emulsión ocurren con la entrada de esta, cuando entra en contacto con la superficie del spreader, el flujo en el centro pasa a los bordes exteriores del mismo.

El spreader es diseñado para que la emulsión emerja o surja de esta en muy pequeñas corrientes; dichas corrientes de emulsión pasan y se levantan a través del free-water y ocurre algún rompimiento de la emulsión al entrar en contacto cerrado entre la emulsión y el free-water.

Algunos de los glóbulos de agua son lavados y se separan del aceite y va permitiendo que el aceite se limpie y va a continuar su camino hacia la parte superior del tanque.

Por encima del free-water que contiene el gun barrel, hay o existen dos capas de líquidos, el tope de la capa superior contiene aceite limpio y la capa de abajo es la capa que contiene la emulsión. Estas no están claramente definidas y están un poco mezcladas de una a la otra.

Al subir o elevarse la emulsión rápidamente a través del free-water, las corrientes pequeñas de emulsión mueren o desaparecen por la diferencia de gravedades específicas de los dos líquidos, aceite limpio y free-water (aceite más claro que el agua) y este va alrededor de la capa de emulsión presente por encima de la capa del free-water.

En resumen, la acción que ocurre en el Gun barrel para separar aceite y agua está dividido en dos partes principales:

- Lavado
- Asentamiento

El lavado es realizado en la capa del free-water y el asentamiento ocurre en la zona de emulsión.

Debido a que todas las emulsiones no son parecidas o semejantes y no presentan las mismas características y propiedades, en el contenido del free-water en el Gun

barrel, estas pueden ser estabilizadas, es decir, las gotas de agua sean aún más pequeñas.

El lavado tiene pequeños o casi pocos efectos en ciertas emulsiones, sin embargo en tal caso, una muy pequeña cantidad de free-water en el tanque solo es necesaria. Por otra parte, algunas emulsiones se rompen completamente por debajo del lavado, esto es ventajoso al tener una cantidad grande de free-water en el tanque.

CAPITULO II

2. DISEÑO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO

En este capítulo, se describe en detalle el proceso de diseño de las tres partes principales del tanque: cuerpo, fondo y techo, así como los criterios de selección de los materiales con los que se construirá.

También se listan los accesorios principales para el funcionamiento básico de estos tipos de tanque y así poder caracterizar de la mejor manera el diseño de un tanque de almacenamiento de crudo, para luego, con las bases fundamentales del diseño, poder comprender la simulación digital mediante la implementación de un software que es el fin último de este trabajo de grado.

2.1. DIMENSIONAMIENTO

El tamaño que tendrán los tanques de almacenamiento de crudo, para una batería específica, dependerá de los siguientes factores:

- Caudal de entrada de fluido. Generalmente se expresa en Barriles por día (BPD). Indica cuantos barriles de crudo (1 barril = 42 galones) llegan a los tanques en un día.
- Factor de seguridad: Como una medida de seguridad, los tanques deben tener la capacidad de almacenar la producción de crudo de 3 a 5 días, en caso de que se necesite realizar alguna operación.
- El número de tanques de la batería. Para un funcionamiento óptimo, deben ser mínimo 3.
- La esbeltez del tanque, que es la relación que existe entre la altura y el diámetro del tanque: $\text{esbeltez} = \text{altura}/\text{diámetro}$. Los tanques de almacenamiento de crudo, se construyen por lo general, con una esbeltez entre 0,5 y 3. Una esbeltez baja permitirá tanques con menor altura pero mayor diámetro. El software debe sugerir el diseño más apropiado para la construcción del tanque y el de menor costo. Ya que al hacer un tanque más alto, va a ser más difícil de construir y va a requerir más material, se sugiere la mínima esbeltez posible (0,5) por defecto, pero permitiendo al usuario modificar este valor.

2.1.1. Dimensiones del cuerpo del tanque

El volumen total que deben almacenar los tanques, será igual al caudal diario de crudo multiplicado por el factor de seguridad. Además, los tanques nunca se llenan en su totalidad; siempre hay un 10% en el fondo y otro 10% en la parte superior, que no se incluyen para los cálculos del volumen total de

almacenamiento; es decir, se tiene que considerar el 80% del volumen de los tanques.

$$\text{Volumen de almacenamiento} = \frac{\text{Caudal} * \text{Factor de seguridad}}{0,8} \quad (2.1)$$

El volumen de cada tanque, será el equivalente a dividir el volumen de almacenamiento, entre el número de tanques:

$$\text{Vol. Tanque} = \frac{\text{Volumen de almacenamiento}}{\# \text{ de tanques}} \quad (2.2)$$

Obtenido el volumen que debe tener el tanque, se calculan sus dimensiones.

La norma API 650 en el apéndice A recomienda que para el dimensionamiento estándar de tanques de almacenamiento de diámetros y alturas típicas usar la ecuación:

$$C = 0.14 D^2 \times H \quad (2.3)$$

Donde:

C = Capacidad del tanque, en barriles.

D = Diámetro del Tanque, en ft.

H = Altura del tanque, en ft.

La ecuación anterior no es una limitante para el diseño de los tanques de almacenamiento, sin embargo es la que se utilizará para definir las características del mismo. Las láminas generalmente utilizadas en el diseño y elaboración de tanques de mediana y gran capacidad, son láminas de tipo estructural, de especificaciones ASTM A283 Gr. C o ASTM A 36. Estas láminas se las solicita, normalmente, en las siguientes dimensiones para tanques de este tipo:

- **ANCHO:** **6.0 FT. = 1828.8 mm.**
 8.0 FT. = 2438.4 mm.

- **LARGO:** **40 FT. = 12192 mm.**

Además la norma API 650, en la sección 3 correspondiente a diseño, en el punto 3.6.1.2. Establece lo siguiente:

El ancho nominal de las láminas del cuerpo será de acuerdo a la necesidad del comprador, pero se preferirán láminas no menores a 72 in. Las mismas serán cuadradas adecuadamente, previas a la soldadura de estas.

El ancho usualmente disponible de la lámina para la elaboración de estos tanques justifica la altura del mismo.

Los diámetros de los tanques se definen como múltiplos de cinco, tal como se justifica a continuación:

Perímetro del cuerpo del tanque $P = \pi D$.

Para una longitud de láminas de cuerpo de 31.5 ft. Se define:

- $P = \pi D$, para cualquier diámetro del tanque.
- $n =$ es el número de láminas.
- $D =$ diámetro del tanque

$$n = \frac{\text{perímetro}}{31.5} = \frac{\pi D}{31.5} = \text{entero} \quad (2.4)$$

El múltiplo de D que más se aproxima a un entero se observa en la Tabla 2.1.

MÚLTIPLO	RELACIÓN	VALOR	INVERSO
D múltiplo de 2	$2\pi/31.5$	0.199	5.013
D múltiplo de 3	$3\pi/31.5$	0.299	3.342
D múltiplo de 5	$5\pi/31.5$	0.498	2.001
D múltiplo de 7	$7\pi/31.5$	0.698	1.432

Tabla 2.1. Múltiplos del diámetro recomendado para la construcción de tanques.

Al observar la tabla anterior, se demuestra que diámetros múltiplos de cinco (en pies) son los que dan una mayor aproximación para la utilización de láminas enteras, por lo que serán los más utilizados, logrando así, ahorro de material y dinero.

Los tanques están contruidos con láminas, que se sueldan una enseguida de la otra. Estas láminas tienen dos dimensiones: ancho y largo. Las placas se sueldan por el lado más corto (ancho) hasta formar una circunferencia; esto constituye un "anillo". Luego, sobre este anillo se soldará otro y así sucesivamente hasta alcanzar el volumen deseado. De esta manera, la altura del tanque va a depender del número de anillos que se utilicen.

Para determinar las dimensiones del tanque, se realiza el siguiente procedimiento:

1. Se empieza con 1 anillo.
2. Se tienen volumen y altura (altura de tanque= # de láminas x alto de lámina), el diámetro del tanque se obtiene con la ecuación de volumen.
3. Calcular la esbeltez con estas dimensiones.
4. Si la esbeltez es menor a la mínima permitida (0,5 por defecto u otra si el usuario la ha ingresado) agregar otro anillo y repetir los pasos 2 y 3.
5. Cuando la esbeltez sea mayor que la mínima permitida, los datos de altura y diámetro serán los utilizados para el tanque.
6. La altura será igual a la obtenida y el diámetro se aproximará al siguiente múltiplo de 5.
7. Se recalcula el volumen del tanque

2.1.2. Dimensiones de los muros

Cada tanque debe estar encerrado entre muros de máximo 5 pies de alto, para evitar el reglamento de trabajo en de altura¹. Estos son de dimensiones L x L e indican el área necesaria para la instalación de cada tanque.

Los muros, deben tener unas dimensiones tales que sean capaces de contener el volumen total del tanque multiplicado por un factor de seguridad de 1,5. Los muros forman un dique, cuyo volumen será:

$$\text{Volumen de dique} = (\text{longitud de los muros})^2 * \text{altura de muros} \quad (2.5)$$

Como el volumen del dique es igual 1,5 veces el volumen del tanque, la altura de los muros es de 5 pies y se quiere saber la longitud, se despeja la fórmula para L y se rempazan los valores constantes:

$$\text{Longitud de los muros} = \sqrt{\frac{1.5 * \text{Volumen de tanque} * 5.615}{5 \text{ ft}}} \quad (2.6)$$

2.1.3. Número de láminas del cuerpo

El número de láminas usadas en el cuerpo será el número de láminas de cada anillo, por el número de anillos.

¹ Resolución 3673 de Septiembre 26 de 2008 del Ministerio de Protección Social, "Reglamento técnico de trabajo seguro en alturas".

El número de láminas de cada anillo se obtendrá dividiendo el perímetro del anillo entre el largo de la lámina.

Finalmente la ecuación quedará:

$$\# \text{ láminas} = \frac{\pi * D}{\text{largo de lamina}} * \# \text{ anillos} \quad (2.7)$$

2.2. MATERIALES.

En la sección 2, MATERIALES del estándar API 650, se describen las especificaciones, sujetas a modificaciones y limitaciones indicadas. En el caso de usar materiales cuyas especificaciones no se encuentren bien identificadas, dichos materiales deben satisfacer las pruebas indicadas en el apéndice N en sus diferentes ítems. (Estándar API 650 2.1.1 2.1.2.).

Se establece en el estándar, 6 grupos de materiales base API. Los aceros para láminas desde el grupo I hasta IIIA son normalmente los más usados. Los aceros de los grupos API IV a VI se utilizarán, siempre y cuando:

- Se mantenga todo el criterio de diseño original para la más baja resistencia de entre los aceros de los grupos I hasta IIIA
- Obtener previamente por escrito la aprobación del comprador para su uso, (se requiere de la aprobación ya que el costo de la plancha es alto).
- Asegurarse de que todos los requerimientos para el diseño, fabricación, montaje e inspección, para el material a ser sustituido reúnan las especificaciones para el más bajo esfuerzo de entre los aceros de los grupos I hasta IIIA. Estas especificaciones (deben incluir pero no son limitantes) son: Propiedades del material y métodos de proceso de producción, niveles de esfuerzo aceptable, dureza, procedimientos de soldadura, alivio de esfuerzos térmicos, ensayos no destructivos. (Estándar API 650 2.1.3).

Las láminas almacenadas son susceptibles a la corrosión, pero de acuerdo con el Estándar API 650, se aceptarán aquellas láminas almacenadas que tengan una tolerancia en su espesor de hasta 0.25 mm, referidos al espesor de diseño o al espesor mínimo requerido.

El máximo espesor que pueden tener las láminas según API 650 es de hasta 1.75 in. y podrán ser usadas únicamente para la fabricación de accesorios o bridas. (Estándar API 650 2.2.1.4).

El fabricante debe de elegir dentro de las diferentes opciones y calidades de laminas, los aceros recomendados de los ítems 2.2.2 (especificaciones ASTM American Society for Testing and Materials), 2.2.3 (especificaciones CSA Canadian Standard Association), 2.2.4 (especificaciones ISO International Organization for Standarization) o 2.2.5 (estándares nacionales).

El estándar API 650 recomienda la unión de materiales por soldadura, las técnicas de soldadura son de fundamental importancia y los procesos de soldadura deben ser tal que la fuerza y dureza sean consistentes con el material de las placas a unirse. Todas las soldaduras realizadas o superficies defectuosas reparadas debe hacerse con electrodos de bajo hidrogeno que sean compatibles en composición química, fuerza y calidad con el material de la placa. (Estándar API 650 2.2.6.2).

Se debe tomar en cuenta que si las láminas requieren de: tratamiento térmico, ensayo de impacto Charpy V-notch o control de la dureza, debido a las deformaciones plásticas cuando se realiza el rollado de las laminas, se tiene que cumplir con las referencias indicadas en los ítems del API 650: 2.2.7, 2.2.8, 2.2.9 y 2.2.10 respectivamente.

De acuerdo con API 650 2.2.9.1, las láminas con espesores mayores a 1.5 in, tendrán que ser de acero calmado, fabricados con la práctica del grano fino y tratadas térmicamente mediante normalizado, normalizado templado o calmadas y templadas para luego realizar las pruebas de impacto según API 650 2.2.10.2.

2.2.1. Materiales para el cuerpo del tanque.

La mínima temperatura de diseño permisible o la temperatura del sitio en donde se va a instalar el tanque es el criterio para la selección de los materiales que se van a usar para la construcción del cuerpo o paredes, como primera instancia, para ello se usa la figura 2.1. En la misma se representa la relación que tiene el espesor de la plancha, ubicadas en las abscisas (máximo hasta 1.5 in. Incluido el espesor de corrosión) versus la temperatura de diseño del metal, ubicadas en las ordenadas, para ello los diferentes grupos.

Para seleccionar el grupo API, se utiliza la figura 2.1. Se ingresa con la temperatura del metal especificado previamente por el comprador, que de acuerdo con 2.2.9.3 del Estándar API 650, se asumirá en 8 °C (15 °F) sobre la temperatura ambiente más baja en un día pésimo. En nuestro país por sus características ambientales es apropiado el uso de los materiales base del grupo API I. Estos son: especificaciones para aceros ASTM 283 grado C, A 285 grado C, A 131 grado A, A 36.

El usuario podrá especificar el material a utilizar en el tanque, así como el de sus componentes. El fabricante y/o diseñador podrá sugerir los materiales recomendables en cada caso para que el usuario los apruebe. El material que se

seleccione en el cuerpo sirve como componente de las demás partes del mismo tanque, cumpliendo los requerimientos mínimos de fabricación y diseño, de cada una de las partes restantes como lo son el fondo, el techo del tanque y parte de los accesorios.

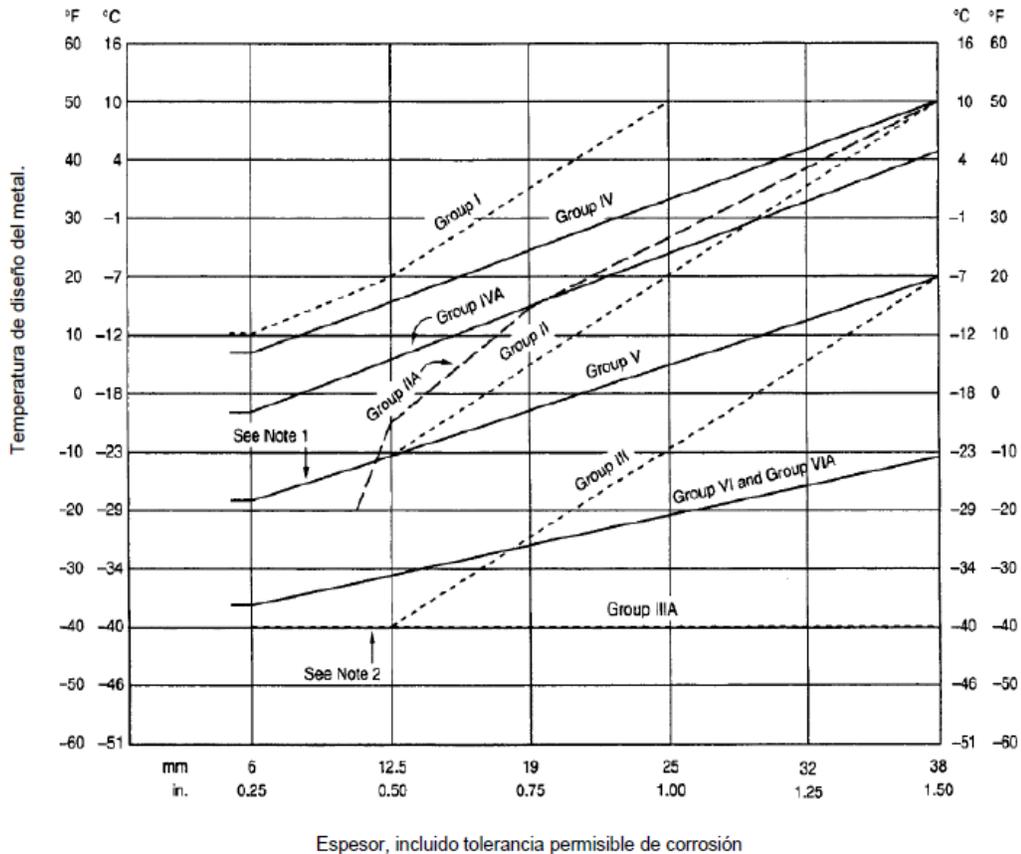


Figura 2.1 Selección del grupo de material².

La Tabla 2.2 Indica las láminas de acero ASTM A283 - Gr C recomendadas para la fabricación de tanques de almacenamiento y recipientes a presión que se pueden encontrar con facilidad.

² API STANDAR 650 Welded Steel Tanks for Oil Storage. Décima Edición, Adenda 1.Marzo 2000. Pág. 4-6.Figura 4-1a.

ESPESOR(IN.)	6X40 IN.	8X40 IN.
3/16		X
1/4	X	X
5/16	X	X
3/8	X	X
7/16	X	X
½	X	X
5/8	X	X
3/4		X

Tabla 2.2 Acero ASTM A283-Gr C (unidades inglesas).

2.3. DISEÑO DEL CUERPO DEL TANQUE

El cuerpo, envolvente o cáscara del tanque se va formando con la unión de anillos de diferente espesor hasta lograr la altura requerida, y los anillos se van construyendo, adhiriendo láminas roladas de igual espesor hasta alcanzar el diámetro del tanque, por lo mencionado anteriormente el cuerpo es el componente más grande y crítico de los tanques, representando por lo general el 70% de la obra. Es por eso que el cálculo de espesores se debe hacer de manera minuciosa para obtener los espesores óptimos, que permitan tener un tanque seguro y de costos razonables.

Entre las condiciones de diseño requeridas dadas por el comprador para los tanques con las características antes mencionadas se tiene:

- Temperatura del metal, basado en la temperatura ambiente.
- Gravedad específica del líquido a almacenar.
- Velocidad del viento.
- Localización geológica.

Existen condiciones y restricciones que son propias para el diseño de este tipo de tanques como son:

- Temperatura máxima de 90°C
- Presiones internas aproximadamente o igual a la presión atmosférica más 2.5 psi.
- Presión de vacío igual a 0.25 Kpa (1 in de agua) como requerimiento mínimo.
- Presión máxima interna para los tanques cerrados indicadas en el apéndice F del estándar API 650 no mayores a 18 psi.
- Los espesores de las placas para la conformación de los anillos no deben ser menores a los indicados en la tabla 2.3.

DIÁMETRO NOMINAL DEL TANQUE		ESPESOR NOMINAL DE PLANCHA	
metros	pies	metros	pies
<15	< 50	5	3/16
De 15 a < 36	De 50 a < 120	6	1/4
De 36 a 60	De 120 a 200	8	5/16
> 60	> 200	10	3/8

Tabla 2.3 Mínimo espesor de laminas para diferentes diámetros.

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; 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 subsecuentes.

Los esfuerzos máximos permisibles para diseño y prueba hidrostática (S_d) y (S_t) respectivamente, utilizados para los cálculos de espesores, se encuentran tabulados en la tabla 2.4. Así como también la mínima resistencia a la fluencia y a la tracción (S_y) y (S_t) respectivamente.

Table 5-2b— (USC) Permissible Plate Materials and Allowable Stresses						
Plate Specification	Grade	Nominal Plate Thickness <i>t</i> in.	Minimum Yield Strength psi	Minimum Tensile Strength psi	Product Design Stress <i>S_y</i> psi	Hydrostatic Test Stress <i>S_t</i> psi
ASTM Specifications						
A 283	C		30,000	55,000	20,000	22,500
A 285	C		30,000	55,000	20,000	22,500
A 131	A, B		34,000	58,000	22,700	24,900
A 36	—		36,000	58,000	23,200	24,900
A 131	EH 36		51,000	71,000 ^a	28,400	30,400
A 573	58		32,000	58,000	21,300	24,000
A 573	65		35,000	65,000	23,300	26,300
A 573	70		42,000	70,000 ^a	28,000	30,000
A 516	55		30,000	55,000	20,000	22,500
A 516	60		32,000	60,000	21,300	24,000
A 516	65		35,000	65,000	23,300	26,300
A 516	70		38,000	70,000	25,300	28,500
A 662	B		40,000	65,000	26,000	27,900
A 662	C		43,000	70,000 ^a	28,000	30,000
A 537	1	$t \leq 2\frac{1}{2}$ $2\frac{1}{2} < t \leq 4$	50,000 45,000	70,000 ^a 65,000 ^b	28,000 26,000	30,000 27,900
A 537	2	$t \leq 2\frac{1}{2}$ $2\frac{1}{2} < t \leq 4$	60,000 55,000	80,000 ^a 75,000 ^b	32,000 30,000	34,300 32,100
A 633	C, D	$t \leq 2\frac{1}{2}$ $2\frac{1}{2} < t \leq 4$	50,000 46,000	70,000 ^a 65,000 ^b	28,000 26,000	30,000 27,900
A 678	A		50,000	70,000 ^a	28,000	30,000
A 678	B		60,000	80,000 ^a	32,000	34,300
A 737	B		50,000	70,000 ^a	28,000	30,000
A 841	Class 1		50,000	70,000 ^a	28,000	30,000
A 841	Class 2		60,000	80,000 ^a	32,000	34,300
CSA Specifications						
G40.21	38W		38,000	60,000	24,000	25,700
G40.21	38WT		38,000	60,000	24,000	25,700
G40.21	44W		44,000	65,000	26,000	27,900
G40.21	44WT		44,000	65,000	26,000	27,900
G40.21	50W		50,000	65,000	26,000	27,900
G40.21	50WT	$t \leq 2\frac{1}{2}$ $2\frac{1}{2} < t \leq 4$	50,000 46,000	70,000 ^a 70,000 ^a	28,000 28,000	30,000 30,000
National Standards						
	235		34,000	52,600	20,000	22,500
	250		36,000	58,300	22,700	25,000
	275		40,000	62,600	24,000	26,800
ISO Specifications						
ISO 630	E 355C, D	$t \leq \frac{5}{8}$	39,900	59,500	23,800	25,500
		$\frac{5}{8} < t \leq 1\frac{1}{2}$	38,400	59,500	23,800	25,500
E 355C, D		$t \leq \frac{5}{8}$	51,500	71,000 ^a	28,400	30,400
		$\frac{5}{8} < t \leq 1\frac{1}{2}$	50,000	71,000 ^a	28,400	30,400
		$1\frac{1}{2} < t \leq 2$	48,600	71,000 ^a	28,400	30,400
EN Specifications						
EN 10025	S 355J0, J2	$t \leq \frac{5}{8}$	39,900	59,500	23,800	25,500
		$\frac{5}{8} < t \leq 1\frac{1}{2}$	38,400	59,500	23,800	25,500
S355J0, J2, K2		$t \leq \frac{5}{8}$	51,500	68,100 ^a	27,200	29,200
		$\frac{5}{8} < t \leq 1\frac{1}{2}$	50,000	68,100 ^a	27,200	29,200
		$1\frac{1}{2} < t \leq 2$	48,600	68,100 ^a	27,200	29,200

Tabla 2.4. Los esfuerzos máximos permisibles para diseño y prueba hidrostática³.

³ API STANDAR 650 Welded Steel Tanks for Oil Storage. Décima Edición, Adenda 1.Marzo 2000. Pág. 5-14.tabla 5-2b.

Table 4-4b—(USC) Material Groups (See Figure 4-1b and Note 1 Below)

Group I As Rolled, Semi-killed		Group II As Rolled, Killed or Semi-killed		Group III As Rolled, Killed Fine-Grain Practice		Group IIIA Normalized, Killed Fine-Grain Practice	
Material	Notes	Material	Notes	Material	Notes	Material	Notes
A 283 C	2	A 131 B	6	A 573-58		A 573-58	9
A 285 C	2	A 36	2, 5	A 516-55		A 516-55	9
A 131 A	2	G40.21-38W		A 516-60		A 516-60	9
A 36	2, 3	Grade 250	7	G40.21-38W	8	G40.21-38W	8, 9
Grade 235	3			Grade 250	8	Grade 250	8, 9
Grade 250	5						
Group IV As Rolled, Killed Fine-Grain Practice		Group IVA As Rolled, Killed Fine-Grain Practice		Group V Normalized, Killed Fine-Grain Practice		Group VI Normalized or Quenched and Tempered, Killed Fine-Grain Practice Reduced Carbon	
Material	Notes	Material	Notes	Material	Notes	Material	Notes
A 573-65		A 662 C		A 573-70	9	A 131 EH 36	
A 573-70		A 573-70	10	A 516-65	9	A 633 C	
A 516-65		G40.21-44W	8, 10	A 516-70	9	A 633 D	
A 516-70		G40.21-50W	8, 10	G40.21-44W	8, 9	A 537 Class 1	
A 662 B		E 275 D		G40.21-50W	8, 9	A 537 Class 2	12
G40.21-44W	8	E 355 D				A 678 A	
G40.21-50W	8	S 275 J2	8			A 678 B	12
E 275 C	8	S355 (J2 or K2)	8			A 737 B	
E 355 C	8					A 841, Grade A, Class 1	11, 12, 13
S 275 J0	8					A 841, Grade B, Class 2	11, 12, 13
S 355 J0	8						
Grade 275	4, 8						

Tabla 2.5 Grupo de materiales⁴.

NOTAS:

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 semimuerto y muerto.
3. Espesor menor o igual a 12.7 mm. (1/2 pulg.).
4. Máximo contenido de manganeso de 1.5%.
5. Espesor menor o igual a 19.5 mm. (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 25.4 mm. (1 pulg.).
8. Debe ser muerto.

⁴ API STANDAR 650 Welded Steel Tanks for Oil Storage. Décima Edición, Adenda 1.Marzo 2000. Pág. 4-11. tabla 4-4b.

9. Debe ser semimuerto 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%.

Existen dos métodos utilizados para el cálculo de espesores de las láminas que conforman los diferentes anillos, el primero es el método de punto fijo o un pie que se lo utiliza cuando el comprador lo solicita o también para tanques cuyo diámetro sea menor a 60 m (200 ft). El método de un pie "One Foot", calcula el espesor en puntos de diseño, es decir, que se encuentran a un pie sobre el borde inferior de cada anillo que conforma el cuerpo. Al ser un método más general proporcionará espesores mayores y no optimiza como lo hace el otro método.

Método de punto variable, este procedimiento proporciona una reducción en el espesor de las placas que conforman los anillos, como consecuencia de esto se tiene una disminución en el peso total del material, pero el mayor potencial de este método es que se puede utilizar para el cálculo de tanques con diámetros mayores a 60m (200ft), teniendo como limitación el espesor máximo de la láminas que existen en el mercado. Este método calcula espesores de plancha en puntos de diseño en donde los esfuerzos calculados (esfuerzos circunferenciales aproximados) son de relativa proximidad al esfuerzo circunferencial real de la carcasa, por tal motivo es un método de aproximación por tanteo.

2.3.1. MÉTODO DE PUNTO FIJO O DE UN PIE.

El espesor de la plancha que conforma el primer anillo será el mayor valor calculado de entre las ecuaciones 2.8 y 2.9 en unidades Inglesas.

$$t_d = \frac{2.6 * D * (H - 1) * G_e}{s_d * E} + CA \quad (2.8)$$

$$t_t = \frac{2.6 * D * (H - 1)}{s_t * E} \quad (2.9)$$

Donde;

t_d = Espesores por condiciones de diseño (in).

t_t = Espesor por prueba hidrostática (in).

D = Diámetro nominal del tanque (ft)*.

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

H = Altura de diseño del nivel del líquido (ft). (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_e = Densidad relativa del líquido a almacenar o del agua para cálculo por prueba hidrostática.

CA = Corrosión permisible (in).

S_d = Esfuerzo permisible por condiciones de diseño (psi).

S_t = Esfuerzo permisible por condiciones de prueba hidrostática (psi).

E= Factor de eficiencia de la junta de prueba hidrostática (psi) cuyo valor son 1, 0.85 y 0.70 respectivamente.

Obteniendo el valor de t_d y t_t , se escogerá, el de menor valor, y este será el espesor del primer anillo (parte inferior del tanque). El cálculo de los espesores de las laminas que conforman el segundo anillo y los restantes, se realiza con las mismas ecuaciones ya sea para las condiciones de diseño o prueba hidrostática, pero tomando en cuenta que las nuevas alturas a utilizarse, son las alturas del tanque menos la altura total de los anillos ya calculados.

El esfuerzo del material utilizado para el cálculo bajo condiciones de diseño, será el valor menor entre las 2/3 partes del esfuerzo de fluencia o las 2/5 partes de la resistencia a la tracción. El esfuerzo del material utilizado para la condición de prueba hidrostática, es el menor valor entre las 3/4 partes del esfuerzo de fluencia y las 3/7 partes de la resistencia a la tracción. (Estándar API 3.6.2).

2.4. ANGULO CIRCUNFERENCIAL PARA CARGAS DE VIENTO

Como los tanques se encuentran en la superficie exterior o en un área abierta, expuestos a fenómenos naturales como vientos, huracanes, tormentas, etc., produciendo el efecto barlovento en la superficie del tanque, es importante mantener la redondez y estabilidad de este, ya que se puede deformar debido a estas cargas, para solucionar este problema se aumenta el espesor de los anillos ya calculados, lo que involucra un aumento del peso de los materiales y resulta una solución costosa, otra solución es poner alrededor del perímetro externo ángulos de refuerzo en la parte superior y/o intermedia del tanque, ayudándolo a mantener sus características estables y disminuyendo el costo.

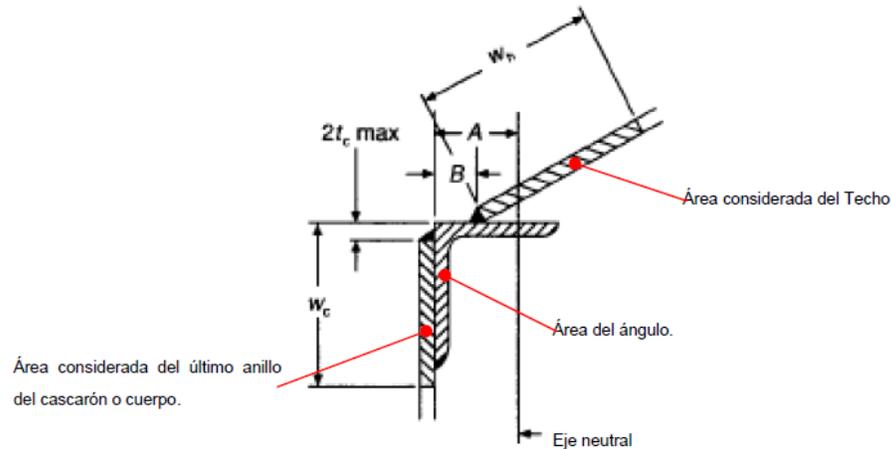
Los ángulos de refuerzo pueden ser de perfil estructural previamente rolados para luego unirse entre ellos hasta alcanzar el diámetro del tanque, o también formando un polígono circunscrito alrededor del tanque.

La junta que une los anillos de refuerzo con la superficie del tanque no debe cruzarse con las juntas verticales del tanque, estas deben estar separadas una distancia no menor a 6 pulgadas entre todas las juntas verticales.

2.4.1. Anillo superior o ángulo tope

Para el cálculo de los ángulos de tope para techos cónicos, hay que tomar en cuenta un porcentaje de las áreas transversales entre las laminas del techo, el ultimo anillo del cuerpo del tanque y toda el área del ángulo tope, a ésta área se la conoce como el área de compresión de la unión cuerpo – techo.

Para la determinación de las dimensiones del ángulo tope apropiado, primero se determinan las características geométricas que tendrá el área de compresión (A), usando los detalles permitidos para anillos de compresión de la figura 2.2.



Nota:

- A: distancia desde el filo del anillo hasta el eje neutral del ángulo.
- B: distancia desde el filo del anillo hasta el tope de la lámina del techo.
- W_c : máximo longitud considerada del cuerpo, se calcula con $W_c = 0.6 (R_c \cdot t_c)^{0.5}$
- R_c : radio interior del tanque (radio nominal del tanque – espesor del último anillo).
- t_c : espesor del ultimo anillo + placa de refuerzo, caso contrario $t_s = t_c$, t_c espesor del último anillo.
- W_t : : máximo longitud considerada del techo, se calcula con $W_t = 0.3 (R_2 \cdot t_n)^{0.5}$
- $R_2 = R_c / \text{sen}\theta$, donde θ es la pendiente del techo. R_2 es distancia perpendicular al techo hasta el eje neutral.
- t_n : espesor de las placas del techo

Figura 2.2. Detalle de la junta de compresión: techo-ángulo-cuerpo.

De la figura 2.2, se define el área considerada para el techo y cuerpo:

$$A_t = W_t \cdot t_n; \text{Área considerada del techo.} \quad (2.10)$$

$$A_c = W_c \cdot t_c; \text{Área considerada del cuerpo.} \quad (2.11)$$

Existen nueve posibles alternativas para las juntas de compresión, de las cuales se seleccionará la que conformará el anillo superior o de rigidez, como se observa en la figura 2.2. El área rayada representa la de compresión, pero solo facilita el cálculo del área considerada del techo (A_t) y del cuerpo (A_c), a la suma de estas dos áreas se le llamará área de compresión techo-cuerpo (A_{tc}). El área de compresión real (A_r) será la suma del área de compresión del cuerpo-techo mas el área del ángulo (A_a).

$$Atc = At + Ac. \quad (2.12)$$

$$Ar = Atc + Aa. \quad (2.13)$$

Como se puede observar, se detalla el área del techo y del último anillo del cuerpo del tanque en las proporciones indicadas, sin tomar en cuenta el área del ángulo tope; pues bien el API 650 en la subsección 3.10.2.5.3 define el área de compresión mínima para una junta frangible (techo-ángulo-cuerpo) mediante la siguiente ecuación:

$$A = \frac{W_{\text{cuerpo}}}{201000 \cdot \tan \theta} \quad (2.14)$$

Donde:

A = Área de la sección transversal mínima de la unión cuerpo - ángulo - techo para techos soportados.

W = Peso total del cuerpo del tanque y cualquier armazón soportado por el cuerpo y techo, no se incluye el peso de las laminas del techo.

Una vez calculados los valores de A con la ecuación 2.14, y el valor de Atc con la ecuación 2.12, se realiza la resta de estos dos valores para obtener el valor aproximado del ángulo de compresión (Aa) a utilizar, ecuación 2.15.

$$Aa = A - Atc; \text{ Área de compresión del ángulo.} \quad (2.15)$$

Esta diferencia es el área del ángulo tope. Con este valor se busca en el manual de la AISC, el tipo de perfil a usarse; éste se debe seleccionar de la tabla, que está en función del diámetro del tanque.

DIÁMETRO DEL TANQUE (PIES)	ÁNGULO RECOMENDADO (PULG)	SECCIÓN (PULG) ²
D ≤ 35	2 x 2 x 3/16	0.751
35 < D ≤ 60	2 x 2 x 1/4	0.938
D > 60	3 x 3 x 3/8	2.11

Tabla 2.6 Ángulos recomendados con respecto al diámetro para los tanques con techo cónico.

Adicionalmente se usan los detalles constructivos para los anillos de compresión en la unión cuerpo - techo, si el filete de soldadura entre las láminas del techo y en ángulo tope de refuerzo no excede de 5 mm (3/16 in), y si la pendiente del techo unido con el ángulo tope no excede 50 mm por cada 300 mm (2 in por cada

12 in), cuando el área de la sección transversal o de compresión de la unión techo-ángulo- cuerpo (Atc), es menor o igual que el valor calculado en la ecuación (2.14), esta junta se considera frangible, la cual ayudará a evitar que exista ruptura en las juntas de las paredes del tanque o la junta cuerpo – fondo del tanque, cuando exista un exceso de presión interna, produciéndose primero la rotura de la junta cuerpo – techo.

Se usan los detalles constructivos para los anillos de compresión cuerpo del tanque – techo, si el filete de soldadura entre las láminas del techo y el ángulo tope de refuerzo es mayor que 5 mm (3/16 in), y si la pendiente del techo unido con el ángulo tope excede 50 mm por cada 300 mm (2 in por cada 12 in), cuando el área de la sección transversal o de compresión de la junta techo-cuerpo (Atc), es mayor que el valor calculado en las ecuación (2.14), o la soldadura de filete esta especificada por ambos lados, entonces deben proporcionarse sistemas de venteo de emergencia que estén en concordancia con API 2000.

2.4.1.1. Condiciones para presión interna menor y/o igual a 2.5 psi (manométrica)

Generalmente los tanques de techo cónico, operan con un espacio para los vapores, el mismo que está en función del punto de ignición del liquido almacenado (figura 2.3.), los tanques de techo fijo se diseñan para presiones internas bajas del espacio de vapor, en conformidad con el estándar API 650, presiones menores o iguales a 2.5 psi, esta presión es manométrica es decir la diferencia siempre de la presión local – la presión atmosférica debe ser menor y/o igual a 2.5 psi, esta presión interna varía de acuerdo: al fluido a almacenar, la situación geográfica, la presión atmosférica variable, tamaño del tanque, pendiente del techo, para tal forma se establecen los siguientes parámetros de acuerdo al anexo F del API 650.



Figura 2.3. Presión interna del tanque de techo cónico.

La presión interna se calcula con la siguiente expresión:

$$P = \frac{(30.800) * (A_{tc}) (\tan \theta)}{D^2} + 8t_h; \quad (2.16)$$

Donde:

P = presión interna de diseño (in).

A_{tc} = área de compresión techo-cuerpo.

θ = pendiente del techo.

D = diámetro nominal del tanque. (ft).

t_h = espesor nominal de las placas del techo (in).

La presión interna calculada, puede ser igual o menor a 5.5 psi, pero además no debe ser superior a la presión máxima para cada diseño del tanque calculado con la siguiente expresión:

$$p = \frac{(0.245W)}{D^2} + 8t_h - \frac{0.735M}{D^3}; \quad (2.17)$$

Donde:

P máx.= máxima presión de diseño (in).

W = Peso del cuerpo total del tanque mas el techo, no se incluyen las láminas (lbf).

M = Momento de carga de viento, este debe ser especificado por el cliente, o en su defecto se debe asumir como nulo, M = 0. (ft-lbf).

Si la presión interna, es mayor que el peso total del cuerpo del tanque y cualquier armazón soportado por el cuerpo y techo, entonces el área de compresión mínima de la ecuación 2.14 se reemplaza con la siguiente expresión:

$$A = \frac{D^2 * (P - 8T_H)}{30.800 * (\tan \theta)} \quad (2.18)$$

El resto del procedimiento de cálculo del área del ángulo Aa, es análogo al descrito anteriormente; se recurrirá al manual de AISC, o a la tabla 2.6, según convenga.

- Si la presión interna, es menor o igual a 18 KPA (2.5 PSI), pero mayor a la presión máxima permitida calculada con la ecuación 2.17, entonces la selección del ángulo de rigidez será, de acuerdo a la tabla 2.6.
- Si la presión interna, es mayor a 18 KPA (2.5 PSI), estos tanques ya no cumplen con las restricciones del API 650, por lo tanto no se abarca en este proyecto, se recomienda, cambiar las condiciones del diseño o diseñar estos recipientes con el estándar API 620.

2.5. DISEÑO DEL FONDO DEL TANQUE Y PLACA ANULAR

La presión aplicada sobre un fluido contenido en un recipiente se transmite por igual en todas direcciones y a todas las partes del recipiente, siempre que se puedan despreciar las diferencias de presión debidas al peso del fluido y a la profundidad.

Cuando la gravedad es la única fuerza que actúa sobre un líquido contenido en un recipiente abierto, la presión en cualquier punto del líquido es directamente proporcional al peso de la columna vertical de dicho líquido situada sobre ese punto. La presión es a su vez proporcional a la profundidad del punto con respecto a la superficie, y es independiente del tamaño o forma del recipiente.

Por lo indicado anteriormente la acción (presión) que ejerce el contenido del tanque sobre la plancha del fondo, se contrarresta por la reacción ejercida por la base de cemento y por el suelo, entonces este elemento se dimensiona con las recomendaciones dadas por API 650.

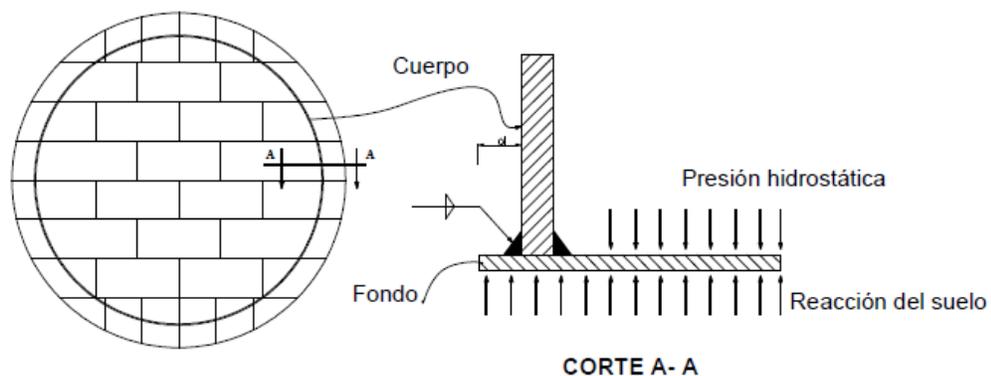


Figura 2.4. Unión cuerpo-fondo del tanque.

La recomendación que hace el estándar API 650, es que para tanques de gran capacidad se instale una placa anular, la cual estará en función del material, de su esfuerzo admisible y del espesor del primer anillo.

2.5.1. DISEÑO DE LA PLACA ANULAR

En los códigos europeos, el uso de la placa anular es obligatorio para todos los tanques independientemente de su capacidad de almacenamiento.

La placa anular estará en función del material, de su esfuerzo admisible y del espesor del primer anillo. Cuando el primer anillo del cuerpo del tanque es diseñado usando los esfuerzos de los materiales de los grupos IV, IVA, V o VI, se usara placa anular, soldadura a tope con el fondo del tanque.

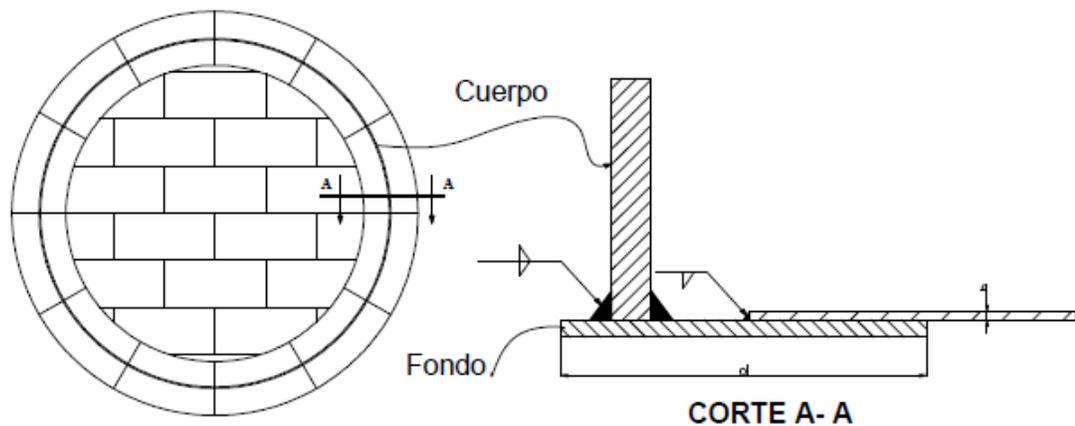


Figura 2.5. Arreglo de planchas para placa anular.

Cuando el primer anillo del cuerpo es de un material de los grupos IV, IVA, V o VI y el esfuerzo de diseño (S_d) del primer anillo es menor o igual a 160 MPa (23,200 psi) o cuando su esfuerzo en prueba hidrostática (S_t) del primer anillo es menor o igual a 172 MPa (24,900 psi), no es necesario instalar la plancha anular. (Estándar API 650 3.5.1).

Este anillo se proyecta sobre el ancho radial, 24 pulg., hacia el interior y 2 pulg., hacia el exterior del cuerpo como mínimo. Este ancho radial se calcula con la siguiente ecuación:

$$Wb = \frac{390 \cdot T_b}{(H \cdot G)^{0.5}} \quad (2.19)$$

Donde:

Wb: Ancho radial. (in).

tb: Espesor de la placa anular, (in).

H: Nivel de líquido máximo de diseño, (ft).

G: Gravedad específica de diseño a ser almacenado.

El espesor de la placa anular se selecciona de la tabla 2.7, la misma que está en función del esfuerzo del material en prueba hidrostática y del espesor del primer anillo.

A este espesor seleccionado se le suma un espesor por corrosión. Además el anillo puede tener la forma circular o la un polígono regular. La disposición de la forma será de tal manera que se aproveche y optimice el área de las planchas para evitar los desperdicios.

ESPESOR NOMINAL DE PLANCHA DEL PRIMER ANILLO (PULG.)	ESFUERZO EN PRUEBA HIDROSTÁTICA DEL PRIMER ANILLO (LBF./PULG. ²)			
	≤ 27,000	≤ 30,000	≤ 33,000	≤ 36,000
$t \leq 0.75$	¼	1/4	9/32	11/32
$0.75 < t \leq 1.00$	¼	9/32	3/8	7/16
$1.00 < t \leq 1.25$	¼	11/32	15/32	9/16
$1.25 < t \leq 1.50$	5/16	7/16	9/16	11/16
$1.50 < t \leq 1.75$	11/32	1/2	5/8	¾

Tabla 2.7. Selección de espesor de plancha para placa anular⁵.

2.6. DISEÑO, CONCEPTOS Y DEFINICIONES PARA TANQUES DE TECHO FIJO CONICO.

La norma API 650 describe que existen tres tipos de techos cónicos, el parámetro del limitante entre éstos, es el diámetro a ser cubierto. El primero y más sencillo es el techo autosoportado, este tipo de tanque puede ser utilizado según las condiciones del código API 650 en el subcapítulo 3.10.5.1; el segundo tipo, que es una modificación del primero, consiste en un techo autosoportado con anillo de compresión; el tercer tipo y más utilizado es el tanque con estructura soportante

⁵ API STANDAR 650 Welded Steel Tanks for Oil Storage. Décima Edición, Adenda 1.Marzo 2000. Pág. 3.6.

para el techo, el cual puede tener una sola columna central o adicionalmente podrá tener múltiples columnas formando polígonos consecutivos.

El estándar API 650 define en su numeral 3.10 (Techos), los diferentes tipos de techos fijos que se pueden diseñar:

- a. *Techo cónico soportado*, es un techo formado por aproximadamente la superficie de un cono recto que es soportado mediante correas sobre vigas y columnas, o por correas sobre vigas con o sin columnas.
- b. *Techo cónico auto soportado*, es un techo formado por aproximadamente la superficie de un cono que está soportado únicamente en su periferia.
- c. *Techo domo auto soportado*, es un techo formado por aproximadamente una superficie esférica que está soportado únicamente en su periferia.
- d. *Techo paraguas auto soportado*, es un techo domo modificado de manera que su sección horizontal es un polígono regular, teniendo tantos lados como láminas que lo conforman, soportado únicamente en su periferia.

Las siguientes definiciones aplicadas al diseño de tanques no deben ser consideradas como una limitante, sino como una ayuda para el diseño, quedará a criterio del diseñador el uso de los parámetros siguientes:

2.6.1. Parámetros Geométricos de Techos Cónicos Autosoportados

Los techos cónicos, autosoportados son empleados en tanques relativamente pequeños. Este consiste en un cono formado de placas soldadas a tope, el cual por su forma física, además de confirmar mediante un análisis de flexión basado en la teoría de placas, es capaz de sostenerse sin ningún elemento estructural y únicamente soportado en su periferia por el perfil de coronamiento.

Estos techos son diseñados y calculados para tanques que no exceden de un diámetro de 18,288mm. (60 pies), pero es recomendable fabricar estos en un diámetro máximo de 12,192mm (40 pies), y cualquier dimensión mayor de las mostradas requiere el uso de una estructura capaz de soportar al techo.

Los techos cónicos autosoportados tendrán como máximo una pendiente de 9:12 (37°), y como mínimo 2:12 (9.5°), con respecto a la horizontal. El espesor estará determinado por la siguiente expresión, pero no deberá ser menor de 4.76 mm. (3/16 pulg.), y no mayor de 12.7 mm. (1/2 pulg.).

Todos los techos y las estructuras que lo soportan deben ser calculados para soportar un peso propio (muerto), aumentado una sobrecarga (carga viva) de al menos 25 lb/ft² de superficie proyectada.

Las láminas de techo deben tener un espesor nominal mínimo de 3/16" (lámina de 7,65 lb/ft² o lámina de 0,18 pulgadas de espesor). Un mayor espesor puede ser exigido para los techos autosoportantes. Cualquier sobre espesor de corrosión requerido para las láminas de los techos autosoportantes y soportantes debe ser añadido al espesor calculado salvo indicación contraria del cliente o comprador.

Las láminas de los techos cónicos soportados, no deberán ser soldadas o fijadas a los elementos soportantes.

Todos los elementos de la estructura interior y exterior, deberán tener un espesor nominal mínimo, en todas las piezas de 0.17 in; La forma de asegurar un posible espesor de corrosión para las piezas de la estructura debe ser objeto de un acuerdo entre el cliente y el fabricante.

Las láminas del techo deberán ser fijadas (soldadas) al ángulo de tope del tanque, mediante una soldadura angular continua sobre el lado superior del ángulo de tope únicamente.

Si el cordón de soldadura es continuo entre las láminas de techo, el ángulo de tope no es mayor a 3/16 de pulgada, la pendiente entre el techo y el ángulo de tope no es superior a 2 in (detalles permitidos por API 650 para anillos de compresión), entonces la junta techo - cuerpo debe de ser considerada como una junta frangible y en el caso de excesiva presión esta va a fallar antes de que ocurra una falla en las juntas del tanque o en la unión del cuerpo con el fondo.

Si el cordón de soldadura continúa entre las láminas de techo y el ángulo de tope es mayor a 3/16 de pulgada, la pendiente entre el techo y el ángulo de tope es superior a 2 in. Detalles permitidos por API 650 para anillos de compresión, el área principal de la unión A, entonces las necesidades de venteo en acuerdo con el API 2000 deben ser proporcionadas por el comprador. El fabricante debe prever las conexiones necesarias para el efecto.

Para todos los tipos de techos, las láminas pueden ser rigidizadas por perfiles soldados a las láminas, pero no soldadas a las vigas y/o a las correas.

2.6.2. Parámetros Geométricos de Techos Cónicos Soportados.

Las láminas de techo deberán ser soldadas sobre su cara superior con soldaduras filete sobre todas las costuras. La dimensión de la soldadura que une el techo al ángulo de tope deberá ser de 3/16", o de menos si el pedido así lo exige.

La pendiente del techo deberá ser de 3/4 in en 12 in o cualquier otro valor indicado por el comprador. Si las correas son colocadas directamente sobre los miembros de las vigas, de tal forma que den pendientes diferentes, la pendiente más plana deberá ser igual a la especificada o solicitada para el techo.

Los elementos portadores principales incluidos los que soportan a las correas, pueden ser perfiles laminados o fabricados o cerchas. A pesar de que estos elementos puedan estar en contacto con las láminas de techo, el ala comprimida de un elemento o la parte superior de una cercha deberá ser considerada como si no estuviera recibiendo ningún apoyo lateral y deberá ser unida lateralmente en caso de ser necesario por medios apropiados.

Los elementos de las cerchas, que tengan el papel de las correas pueden ser perfiles fabricados o laminados. Las correas en contacto directo con las láminas de techo que aplican la carga a las vigas, se pueden considerar recibiendo un apoyo lateral apropiado, debido al rozamiento entre las láminas de techo y las alas comprimidas de las correas, con las siguientes excepciones:

- a. Cerchas y uniones de alma abierta utilizadas como correas.
- b. Correas de una altura nominal superior a 15 in.
- c. Correas con una pendiente superior a 2 in. en 12 in.

Las Correas deberán ser espaciadas de manera tal, que sobre el anillo exterior, su distancia entre ejes no sea superior a 2π (2 x 3.1416) ft. medido siguiendo la circunferencia del tanque. El espaciamiento de los anillos interiores no deberá sobrepasar 5 1/2 in.

Las columnas, de techo deberán ser constituidas por perfiles, o si el cliente así lo desea, por tubos de acero. Cuando se utilizan tubos estos deben ser sellados, o con acuerdo del cliente, se tomarán disposiciones en el sentido de asegurar el drenaje y la ventilación.

Los amarres de las correas, sobre la periferia del tanque, deberán ser soldados al cuerpo del tanque. Los amarres de guía de las bases de columnas deberán soldarse al fondo del tanque con el fin de evitar el desplazamiento lateral de estas últimas. Todos los demás ensambles de la estructura deberán ser empernados, remachados o soldados.

Independientemente de la forma o el método de soporte, los techos son diseñados para soportar una carga viva de por lo menos, $1.76 \text{ Kg} / \text{cm}^2$ ($25 \text{ lb} / \text{pie}^2$), más la carga muerta ocasionada por el mismo.

2.6.3. Diseño de alternativas de techos cónicos. (autosoportados).

La estructura soportante del techo, se diseñará con perfiles laminados en caliente, según API STANDARD 650. Se muestran a continuación, cinco diseños básicos

dependiendo del diámetro del tanque y del tipo de correas a utilizarse, también por la facilidad de encontrar el material en el mercado.

- I-11. Estructura con una columna central para tanques de techo cónico con diámetro nominal desde 20 ft. (6.096 mm) hasta 50 ft. (15.240 mm), utilizando canales C como correas.

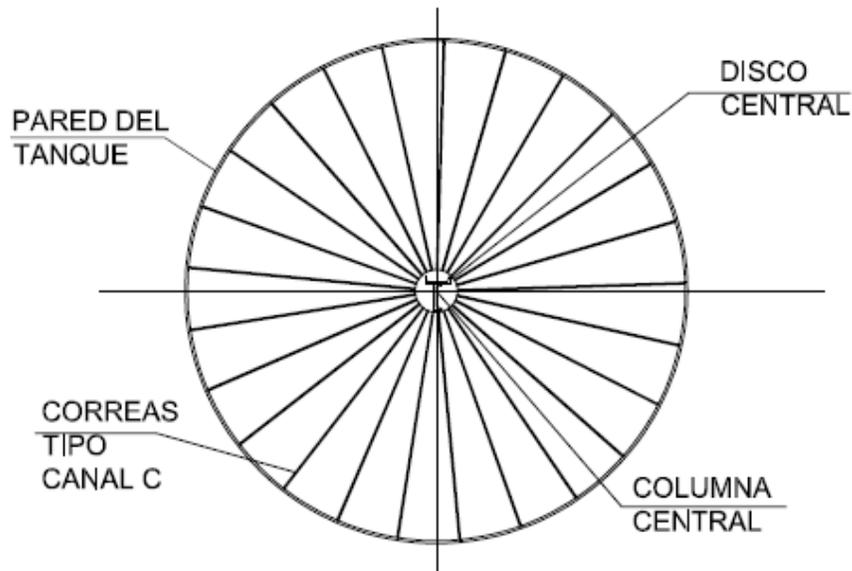


Figura 2.6. Vista superior alternativa I-11

- I-12. Estructura con una columna central para tanques de techo cónico con diámetro nominal desde 20 ft. (6.096 mm) hasta 80 ft. (24.384 mm), utilizando perfiles I de ala ancha (wide flange) como correas.

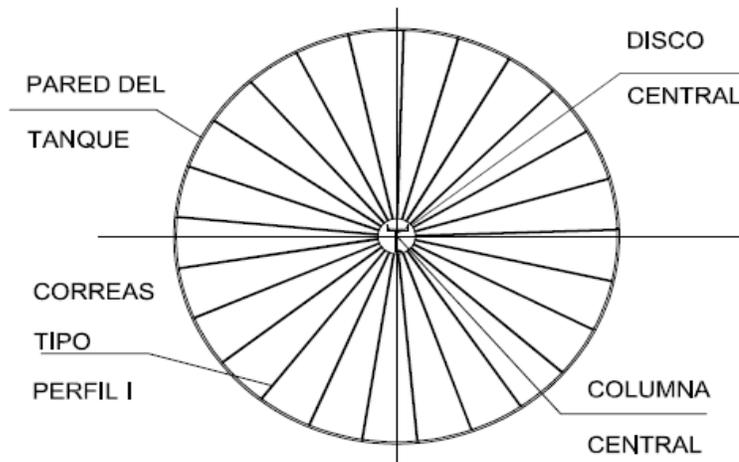


Figura 2.7. Vista superior alternativa I-12

- I-13. Estructuras con dos castillos interiores soportados por varias columnas para tanques de techo cónico con diámetro nominal desde 100 ft. (30.480 mm) hasta 160 ft. (48.768 mm), utilizando canales C como correas.
- A.- Columna Central Interior, Castillo Interior con cuatro columnas, Castillo Medio con ocho columnas. Diámetro desde 100 ft. Hasta 115 ft.

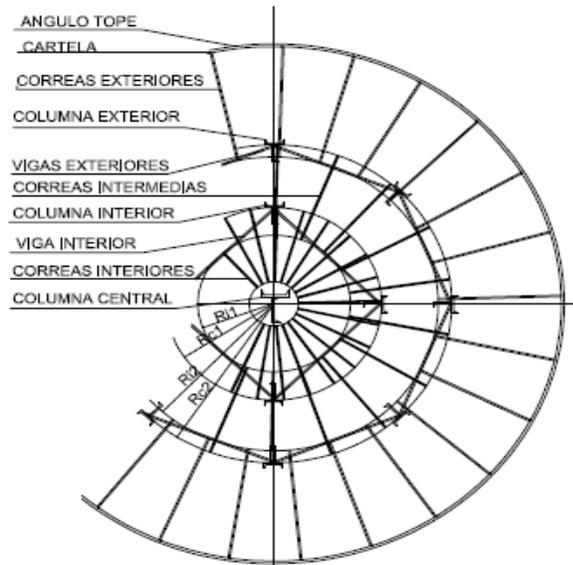


Figura 2.8. Vista superior alternativa I-13 (A)

- B.- Columna Central Interior, Castillo Interior con cinco columnas, Castillo Medio con diez columnas. Diámetro desde 120 ft. Hasta 135 ft.

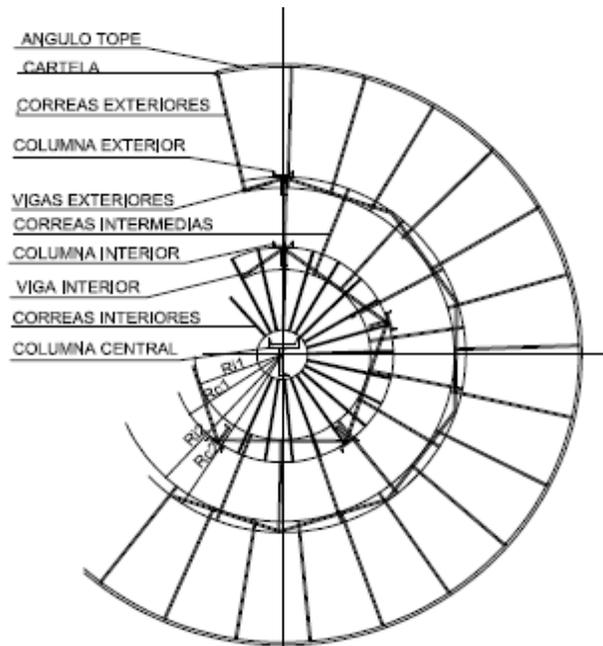


Figura 2.9. Vista superior alternativa I-13 (B)

C.- Columna Central Interior, Castillo Interior con seis columnas, Castillo Medio con doce columnas. Diámetro desde 140 ft. Hasta 160 ft.

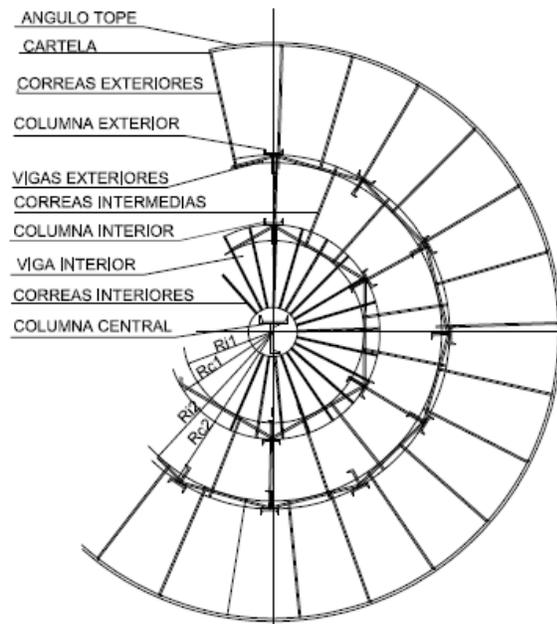


Figura 2.10. Vista superior alternativa I-13 (C)

- I-14. Estructuras con un castillo interior soportado por varias columnas para tanques de techo cónico con diámetro nominal desde 50 ft. (15.240 mm) hasta 100 ft. (30.480 mm), utilizando canales C como correas.

A.- Columna Central Interior, Castillo Interior con cuatro columnas, Diámetro desde 50 ft. Hasta 70 ft.

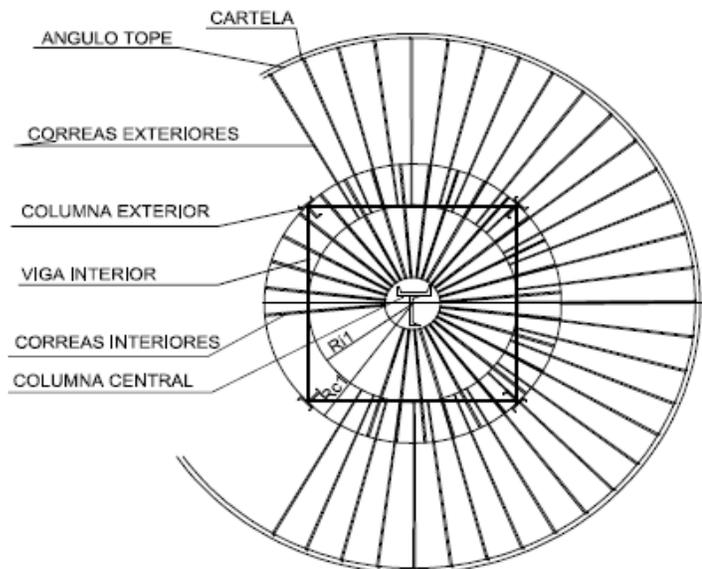


Figura 2.11. Vista superior alternativa I-14 (A)

B.- Columna Central Interior, Castillo Interior con cinco columnas, Diámetro desde 75 ft. Hasta 85 ft.

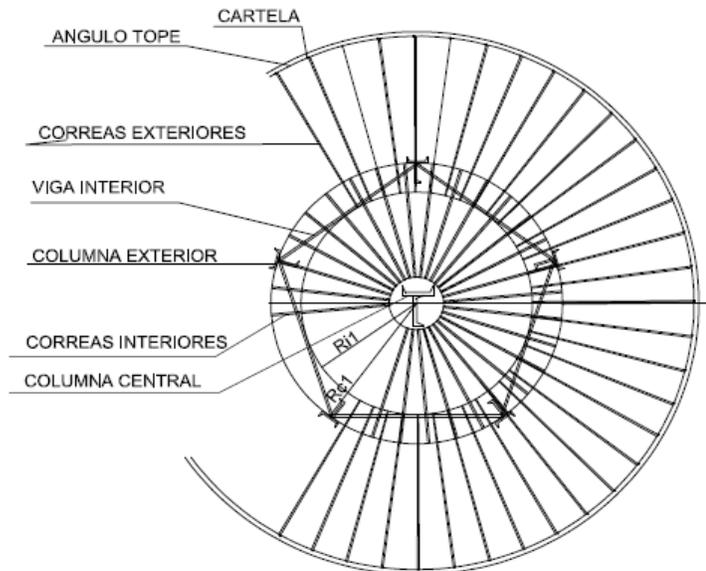


Figura 2.12. Vista superior alternativa I-14 (B)

C.- Columna Central Interior, Castillo Interior con seis columnas, Diámetro desde 90 ft. Hasta 100 ft.

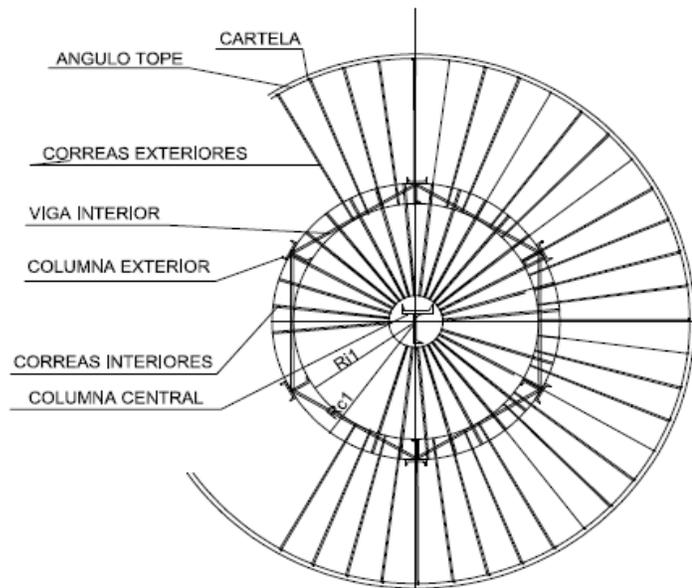


Figura 2.13. Vista superior alternativa I-14 (C)

- I-15. Estructuras con un castillo interior soportado por varias columnas para tanques de techo cónico con diámetro nominal desde 85 ft. (24.384 mm) hasta 160 ft. (48.768 mm), utilizando perfiles I de ala ancha (wide flange) como correas.

A.- Columna Central Interior, Castillo Interior con cuatro columnas, Diámetro desde 85 ft. Hasta 100 ft.

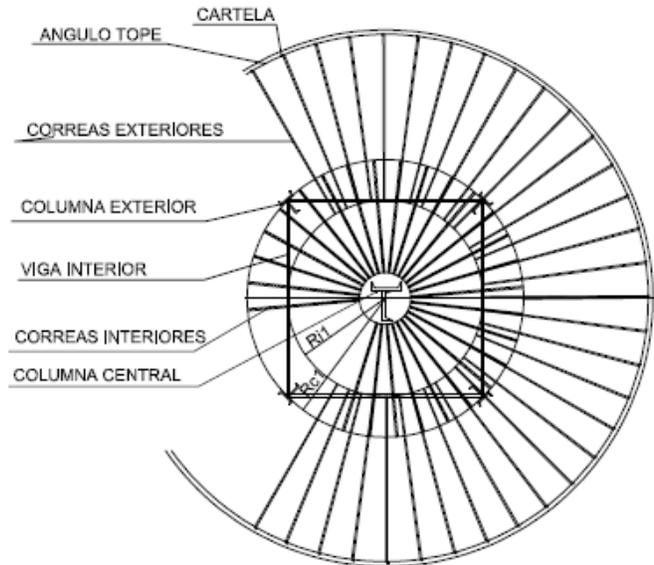


Figura 2.14. Vista superior alternativa I-15 (A)

B.- Columna Central Interior, Castillo Interior con cinco columnas, Diámetro desde 105 ft. Hasta 125 ft.

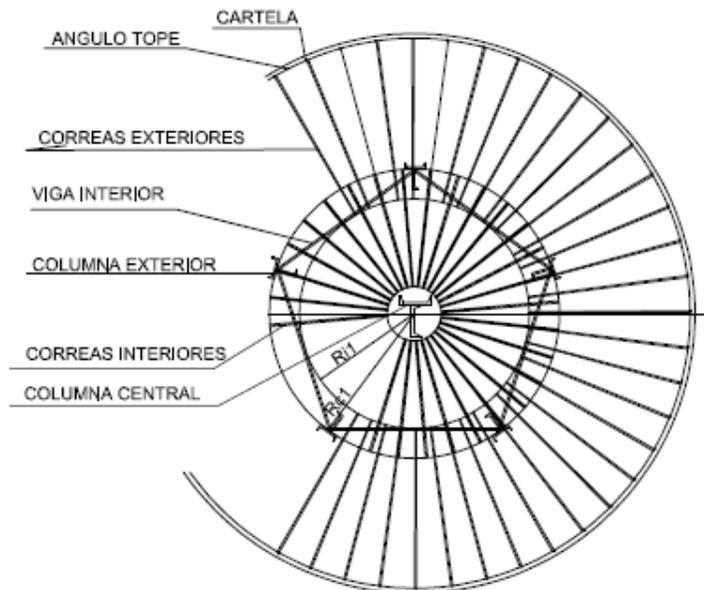


Figura 2.15. Vista superior alternativa I-15 (B)

C.- Columna Central Interior, Castillo Interior con seis columnas, Diámetro desde 130 ft. Hasta 160 ft.

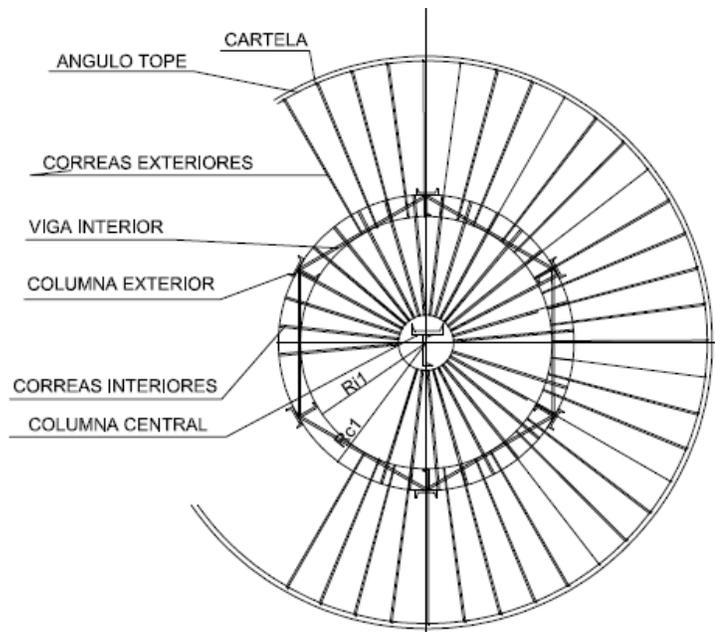


Figura 2.16. Vista superior alternativa I-15 (C)

2.6.4. Juntas del techo.

Las placas del techo se sujetarán al ángulo superior del tanque (anillo de coronamiento), con un cordón de soldadura continuo sólo por la parte superior, aunque éste sea soportado.

Las láminas del techo deben ser soldadas al ángulo tope así como entre ellas con un cordón de soldadura continuo únicamente en el lado superior. El código brinda al constructor la opción de aplanar los extremos del techo para mejorar las condiciones de soldadura estableciendo que se debe colocar siempre un ángulo tope recomendado según el diámetro del tanque, del Capítulo I, a excepción de los tanques con un diámetro igual o menor a 30 ft. Con techo soportado, en este caso se puede doblar el extremo superior de la lámina del techo cumpliendo una serie de exigencias anotadas en el código.

2.7. DISEÑO Y SELECCION DE ACCESORIOS PRINCIPALES

Un tanque de almacenamiento no solo consiste en las paredes, piso, techo, y estructura para el techo, sino también de elementos que podrían ser secundarios debido a que su costo en relación a las partes y estructura indicadas anteriormente es inferior, pero que son de gran importancia ya que estos

accesorios ayudan a la funcionalidad y mantenimiento del tanque, así se tiene, el llenado y vaciado del mismo, a través de la colocación de boquillas en las que se unen las diferentes líneas de combustible, control de la presión interna a través de las boquillas para válvulas de venteo, inspección visual en el interior del tanque para detectar averías con la colocación de manholes en el cuerpo y techo del tanque, el ingreso de equipos y herramientas para dar mantenimiento mediante los accesos de limpieza o compuerta de sedimentos, desalojo de agua, lodos que se precipitan en el interior de un tanque lleno con el uso de los sumideros, gradas y pasamanos.

La colocación de todos estos accesorios, involucran la presencia de placas o láminas de refuerzos que ayudan a protección de las paredes del tanque y láminas del techo, ya que en estas superficies se deben realizar aberturas que ocasionan concentradores de esfuerzos y que reducen la resistencia de éstos elementos, que a su vez sujetan tuberías y otras cargas externas, estas placas de refuerzo cubre cierta área y rodea el agujero que se ha realizado en la superficie de las láminas del cuerpo y techo, tiene un espesor mínimo igual al espesor de la plancha en donde se realizó la abertura, tal como se observa en la figura 2.17.

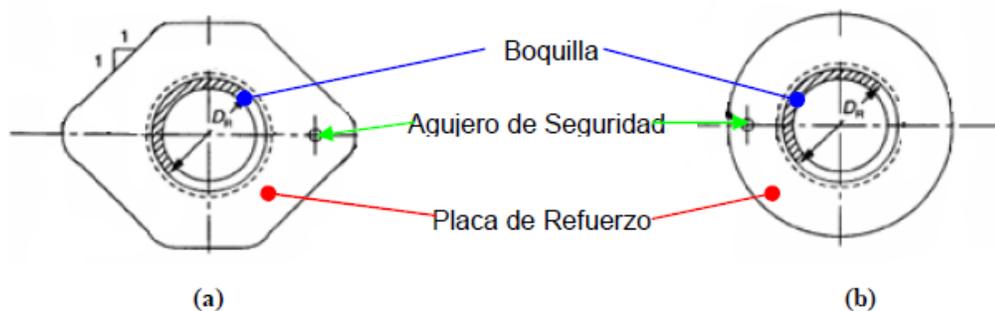


Figura 2.17. Accesorios del tanque, boquillas y placas de refuerzo
(a) Placa tipo diamante (b) Placa tipo circular

Estos accesorios necesitan unirse con otros elementos, tal como es la línea de entrada y salida de combustible, válvulas de venteo y para ello se usan bridas de sujeción, o simplemente ciertos accesorios necesitan asegurarse con tapas como sucede en los manholes y accesos de limpieza.

El estándar API 650 en la sección 3.7.1 hasta 3.7.4 indica las condiciones que deben tener las aberturas en el cuerpo o techo del tanque, así como las recomendaciones para la colocación de las placas de refuerzo, soldadura tratamientos térmicos si lo necesitan, el espaciado de las uniones soldadas alrededor de las conexiones se indican en la figura 2.18 y la tabla 2.8.

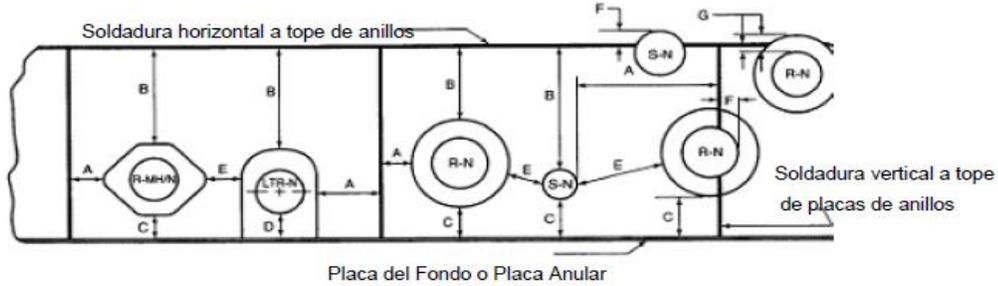


Figura 2.18. Descripción y geometría de aberturas⁶.

Notas:

- R-MN/H = Abertura Reforzada (manhole o boquilla con placa de refuerzo de tipo diamante).
- LTR-N = Abertura Reforzada Baja a nivel del piso (boquillas con placa de refuerzo de tipo de lápida).
- R-N = Abertura Reforzada (manhole o boquilla con placa de refuerzo de tipo circular insertada en el espesor de la placa).
- S-N = Abertura No Reforzada (manhole o boquilla insertada dentro de la placa de anillo, por alternativa de cuello).

VARIABLES		Mínima espaciado entre uniones requeridas para aberturas en el cuerpo del tanque						
Espesor Anillo t	Condición	A	B	C	D	E	F	G
$t \leq 12.5$ mm ($t \leq \frac{1}{2}$ in)	Soldada o Empernada	150 mm (6 in)	75mm (3 in) o 2 1/2 t	75mm (3 in) o 2 1/2 t 75mm (3 in) para S-N	Tabla 1.15 o Tabla 3-6 del API 650	75mm (3 in) o 2 1/2 t	8 t o $\frac{1}{2} r$	8 t
$t \geq 12.5$ mm ($t \geq \frac{1}{2}$ in)	Soldada	8 W o 250 mm (10 in)	8 W o 250 mm (10 in)	8 W o 250 mm (10 in) 75mm(3 in) para S-N	Tabla 1.15 o Tabla 3-6 del API 650	8 W o 150 mm (6 in)	8 t o $\frac{1}{2} r$	8 t
$t \geq 12.5$ mm ($t \geq \frac{1}{2}$ in)	Empernada	150 mm (6 in)	75mm (3 in) o 2 1/2 t	75mm(3 in) o 2 1/2 t 75mm(3in) para S-N	Tabla 1.15 o Tabla 3-6 del API 650	75mm (3 in) o 2 1/2 t	8 t o $\frac{1}{2} r$	8 t

Tabla 2.8. Mínimas distancias de separación de las principales aberturas del cuerpo⁷.

⁶ API STANDAR 650 Welded Steel Tanks for Oil Storage. Décima Edición, Adenda 1.Marzo 2000. Pág. 3-49, figura 3-22.

Notas:

1. Si dos requerimientos son dados, el mínimo espacio será el mayor valor entre los dos datos de la tabla.
 2. t = Espesor del anillo primer anillo, $8W = 8$ veces más grande del tamaño de soldadura de la placa de refuerzo insertada en la periferia de la placa soldada (soldadura de filete o soldadura a tope).
 3. D = Distancia establecida para la mínima elevación para placas de refuerzo del Tipo Baja, ver Tabla 3.6 columna 9 del API 650. Pág. 3.18.
 4. El Cliente tiene la opción de permitir aberturas de anillos localizadas en las soldaduras a topes horizontales o verticales de los anillos.
 5. t = Espesor de la placa de anillos, r = radio de abertura. Mínimo espacio para dimensión F es la establecida $8t$ o $\frac{1}{2} r$.
- Los principales accesorios para una función óptima del tanque se los puede clasificar en los siguientes:

- **Manhole del cuerpo:** para inspección y acceso del personal.
- **Manhole del techo:** para inspección y acceso del personal.
- **Boquillas de entrada:** accesorio por donde ingresa el líquido a almacenar.
- **Boquillas de salida:** accesorio por donde sale el líquido a refinar o vender como un derivado de petróleo.
- **Puertas de limpieza a nivel (lápidas):** accesorio por donde se realiza la extracción de sustancias residuales (residuo de petróleo sólido), y cualquier suciedad, escoria, o basura.
- **Sumidero o tina de lodos:** accesorio por donde se vaciarán, los residuos de agua y/o petróleo que no puedan ser desalojados. Se encuentra por debajo del nivel del fondo del tanque.
- **Plataformas, pasadizos, escalinatas:** accesorios que permiten subir hasta el techo del tanque para realizar inspección.

2.7.1. Manhole para el cuerpo.

Los manholes son accesorios que ayudan al venteo del tanque, el ingreso del personal para realizar inspección o mantenimiento; esto se puede realizar por medio del manhole del cuerpo o del techo. El estándar API 650 tiene tablas específicas que ayudan a la selección de las dimensiones de estos accesorios y sus componentes. Las partes y características de un manhole se observan en la figura 2.19.

⁷ API STANDAR 650 Welded Steel Tanks for Oil Storage. Décima Edición, Adenda 1.Marzo 2000. Pág. 3-49, figura 3-22.

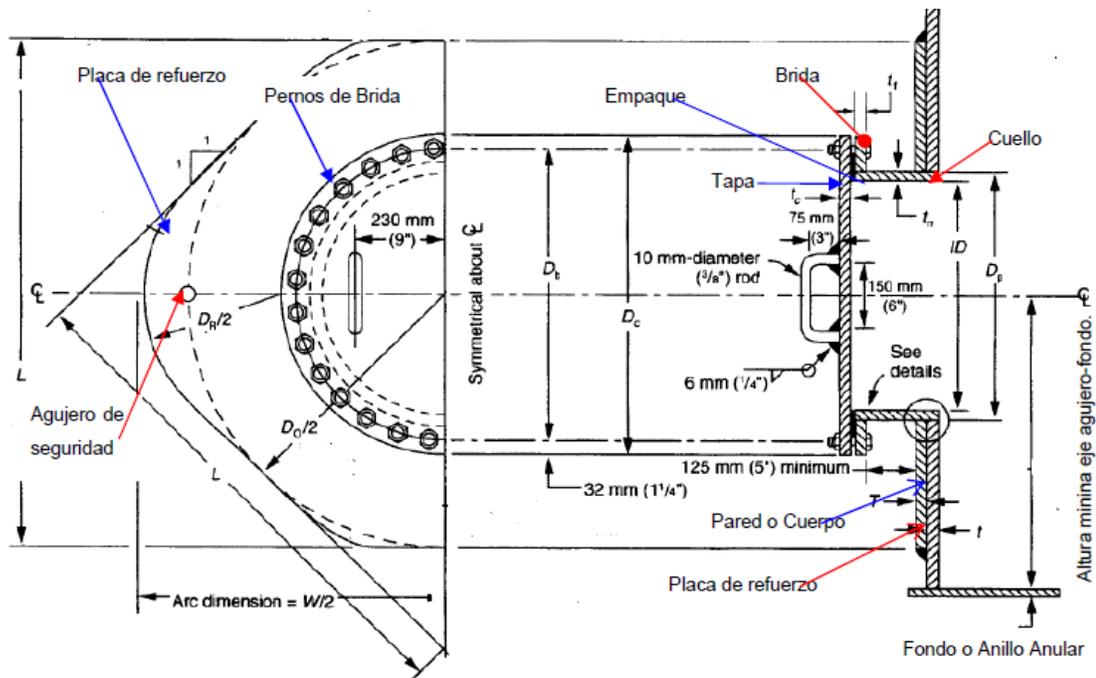


Figura 2.19. Manhole del cuerpo⁸.

Partes del manhole:

- Abertura del Manhole.
- Cuello del Manhole.
- Brida del Manhole.
- Placa de refuerzo.
- Empaque.
- Agujero de seguridad.
- Tapa del Manhole.
- Pernos de Brida.

Notas:

- OD o D_p = Diámetro exterior de la boquilla o del cuello.
- ID = Diámetro del manhole.
- D_c = Diámetro de la tapa del manhole.
- D_b = Diámetro del eje de los agujeros para los espárragos.
- D_o = Diámetro exterior de la placa de refuerzo.
- D_R = Diámetro interior de la placa de refuerzo.
- t_f = Espesor de la brida.
- t_c = Espesor de la tapa del manhole

⁸ API STANDAR 650 Welded Steel Tanks for Oil Storage. Décima Edición, Adenda 1.Marzo 2000. Pág. 3-14, figura 3-4A

- t_n = Espesor del cuello (neck).
- t_n = Espesor de boquilla (nozzle).
- t = Espesor del anillo del cuerpo del tanque.
- T = Espesor de la placa de refuerzo.
- W = Ancho de la placa de refuerzo.

El API 650, considera los siguientes puntos para la construcción de manholes.

2.7.1.1. Pernos y agujeros.

Diámetro del manhole (in)	Número de pernos	Diámetro de los pernos (in)	Diámetro de los agujeros (in)
20 o 24	28	3/4	7/8
30 o 36	42	3/4	7/8

Tabla 2.9. Diámetros de pernos y agujeros del manhole.

2.7.1.2. Empaques.

Diámetro del manhole (in)	Dimensiones del empaque (in)		
	OD	ID	Espesor
20	25 3/8	20	1/8
24	29 3/8	24	1/8
30	35 3/8	30	1/8
36	41 3/8	36	1/8

Tabla 2.10. Dimensiones del empaque del manhole.

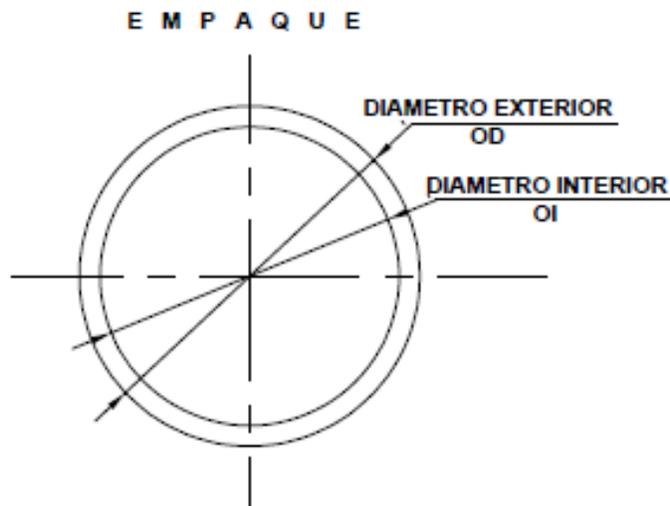


Figura 2.20. Empaque del Manhole, OD diámetro exterior, ID diámetro interior.

2.7.1.3. Altura mínima desde base del tanque hasta centro del agujero del manhole

Diámetro del manhole (in)	Altura mínima (in)
20	30
24	30
30	36
36	42

Tabla 2.11. Altura mínima desde la base del tanque hasta el centro del manhole.

Se puede incrementar la distancia, si es necesario, pero no se pueden invadir soldaduras verticales ni horizontales de las juntas de los anillos. El corte del agujero del manhole se debe realizar dentro del área de la placa.

Los cuellos pertenecientes a los manholes y boquillas, están soldados al cuerpo del tanque por medio de una junta a filete y cubre todo el perímetro con completa penetración. Puede unirse en un solo lado o en ambos, como se muestra en la figura 2.21. Para unir las placas de refuerzo al cuerpo del tanque, estas deben tener la misma curvatura del tanque para que exista un buen contacto en ambas superficies y realizar una junta a traslape con completa penetración y que cubra toda la periferia de la placa.

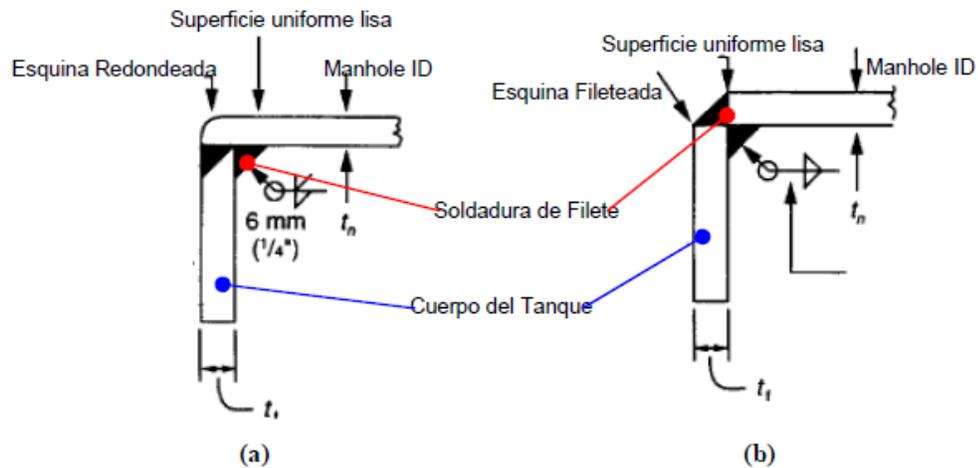


Figura 2.21. Unión cuello del manhole - cuerpo del tanque⁴.

El procedimiento para la selección de las dimensiones, empieza determinando el diámetro del manhole que se encuentra establecido en el estándar API 650. Hay que tener en cuenta, que es el sitio de entrada y salida del personal de inspección técnica y mantenimiento, por lo tanto este debe tener un tamaño considerado de entre las opciones que se presentan en la tabla 2.12. Otros datos de entrada son: la altura máxima del nivel del líquido y el espesor de la placa de refuerzo o el espesor del anillo del cuerpo en donde se va a alojar el manhole, que por lo

general es el espesor del primer anillo; con estos datos y el uso de las tablas 2.13, 2.14, 2.15 y la figura 2.19, se procede a la selección. Todas las tablas se encuentran en unidades inglesas, para mantener concordancia con el estándar API 650.

El API 650, recomienda para la construcción de manholes, utilizar un diámetro de 24 pulgadas, y es el que se utilizará en el presente proyecto, aunque se aclara que el diámetro del manhole será seleccionado en mutuo acuerdo entre el fabricante y el cliente.

Notas para el uso de la tabla:

- Primero ingresar con el valor del nivel máximo de líquido.
- Seleccionar un diámetro de manhole acordado entre el fabricante y el cliente (20, 24, 30, 36 in).
- Con los datos anteriores, se selecciona la presión equivalente y los espesores para la tapa (t_c) y brida (t_f) del manhole.
- La presión equivalente está basada en la carga de agua.

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7	Columna 8	Columna 9	Columna 10
Máxima Altura Nivel Líquido H (ft)	Presión Equivalente (PSI)	Máximo Espesor de la placa de la tapa t_c				Mínimo Espesor de la brida emperrada t_f			
		20 in Manhole	24 in Manhole	30 in Manhole	36 in Manhole	20 in Manhole	24 in Manhole	30 in Manhole	36 in Manhole
21	9.1	5/16	3/8	7/16	1/2	1/4	1/4	5/16	3/8
27	11.7	3/8	7/16	1/2	9/16	1/4	5/16	3/8	7/16
32	13.9	3/8	7/16	9/16	5/8	1/4	5/16	7/16	1/2
40	17.4	7/16	1/2	5/8	11/16	5/16	3/8	1/2	9/16
45	19.5	1/2	9/16	5/8	3/4	3/8	7/16	1/2	5/8
54	23.4	1/2	9/16	11/16	13/16	3/8	7/16	9/16	11/16
65	28.2	9/16	5/8	3/4	7/8	7/16	1/2	5/8	3/4
75	32.5	5/8	11/16	13/16	15/16	1/2	9/16	11/16	13/16

Tabla 2.12. Espesor de la tapa t_c y la brida t_f (Fuente API 650. Tabla 3-3 .Pág. 3-12)

Espesores del Cuerpo y Placa de Refuerzo del Manhole t y T	Mínimo espesor para cuello in. t_n			
	Para diámetro manhole 20 in	Para diámetro manhole 24 in	Para diámetro manhole 30 in	Para diámetro manhole 36 in
3/16	3/16	3/16	3/16	3/16
1/4	1/4	1/4	1/4	1/4
5/16	1/4	1/4	5/16	5/16
3/8	1/4	1/4	5/16	3/8
7/16	1/4	1/4	5/16	3/8
1/2	1/4	1/4	5/16	3/8
9/16	1/4	1/4	5/16	3/8
5/8	1/4	1/4	5/16	3/8
11/16	1/4	1/4	5/16	3/8
3/4	1/4	1/4	5/16	3/8
13/16	5/16	1/4	5/16	3/8
7/8	3/8	5/16	5/16	3/8
15/16	7/16	7/16	7/16	7/16
1	7/16	7/16	7/16	7/16
1 1/16	7/16	7/16	7/16	7/16
1 1/8	1/2	1/2	1/2	1/2
1 3/16	9/16	9/16	9/16	9/16
1 1/4	5/8	9/16	9/16	9/16
1 5/16	5/8	5/8	5/8	5/8
1 3/8	11/16	5/8	5/8	5/8
1 7/16	11/16	11/16	11/16	11/16
1 1/2	3/4	3/4	3/4	3/4

Tabla 2.13. Espesor del cuello del manhole del cuerpo t_n .
(Fuente API 650 Tabla 3-4.Pág.3-12).

Notas para el uso de la tabla:

- Conocer el valor del espesor del primer anillo (donde se instalará el manhole) y buscar este valor en la columna: espesor del cuerpo (t). Generalmente el espesor de la placa de refuerzo es igual al del primer anillo.
- Con el diámetro del manhole seleccionado anteriormente, intersectar esta columna con la fila del espesor del anillo y se obtendrá el mínimo espesor del cuello del manhole t_n .

Columna 1 Diámetro de Manhole (in) ID	Columna2 Diámetro del círculo de los agujeros (in) D_b	Columna 3 Diámetro de la tapa manhole (in) D_c
20	26 1/4	28 3/4
24	30 1/4	32 3/4
30	36 1/4	38 3/4
36	42 1/4	44 3/4

Tabla 2.14. Diámetro del eje circular de los agujeros D_b y diámetro de la tapa del manhole D_c .

Notas para el uso de la tabla:

- Con el diámetro del manhole seleccionado anteriormente, buscar en la columna 2, el diámetro del círculo de los agujeros (donde se realizarán las perforaciones para los pernos de la brida) y de la columna 3, el diámetro de la tapa del manhole.

La tabla 2.15, Dimensiones de las boquillas del cuerpo, se utiliza para calcular tanto para las dimensiones de boquillas, como para las dimensiones restantes del manhole. No se debe confundir el espesor del cuello (t_n) con el espesor de la boquilla (t_n), el primero se utiliza en el manhole, mientras que el segundo propiamente en la construcción de boquillas; cabe notar que el API 650 utiliza la misma nomenclatura para los dos (t_n), son similares elementos, pero tienen diferentes espesores y longitudes.

En la columna 3, Espesor nominal de la pared del tubo de la boquilla (t_n), solo se tomará en cuenta para las boquillas, mientras que si se necesita para el cuello del manhole, se obviara la columna 3 y el (t_n) de cuello será el obtenido de la tabla 2.13, Espesor del cuello. Las siguientes columnas de la tabla si se tomarán en cuenta para la construcción del manhole.

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7	Columna 8	Columna 9
NPS Diámetro de la Boquilla O Cuello de Manhole	Diámetro Exterior del Tubo D_p	Espesor Nominal de la pared del tubo de la boquilla t_n	Diámetro de la Placa de Refuerzo D_R	Longitud del lado de placa refuerzo o diámetro $L=D_o$	Ancho de la Placa de refuerzo W	Minima distancia desde el cuerpo a la cara de la boquilla J	Minima distancia del fondo del tanque al centro de la boquilla	
							Tipo Regular H_R	Tipo Baja C
Boquilla sin roscar -Brida.								
48	48	e	48 1/8	96 3/4	117	16	52	48 3/8
46	46	e	46 1/8	92 3/4	112	16	50	46 3/8
44	44	e	44 1/8	88 3/4	107 3/4	15	48	44 3/8
42	42	e	42 1/8	84 3/4	102 1/2	15	46	42 3/8
40	40	e	40 1/8	80 3/4	97 3/4	15	44	40 3/8
38	38	e	38 1/8	76 3/4	92 3/4	14	42	38 3/8
36	36	e	36 1/8	72 3/4	88	14	40	36 3/8
34	34	e	34 1/8	68 3/4	83 3/4	13	38	34 3/8
32	32	e	32 1/8	64 3/4	78 1/2	13	36	32 3/8
30	30	e	30 1/8	60 3/4	73 1/2	12	34	30 3/8
28	28	e	28 1/8	56 3/4	68 3/4	12	32	28 3/8
26	26	e	26 1/8	52 3/4	64	12	30	26 3/8
24	24	0.5	24 1/8	49 1/2	60	12	28	24 3/4
22	22	0.5	22 1/8	45 1/2	55 1/4	11	26	22 3/4
20	20	0.5	20 1/8	41 1/2	50 1/2	11	24	20 3/4
18	18	0.5	18 1/8	37 1/2	45 3/4	10	22	18 3/4
16	16	0.5	16 1/8	33 1/2	40 3/4	10	20	16 3/4
14	14	0.5	14 1/8	29 1/2	36	10	18	14 3/4
12	12 3/4	0.5	12 7/8	27	33	9	17	13 1/2
10	10 3/4	0.5	10 7/8	23	28 3/4	9	15	11 1/2
8	8 5/8	0.5	8 3/4	19	23 3/4	8	13	9 1/2
6	6 5/8	0.432	6 3/4	15 3/4	19 1/2	8	11	7 7/8
4	4 1/2	0.337	4 5/8	12	15 1/4	7	9	6
3	3 1/2	0.3	3 5/8	10 1/2	13 1/2	7	8	5 1/4
2	2 3/8	0.218	2 1/2	-	-	6	7	i
1 1/2	1.9	0.2	2	-	-	6	6	i
Boquilla Roscada -Brida								
3	4.0	Acoplado	4 1/8	11 1/4	14 1/4	-	9	5 5/8
2	2.875	Acoplado	3	-	-	-	7	i
1 1/2	2.2	Acoplado	2 3/8	-	-	-	6	i
1	1.576	Acoplado	1 11/16	-	-	-	5	i
3/4	1.313	Acoplado	1 7/16	-	-	-	4	i

Tabla 2.15. Dimensiones de las boquillas del cuerpo (in). (Fuente API 650 Tabla 3-6. Pág. 3-18).

Notas para el uso de la tabla:

- Ingresar con el diámetro de la boquilla o diámetro del cuello, según corresponda, en la columna 1. Cabe anotar, que el diámetro de boquilla es el mismo diámetro exterior del tubo, para que exista acople. Análogamente, si fuese el diámetro del cuello, sería igual al diámetro del tubo, por tal razón los valores de la columna 1 son casi iguales a los de la columna 2.

- Si se utilizan boquillas roscadas - brida (son roscadas y también soldadas), el espesor de la boquilla será el que mejor se acople al diseño, pero no pueden ser menores de 0.2 in. ni mayores de 0.5 in.
- Para los valores de espesor de boquilla o cuello (**e**), desde diámetros de 26 a 48 in, se seleccionará de acuerdo a la tabla 2.16, el valor de la columna 2, ingresando con el valor del espesor del primer anillo (desde el fondo).

En la tabla 2.16, Dimensiones para las boquillas del cuerpo: tubos, placas y tamaño del filete de soldadura, se presentan los valores del mínimo espesor de la boquilla en función del espesor de la placa del primer anillo o de la placa de refuerzo, el valor que hay que agregar al diámetro del tubo o agujero del cuerpo para obtener el máximo diámetro interno de la placa de refuerzo y el tamaño de filete de soldadura B o A.

Columna 1 Espesores del cuerpo y placa de refuerzo del manhole t y T	Columna 2 Mínimo espesor tubo de la boquilla t_b	Columna 3 Valor añadido al diámetro de boquilla para obtener Máximo diámetro de la placa del cuerpo D_p	Columna 4 Tamaño del filete de soldadura B	Columna 5 Tamaño de filete soldadura A	
				Boquillas mas 2 pulgadas	Boquillas mas 2; 1 ½; 1 ¾ de pulgadas
3/16	1/2	5/8	3/16	1/4	1/4
¼	1/2	5/8	1/4	1/4	1/4
5/16	1/2	5/8	5/16	1/4	1/4
3/8	1/2	5/8	3/8	1/4	1/4
7/16	1/2	5/8	7/16	1/4	1/4
½	1/2	5/8	1/2	1/4	5/16
9/16	1/2	3/4	9/16	1/4	5/16
5/8	1/2	3/4	5/8	5/16	5/16
11/16	1/2	3/4	11/16	5/16	5/16
¾	1/2	3/4	¾	5/16	5/16
13/16	1/2	3/4	13/16	3/8	5/16
7/8	1/2	3/4	7/8	3/8	5/16
15/16	1/2	3/4	15/16	3/8	5/16
1	1/2	3/4	1	7/16	5/16
1 1/16	9/16	3/4	1 1/16	7/16	5/16
1 1/8	9/16	3/4	1 1/8	7/16	5/16
1 3/16	5/8	3/4	1 3/16	1/2	5/16
1 1/4	5/8	3/4	1 1/4	1/2	5/16
1 5/16	11/16	3/4	1 5/16	1/2	5/16
1 3/8	11/16	3/4	1 3/8	9/16	5/16
1 7/16	¾	3/4	1 7/16	9/16	5/16
1 1/2	¾	3/4	1 1/2	9/16	5/16
1 9/16	13/16	3/4	1 1/2	9/16	5/16
1 5/8	13/16	3/4	1 1/2	5/8	5/16
1 11/16	7/8	3/4	1 1/2	5/8	5/16
1 ¾	7/8	3/4	1 1/2	5/8	5/16

Tabla 2.16. Dimensiones para las boquillas del cuerpo: tubos, placas y tamaño del filete de soldadura (in). (Fuente API 650 Tabla 3-7.Pág. 3-19).

2.7.2. Manhole para el techo.

Los manholes para techo se utilizan también para el venteo del tanque, inspección técnica y el ingreso del personal. Las características de los manholes para techo se encuentran en la figura 2.22; con el diámetro del manhole que se requiere y con el uso de la tabla 2.17, se procede a la selección de las dimensiones.

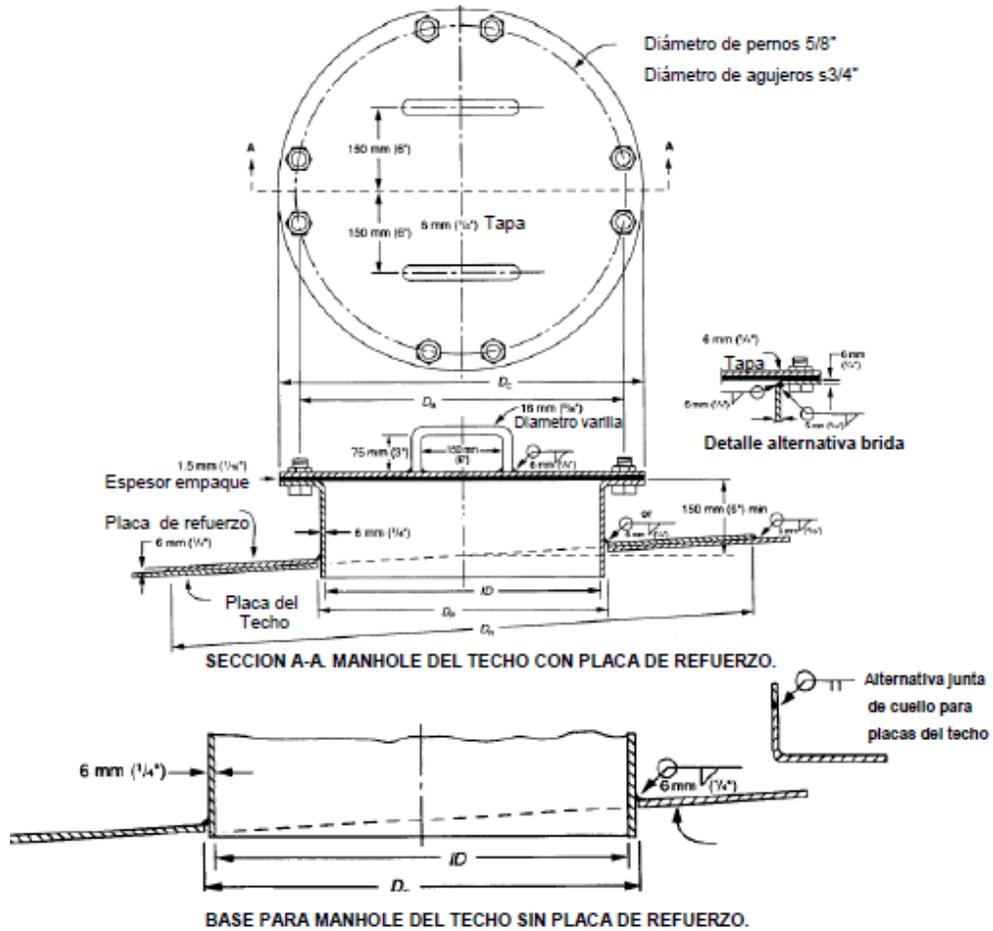


Figura 2.22. Manhole en el Techo del Tanque⁹.

La selección del manhole es análoga a la del manhole del cuerpo. Para ello se utilizara la tabla 2.17, donde se selecciona el tamaño del manhole (agujero o abertura en el techo), el diámetro del cuello o boquilla, el diámetro del circulo de pernos, número de pernos, diámetro del empaque y diámetro de la placa de refuerzo interior y exterior.

⁹ API STANDAR 650 Welded Steel Tanks for Oil Storage. Décima Edición, Adenda 1.Marzo 2000. Pág. 3-35, figura 3-13

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7	Columna 8	Columna 9
Tamaño del Manhole	Diámetro del cuello ID	Diámetro de placa de cubierta D_C	Diámetro del círculo de pernos D_B	Número de Pernos	Diámetro del Empaque		Diámetro del agujero en la placa de refuerzo D_P	Diámetro exterior de la placa de refuerzo D_R
					Interior	Exterior		
20	20	26	23 1/2	16	20	26	20 5/8	42
24	24	30	27 1/2	20	24	30	24 5/8	46

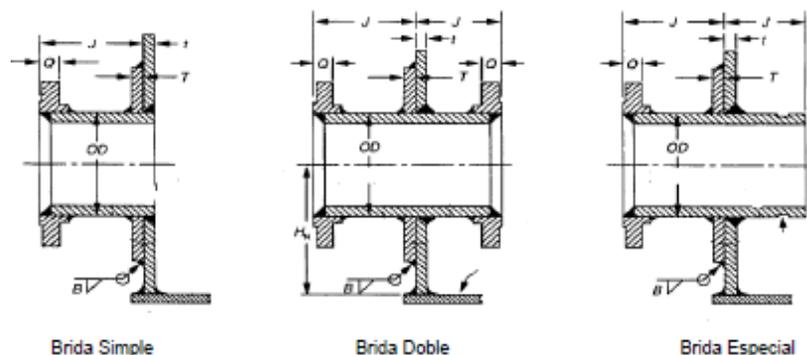
Tabla 2.17. Dimensiones de manhole para techos (in). (Fuente API 650. Tabla 3-13.Pág.3-36).

Nota: Se selecciona un diámetro del manhole de mutuo acuerdo entre el fabricante y el cliente, que puede ser 20 o 24 in, y se seleccionan sus correspondientes dimensiones.

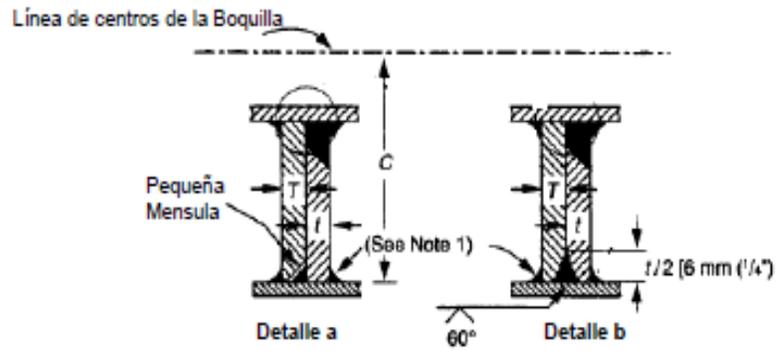
2.7.3. Boquillas y bridas para el cuerpo del tanque

Las boquillas y bridas son accesorios que sirven para conectar al tanque con otros sistemas, como las líneas de almacenamiento y despacho de combustible. Para conectar las válvulas de venteo y los sistema de drenaje, estas conexiones se unen por medios de bridas que van empernadas y tienen empaque. Todos los agujeros para pernos deben ser hechos en la línea de centros de la brida. Las boquillas y bridas se clasifican en tres grupos: tipo regular, tipo baja y tipo empernada; estas a su vez también se subdividen como se muestra en la figura 2.23. Tipos de Boquillas y Bridas.

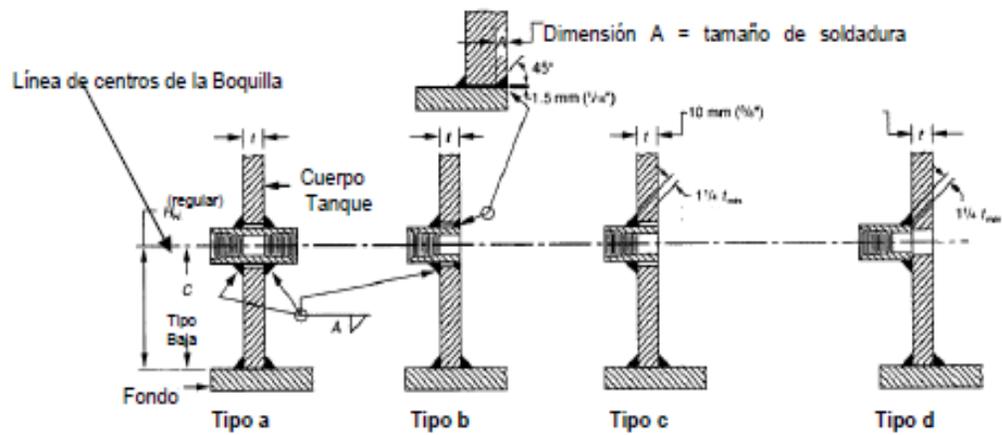
El tipo de juntas soldadas utilizadas para boquillas y bridas se muestra en la figura 2.24, las mismas que se clasifican en tres tipos: soldadura de chaflán para brida-boquilla, soldadura de chaflán para brida cúbica y soldadura de cuello para brida.



1.- BRIDA-BOQUILLA TIPO REGULAR.



2.- BRIDA-BOQUILLA TIPO BAJA



3.- BRIDA-BOQUILLA TIPO EMPERNADA O ROSCADA

Figura 2.23. Tipos de Boquillas-Bridas¹⁰.

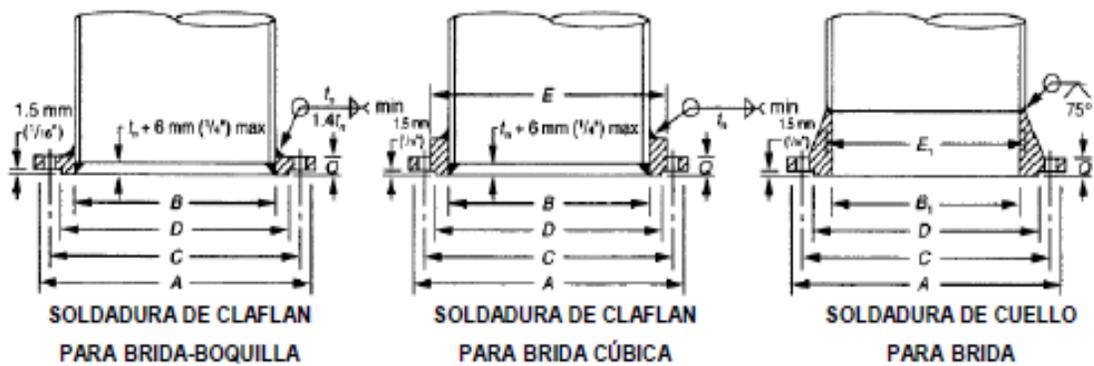


Figura 2.24. Tipos de soldadura para Bridas¹¹.

¹⁰ API STANDAR 650 Welded Steel Tanks for Oil Storage. Décima Edición, Adenda 1.Marzo 2000. Pág. 3-16 y 3-17, Figura 3-5

¹¹ API STANDAR 650 Welded Steel Tanks for Oil Storage. Décima Edición, Adenda 1.Marzo 2000. Pág. 3-24, Figura 3-7.

El procedimiento para la selección de las dimensiones empieza determinando el diámetro de la boquilla que se requiere para las diferentes necesidades, utilizando la figura 2.23. Tipo de Boquillas-Bridas, la figura 2.19. Manhole del Cuerpo y con el uso de la tabla 2.15. Dimensiones de las boquillas del cuerpo. Se utilizará seleccionarán las siguientes dimensiones:

- Diámetro exterior del tubo **DP**.
- Espesor nominal de la pared del tubo de la boquilla **tn**
- Diámetro de la placa de refuerzo **DR**
- Longitud del lado de placa refuerzo o diámetro **L=Do**
- Ancho de la placa de refuerzo **W**.
- Mínima distancia desde el cuerpo a la cara de la boquilla **J**.
- Mínima distancia del fondo del tanque al centro de la boquilla. La misma que puede ser regular **HN**, tipo baja **C** o roscada.

Seguidamente, de la tabla 2.16. Dimensiones para las boquillas del cuerpo: tubos, placas y tamaño del filete de soldadura, con el espesor del primer anillo del tanque (desde el fondo) o el espesor de la placa de refuerzo seleccionada y las figuras 2.23. Tipo de Boquillas-Bridas y 2.24. Tipo de soldadura para Bridas. Se obtendrán las dimensiones siguientes:

- Mínimo espesor del tubo de la boquilla **tn**
- Valor añadido al diámetro de boquilla para obtener máximo diámetro de la placa del cuerpo **Dp**.
- Tamaño del filete de soldadura **B**
- Tamaño de filete soldadura **A**. Para boquillas de más de 2 pulgadas de diámetro y boquillas de diámetro igual a: 2; 1 ½; 1 ¾ de pulgada.

Los datos restantes para la selección de boquillas-bridas, se obtendrán de la tabla 2.16. Dimensiones para bridas en boquillas y las figuras 2.23. Tipo de Boquillas-Bridas y 2.24. Tipo de soldadura para Bridas. Se obtendrán las dimensiones siguientes:

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7	Columna 8	Columna 9	Columna 10	Columna 11	Columna 12
Tamaño de la Boquilla	Mínimo espesor del borde Q	Diámetro exterior del borde A	Diámetro de la cara superior D	Diámetro del círculo del perno C	Número de agujeros	Diámetro de los agujeros	Diámetro de los pernos	Diámetro Taladrado		Mínimo diámetro de punto cúbico de soldadura	
								Tipo Slip Diámetro exterior del tubo B	Soldadura Tipo Neck B1	Tipo Slip E	Soldadura Tipo Neck E1
48	2 3/4	59 1/2	53 1/2	56	44	1 5/8	1 1/2	0,25	a	b	c
46	2 11/16	57 1/2	51	53 3/4	40	1 5/8	1 1/2	0,25	a	b	c
44	2 5/8	55 1/4	49	51 3/4	40	1 5/8	1 1/2	0,25	a	b	c
42	2 5/8	53	47	49 1/2	36	1 5/8	1 1/2	0,25	a	b	c
40	2 1/2	50 3/4	44 1/4	47 1/4	36	1 5/8	1 1/2	0,25	a	b	c
38	2 3/8	48 3/4	42 1/4	45 1/4	32	1 5/8	1 1/2	0,25	a	b	c
36	2 3/8	46	40 1/4	42 3/4	32	1 5/8	1 1/2	0,25	a	b	c
34	2 5/16	43 3/4	37 3/4	40 1/2	32	1 5/8	1 1/2	0,25	a	b	c
32	2 1/4	41 3/4	35 3/4	38 1/2	28	1 3/8	1 1/2	0,25	a	b	c
30	2 1/8	38 3/4	33 3/4	36	28	1 3/8	1 1/4	0,25	a	b	c
28	2 1/16	36 1/2	31 1/4	34	28	1 3/8	1 1/4	0,25	a	b	c
26	2	34 1/4	29 1/4	31 3/4	24	1 3/8	1 1/4	0,25	a	b	c
24	1 7/8	32	27 1/4	29 1/2	20	1 3/8	1 1/4	0,19	a	b	c
22	1 13/16	29 1/2	25 1/4	27 1/4	20	1 3/8	1 1/4	0,19	a	b	c
20	1 11/16	27 1/2	23	25	20	1 1/4	1 1/8	0,19	a	b	c
18	1 9/16	25	21	22 3/4	16	1 1/4	1 1/8	0,19	a	b	c
16	1 7/16	23 1/2	18 1/2	21 1/4	16	1 1/8	1	0,19	a	b	c
14	1 3/8	21	16 1/4	18 3/4	12	1 1/8	1	0,19	a	b	c
12	1 1/4	19	15	17	12	1	7/8	0,13	a	b	c
10	1 3/16	16	12 3/4	14 1/4	12	1	7/8	0,13	a	b	c
8	1 1/8	13 1/2	10 5/8	11 3/4	8	7/8	3/4	0,1	a	b	c
6	1	11	8 1/2	9 1/2	8	7/8	3/4	0,1	a	b	c
4	15/16	9	6 3/16	7 1/2	8	3/4	5/8	0,06	a	b	c
3	15/16	7 1/2	5	6	4	3/4	5/8	0,06	a	b	c
2	3/4	6	3 5/8	4 3/4	4	3/4	5/8	0,07	a	b	c
1 1/2	11/16	5	2 7/8	3 7/8	4	5/8	1/2	0,07	a	b	c

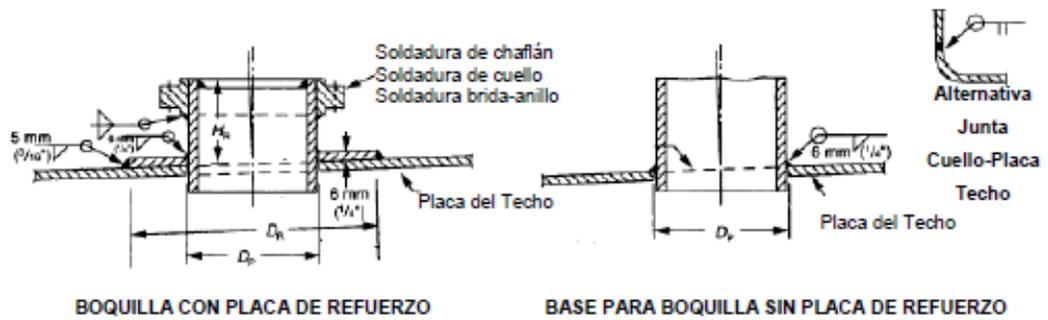
Tabla 2.18. Dimensiones para bridas en boquillas (Fuente API 650. Tabla 3-8 Pág. 3-20)

Notas para el uso de la tabla:

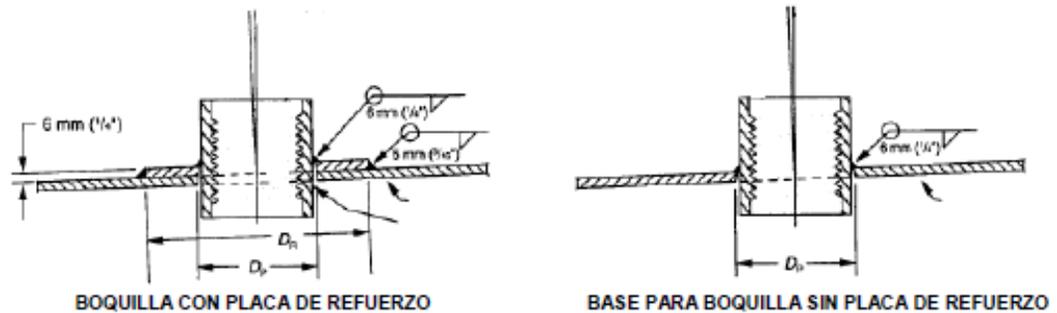
- a = diámetro interior de la tubería.
- b = diámetro exterior de la tubería + 2 tn
- c = diámetro exterior de la tubería.
- Ingresar a la tabla con el diámetro de la boquilla y seleccionar las dimensiones correspondientes.

2.7.4. Boquillas y bridas para el techo del tanque.

Las boquillas para techos se utilizan para colocar las válvulas de venteo. Las dimensiones de estas boquillas se encuentran en la figura 2.25. Las boquillas-bridas para los techos se clasifican en: regulares y roscadas (empernadas). Con el diámetro de la boquilla que se requiere y con el uso de la tabla 2.19, se procede a la selección de las dimensiones.



1.- BRIDA-BOQUILLA TIPO REGULAR PARA TECHO



2.- BRIDA-BOQUILLA TIPO REGULAR PARA TECHO

Figura 2.25. Tipos de Boquillas-Bridas para Techo¹².

BOQUILLAS DE TECHO					BOQUILLAS ROSCADAS DEL TECHO			
COLUMNA 1	COLUMNA 2	COLUMNA 3	COLUMNA 4	COLUMNA 5	COLUMNA 6	COLUMNA 7	COLUMNA 8	COLUMNA 9
Diametro de Boquilla	Diámetro Exterior del Cuello	Diámetro del agujero en la placa de refuerzo del techo D_p	Mínima Altura de Boquilla H_R	Diametro exterior de la placa de refuerzo D_R	Boquilla NPS	Acoplado	Diámetro del agujero en la placa de refuerzo del techo D_p	Diametro exterior de la placa de refuerzo D_R
1 1/2	2	6	5	1 1/2	3/4	1 7/16	4	3/4
2	2 1/2	6	7	2	1	1 23/32	4 1/2	1
3	3 5/8	6	9	3	1 1/2	2 11/32	5	1 1/2
4	4 5/8	6	11	4	2	3	7	2
6	6 3/4	6	15	6	3	4 1/8	9	3
8	8 7/8	6	18	8	4	5 11/32	11	4
10	11	8	22	10	6	7 17/32	15	6
12	13	8	24	12	8	9 7/8	18	8

Tabla 2.19. Dimensiones para boquillas-bridas en techo (Fuente API 650 Pág. 3-36).

¹² API STANDAR 650 Welded Steel Tanks for Oil Storage. Décima Edición, Adenda 1.Marzo 2000. Pág. 3-39; 3-41, Figura 3-16, 3-17.

Notas para el uso de la tabla:

- Ingresar con el diámetro de la boquilla, seleccionar las dimensiones correspondientes.

2.7.5. Acceso de limpieza tipo lápida o caja o compuerta de Sedimentos (puerta de limpieza de nivel).

Los accesos de limpieza son accesorios que se utilizan para el ingreso de los equipos de mantenimiento y para la limpieza de sedimentos. La abertura en el cuerpo del tanque es de forma rectangular en la base, mientras que en las esquinas superiores debe tener un radio igual a un medio de la altura correspondiente a la abertura, comúnmente llamadas lápidas. Cuando el cuerpo del tanque está construido con materiales del grupo I, II, III o IIIA, el ancho o el alto de la abertura no deben exceder 1200 mm (48 in); cuando el cuerpo del tanque está construido con materiales del grupo IV, IVA, V o VI, la altura no debe exceder de 900 mm (36 in).

El área perteneciente al primer anillo del cuerpo del tanque en donde va instalado el acceso de limpieza es extraída o remplazada por una plancha de mayor espesor para ensamblarse con la placa de refuerzo y los otros elementos del acceso de limpieza independientemente, para luego volverse a unir al cuerpo del tanque, después de aliviar los esfuerzos térmicos tal como se describe en la estándar API 650 3.7.4.1.

El espesor del área extraída, así como el espesor de la placa de refuerzo y el cuello del acceso de limpieza pueden ser iguales o mayores al espesor del primer anillo del cuerpo del tanque tal como se muestra en la figura 2.26.

El área transversal del refuerzo encima de la abertura se calcula con la siguiente fórmula:

$$A_{CS} \geq \frac{K_1 * h * t}{2} \quad (2.20)$$

Donde:

- A_{CS} = Área transversal del refuerzo encima de la abertura (in^2).
- K_1 = Coeficiente del área.
- h = Altura de la abertura.
- t = Espesor de la plancha del primer anillo.

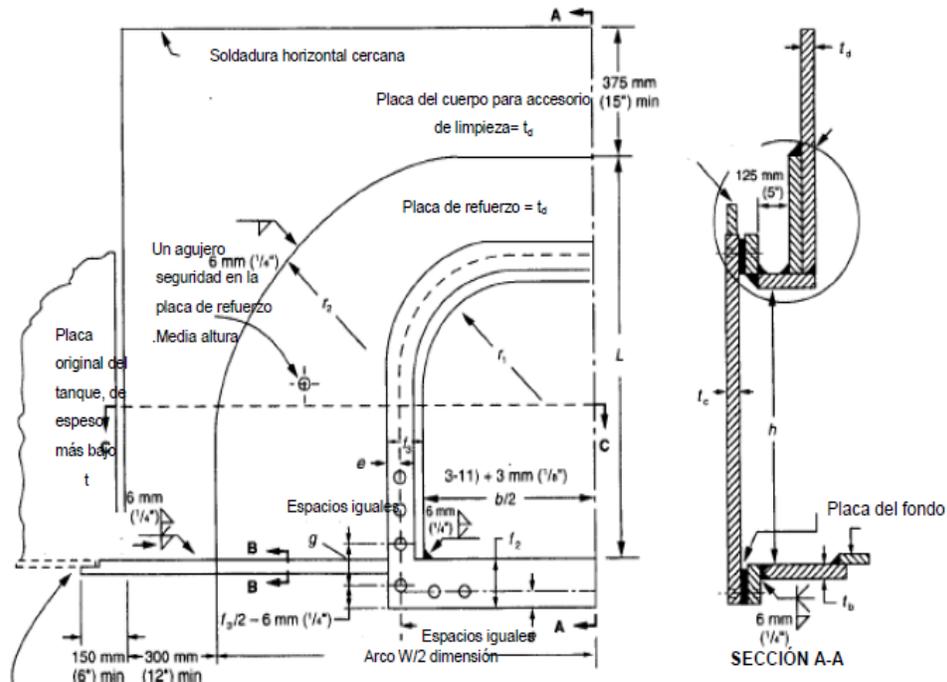


Figura 2.26. Accesorio de limpieza a nivel (lápida)¹³.

Para el cálculo del coeficiente de área K , se utilizará el resultado obtenido de la ecuación 2.16, el mismo que se ubicará en el eje de las abscisas de la figura 2.27. Este valor se intersectará con la curva de la figura y se obtendrá en el eje de las ordenadas el valor de K_1 correspondiente.

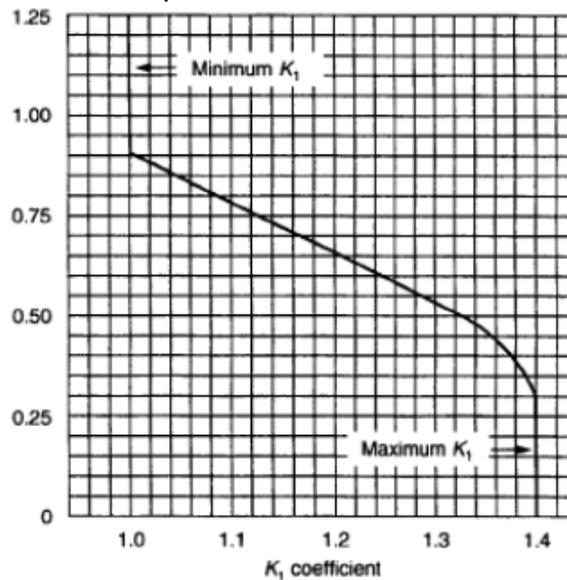


Figura 2.27. Coeficiente de área determinado por el mínimo reforzamiento de accesorio de limpieza.

¹³ API STANDARD 650 Welded Steel Tanks for Oil Storage. Décima Edición, Adenda 1.Marzo 2000. Pág. 3-27.Figura 3-9.

El mínimo ancho de la placa de refuerzo del fondo del tanque, que se ubica en el centro de la abertura, debe ser 250 mm (10 in) más la combinación de los espesores del primer anillo y la placa de refuerzo en el acceso de limpieza.

El mínimo espesor de la placa de refuerzo en el fondo del tanque debe ser determinado con la siguiente ecuación:

$$t_b = \frac{h^2}{14000} + \frac{b}{310} \sqrt{HG} \quad (2.21)$$

Donde:

- t_b = Mínimo espesor de la placa de refuerzo en el fondo del tanque (in).
- h = Altura de la abertura (in).
- b = Ancho de la abertura (in).
- H = Máximo nivel del líquido (ft).
- G = Gravedad específica no menor a 1.

El procedimiento para la selección de las dimensiones empieza determinando el ancho y el alto del acceso de limpieza que se requieren para las diferentes necesidades con el uso de la tabla 2.20. Otro dato de entrada es la altura máxima del nivel del líquido. Con estos datos y el uso de las tablas 2.21 y 2.22, se procede a la selección.

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7	Columna 8	Columna 9	Columna 10	Columna 11
Altura de abertura h	Ancho de la abertura b	Arco del ancho del cuerpo reforzamiento de la placa W	Radio superior de abertura r1	Radio superior de la placa de reforzamiento del cuerpo r2	Distancia de los pernos e	Ancho de la brida (excepto el fondo) f3	Ancho del fondo de la brida f2	Espaciamiento de pernos especiales g	Número de pernos	Diámetro de los pernos
8	16	46	4	14	1 1/4	4	3 1/2	3 1/4	22	3/4
24	24	72	12	29	1 1/2	4	3 3/4	3 1/2	36	3/4
36	48	106	18	41	1 1/2	4 1/2	4 3/4	4 1/4	46	1
48	48	125	24	51 1/2	1 1/2	4 1/2	5	4 1/2	52	1

Tabla 2.20. Dimensiones para el acceso de limpieza (Fuente API 650. Tabla 3.9 Pág. 3-21).

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7	Columna 8	Columna 9	Columna 10
Máxima Altura del Tanque H (ft)	Presión Equivalente (PSI)	TAMANO DE ABERTURA HXB (ALTURA X ANCHO)							
		8x16		24x24		36x48		48x48	
		Minimo espesor de pernos y placa de cubierta tc	Minimo espesor de la placa de refuerzo tb						
		20	8,7	3/8	1/2	3/8	1/2	5/8	13/16
34	14,7	3/8	1/2	1/2	1/2	3/4	1	13/16	1 1/8
41	17,8	3/8	1/2	1/2	9/16	7/8	1 1/8	7/8	1 3/16
53	23,0	3/8	1/2	9/16	5/8	15/16	1 1/4	1	1 5/16
60	26,0	7/16	1/2	5/8	11/16	1	1 5/16	1 1/8	1 3/8
64	27,8	7/16	1/2	5/8	11/16	1 1/16	1 3/8	1 1/8	1 7/16
72	31,2	7/16	1/2	11/16	1 1/8	1 1/8	1 7/16	1 3/16	1 1/2

Tabla 2.21. Espesores de la placa de cubierta, pernos y reforzamiento del fondo para el acceso de limpieza. (Fuente API 650. Tabla 3-12. Pág. 3-29).

NOTAS:

- Para abertura 8x16, t_b máximo = 1 pulgada.
- Para abertura 24x24, t_b máximo = 1 1/8 pulgada.
- Para abertura 36x48, t_b máximo = 1 1/2 pulgada.
- Para abertura 48x48, t_b máximo = 1 3/4 pulgada.

Espesor más bajo del anillo del cuerpo	Máxima nivel de Liquido de diseño	Altura de la placa de refuerzo del tanque para tamaños de abertura hxb (ancho x largo) (in).			
		8x16	24x24	36x48	48x48
Todos	<72	14	36	54	72

Tabla 2.22. Espesores y alturas de placas de refuerzo del cuerpo para accesorios de limpieza. (Fuente API 650. Tabla 3-11. Pág. 3-26).

2.7.6. Sumidero para extracción de agua o tina de lodos

Es el sumidero para la extracción de agua o cualquier sustancia líquida que no pueda ser desalojada por la puerta de limpieza a nivel. Este debe estar conforme a la figura 2.28. y la tabla 2.23, a menos que el comprador especifique lo contrario.

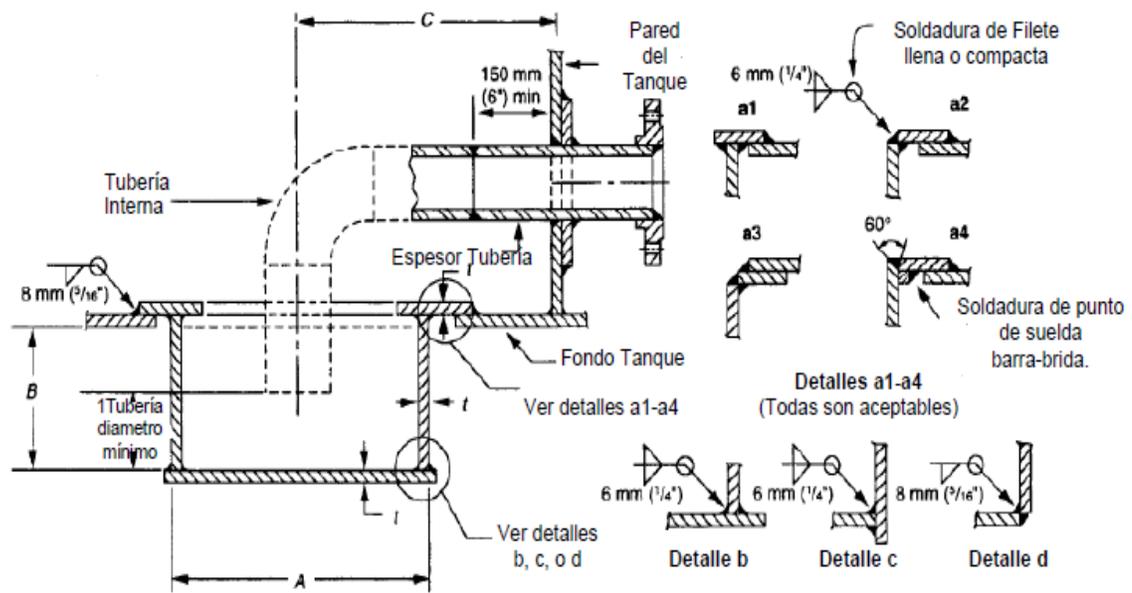


Figura 2.28. Sumidero para extracción de agua o tina de lodos¹⁴.

Tamaño nominal del tubo (in)	Diametro del sumidero (in) A	Profundidad del sumidero (in) B	Distancia desde el centro al cuerpo (ft) C	Espesor de la placa en el sumidero (in) t	Mínimo espesor el tubo (in)	Mínimo espesor del cuello de la boquilla (in)
2	24	12	3 1/2	5/16	0.218	0.218
3	36	18	5	3/8	0.25	0.300
4	48	24	6 3/4	3/8	0.25	0.337
6	60	36	8 1/2	7/16	0.25	0.432

Tabla 2.23. Diámetro del sumidero.

2.7.7. Escaleras – pasamanos

Como requerimientos generales para la selección de las dimensiones de huella (ancho de grada), contrahuella (altura de separación entre gradas) y ángulo de elevación en escaleras y pasamanos, se tienen:

- La estructura de las escaleras circulares debe estar completamente soportada en el cuerpo del tanque y todas las partes deben ser de metal, generalmente de acero estructural A36.
- La mínima longitud de los escalones es de 610 mm (24 in)
- El mínimo ancho del escalón o huella (r) es 200 mm (8 in)

¹⁴ API STANDAR 650 Welded Steel Tanks for Oil Storage. Décima Edición, Adenda 1.Marzo 2000. Pág. 3-18.Figura 3-42.

- La elevación entre cada escalón o contrahuella (R) no debe ser menor a 200 mm (8 in) ni mayor a 250 mm (10 in), con una huella de 200 mm (8in)
- La huella debe ser tipo reja o de material no deslizante
- El ángulo máximo de elevación entre la horizontal y las escaleras es de 50°
- La altura de la baranda del pasamano debe estar entre 760 a 860 mm (30 a 34 in)
- La distancia máxima entre los soportes de la baranda medido sobre la inclinación de ésta es de 2400 mm (96 in) y generalmente se ubican saltando dos escalones
- La estructura completa debe ser capaz de soportar una carga concentrada en movimiento de 4450 N (1000 lb.)
- El pasamanos tiene que soportar una carga de 890 N (200 Lb.) aplicada en una dirección y en un punto sobre el perfil superior.

2R +r = 610 mm (24 in.)				2R +r = 660 mm (26 in.)		
Altura de Separación R (in)	Ancho de Grada. r(in)	Ángulo		Ancho de Grada. r(in)	Ángulo	
		Grados	Minutos		Grados	Minutos
5 1/4	13 1/2	21	39	-	-	-
5 1/2	13	22	59	15	20	13
5 3/4	12 1/2	24	23	14 1/2	21	24
6	12	25	49	14	22	37
6 1/4	11 1/2	27	19	13 1/2	23	53
6 1/2	11	30	31	13	26	34
6 3/4	10 1/2	32	12	12 1/2	27	59
7	10	35	45	12	30	58
7 1/4	9 1/2	37	38	11 1/2	32	32
7 1/2	9	39	34	11	34	10
7 3/4	8 1/2	41	33	10 1/2	35	50
8	8	45	42	10	39	21
8 1/4	7 1/2	47	52	9 1/2	41	11
8 1/2	-	-	-	9	43	4
8 3/4	-	-	-	8 1/2	45	0
9	-	-	-	8	46	58

Tabla 2.24. Relación entre la huella, contrahuella, y ángulo de elevación.

En la parte superior del tanque, en donde las láminas del techo de unen con el ángulo tope debe haber una baranda, a una altura de 1070 mm (42 in), los soportes de la baranda deben separarse una distancia máxima de 2400 mm (96 in), esta estructura debe ser capaz de soportar una carga de 890 N (200 Lb.) aplicada en una dirección y en un punto sobre el perfil superior. En la tabla 2.24, se encuentra una relación entre la huella, contrahuella, y ángulo de elevación.

CAPITULO III

3. ESTRUCTURACIÓN Y CONTENIDO DEL SOFTWARE.

El mundo de la alta tecnología nunca hubiera existido de no ser por el desarrollo del ordenador o computador. La gran mayoría de las industrias utilizan estas máquinas, de distintos tipos y tamaños, para el almacenamiento y manipulación de información. Los equipos informáticos han abierto una nueva era en la industria, gracias a las técnicas de automatización y han permitido mejorar los sistemas modernos de comunicación. Son herramientas esenciales prácticamente en todos los campos de investigación y en tecnología aplicada.

Un programa es una secuencia de instrucciones que indican al hardware de un ordenador, qué operaciones debe realizar con los datos de entrada. Un ordenador universal, o de uso general, contiene algunos programas incorporados (ROM), pero depende de programas externos para ejecutar tareas útiles. Una vez programado, podrá hacer tanto como lo permita el software que lo controla.

En el presente proyecto, se desarrolló un software, el cual realiza una simulación del proceso de diseño de tanques de almacenamiento de crudo de techo cónico, de acuerdo a la norma API 650, fácil de utilizar y con una interfaz amigable que ayuda interactuar entre el usuario y el aplicativo. El software en su primera versión, ha sido llamado: PULPO.

3.1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO COMPUTACIONAL

Diseño computacional, es un término que se aplica a la estructuración de un sistema informático o de una parte del mismo; el término se aplica también al diseño de software.

Para el diseño computacional del presente proyecto fueron tenidos en cuenta los siguientes aspectos:

- Definición del problema.
- Parámetros y restricciones del problema.
- Herramientas Físicas-Matemáticas.
- Herramientas de Programación.
- Estudio del mercado.

3.1.1. Definición del problema.

La conceptualización del problema, es el tópico de mayor interés para el desarrollo de un paquete de programación. Antes de realizar cualquier apreciación, debe tenerse, como mínimo, un conocimiento o estudio del problema, para poder determinar la complejidad y la estructura del mismo.

Este programa está destinado a realizar el diseño mecánico de tanques atmosféricos para almacenamiento de crudo, de techo cónico, previo a la obra civil de construcción, obteniendo datos confiables y rápidos.

3.1.2. Parámetros y restricciones del problema.

Los parámetros y restricciones están dados de acuerdo a los conceptos de los Capítulos Generalidades y Diseño, basados en la norma API 650. Se recomienda al lector revisar previamente estos tópicos para el desarrollo del diseño computacional.

El programa estará restringido para tanques que tengan un diámetro máximo de 200 pies.

3.1.3. Herramientas físicas-matemáticas. (ingeniería).

Se indicó en el punto anterior, que la teoría de diseño de tanques está restringida por el API 650, además debe tenerse un conocimiento básico en las áreas de programación de computadores y producción de hidrocarburos.

Además, el usuario debe tener conocimiento de las características de los materiales a ser utilizados, los esfuerzos a los que estarán sometidos los tanques, las propiedades del fluido que será almacenado, así como también, una preparación en las áreas de geometría y física mecánica.

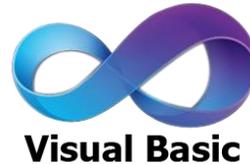
3.1.4. Herramientas de programación.

Los lenguajes de programación permiten comunicarse con los ordenadores o computadoras. Una vez identificada una tarea, el programador debe traducirla o codificarla a una lista de instrucciones que la computadora pueda interpretar. Un programa informático para determinada tarea, puede escribirse en varios lenguajes y según la función que desee realizar, el programador puede optar por el lenguaje que implique el proceso menos complicado (más eficiente).

También es importante que el programador elija el lenguaje más flexible y más ampliamente compatible, con el fin de que el software pueda ser implementado en distintas plataformas.

El presente proyecto utiliza como base del diseño computacional, el lenguaje **Visual Basic 6.0**. El mismo es una poderosa herramienta rápida, flexible y sencilla para crear programas o software de Windows.

3.1.4.1. Visual Basic 6.0.



El lenguaje de programación Visual Basic 6.0, ha sido catalogado como uno de los fáciles de aprender, debido a que no necesita conocimientos muy profundos de programación para poder utilizarlo, Es por eso que este lenguaje ha sido destinado tanto a expertos como a principiantes. La aplicación terminada (software de diseño), es un auténtico archivo .exe que utiliza una máquina virtual de Visual Basic que puede utilizarse en cualquier computador que tenga como sistema operativo alguna versión de Windows.

Entre las principales ventajas de este programa tenemos las siguientes:

- Permite programar un microcontrolador de forma BASIC, es decir que contiene centenares de instrucciones, funciones y palabras clave, muchas de las cuales están directamente relacionadas con la interfaz gráfica de Windows. La eficacia del lenguaje permite plantear y lograr cualquier objetivo que pudiera alcanzarse con cualquier otro lenguaje de programación de Windows.
- Visual Basic es un lenguaje simple y por tanto fácil de aprender.
- Su mayor facilidad radica en el dibujado de formularios, mediante el arrastre de controles.
- La sintaxis es cercana al lenguaje humano.
- Es un lenguaje, centrado en conseguir en el menor tiempo posible los resultados deseados, por eso su uso común en proyectos de ingeniería o de otra índole.
- Gran parte del trabajo en el diseño de formularios está realizado, gracias a la gran gama de controles incorporados junto al lenguaje que ahorran costes de tiempo de desarrollo.
- Permite crear controles personalizados fácilmente del mismo modo que el diseño de formularios.
- Permite crear barras de menús desplegables.
- Buscar archivos de texto o gráficos en una determinada ubicación y presentarlos a través de ventanas.
- Representar movimientos de figuras u objetos.

- Permite crear una interfaz gráfica y de usuario, que son las ventanas que aparecen en la pantalla del ordenador, en el formato visual que utiliza el Windows, usando botones barras de desplazamiento, menús desplegables, etc. y con el cual la mayoría de usuarios de ordenadores están familiarizados.

3.1.4.2. Microsoft Excel.



Microsoft Excel, es un programa de hoja de cálculo, escrito y distribuido por Microsoft para ordenadores, usando como sistema operativo Microsoft Windows.

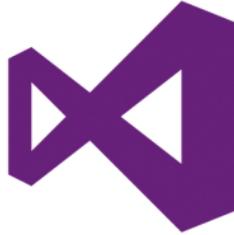
Actualmente, es la hoja de cálculo más utilizada para estas plataformas y lo ha sido desde su versión 5 (lanzada en 1993) formando parte del paquete ofimático Microsoft Office.

Una de sus principales ventajas es que puede hacer casi cualquier calculo por medio de fórmulas, su utilización es muy amplia pudiendo utilizarla también como una pequeña base de datos, su principal desventaja es su nulo soporte al SQL (Lenguaje estructurado de consultas).Una utilización más usada es como una plantilla de presentación de datos, en este programa lo utilizamos por ser de fácil implementación y gran conectividad.

Principales características

- Funciones lógicas: funciones que permiten preguntar sobre el valor de otras y actuar según la respuesta obtenida.
- Funciones estadísticas: permiten realizar cálculos estadísticos como desviación estándar y funciones de probabilidades.
- Funciones matemáticas: funciones tales como promedio, coseno, seno, mínimo, máximo, etc.
- Funciones financieras: permiten el cálculo de intereses.
- Funciones de fecha y hora: manejo de diferencia de hora y tiempo, como días, meses y años.

3.1.4.3. Microsoft visual studio



- **Versión:** ultimate 2012
- **Descripción:** Visual Studio es un conjunto de herramientas de desarrollo basadas en componentes y otras tecnologías para compilar aplicaciones eficaces de alto rendimiento. Con este paquete se garantiza la calidad de los resultados, desde el diseño hasta la implementación. Tanto si se crean soluciones nuevas como si se quieren mejorar aplicaciones ya existentes.
 - ✓ Visual Studio 2012 Ultimate le permite hacer realidad una idea gracias a que admite un número cada vez mayor de plataformas y tecnologías (incluidos los sistemas informáticos en cloud y en paralelo).
 - ✓ Soporta varios lenguajes de programación tales como Visual C++, Visual C#, Visual J#, y Visual Basic .NET, al igual que entornos de desarrollo web como ASP.NET. aunque actualmente se han desarrollado las extensiones necesarias para muchos otros.
 - ✓ Visual Studio permite a los desarrolladores crear aplicaciones, sitios y aplicaciones web, así como servicios web en cualquier entorno que soporte la plataforma .NET (a partir de la versión .NET 2002). Así se pueden crear aplicaciones que se intercomunican entre estaciones de trabajo, páginas web y dispositivos móviles.
- **Por qué utilizarlo:**
 - ✓ Microsoft Visual Studio 2012 Ultimate incluye potentes herramientas que simplifican todo el proceso de desarrollo de aplicaciones, de principio a fin.
 - ✓ Los equipos pueden experimentar una mayor productividad y ahorro de recursos al utilizar características de colaboración avanzadas, así como herramientas de pruebas y depuración integradas que le ayudarán a crear siempre un código de gran calidad.
 - ✓ La facilidad del lenguaje permite crear aplicaciones para Windows en muy poco tiempo. En otras palabras, permite un desarrollo eficaz y menor inversión tanto en tiempo como en dinero.

3.1.4.4. Net framework



- **Versión:** 4.5
- **Descripción:** .NET Framework es una plataforma de software desarrollada por Microsoft.
 - ✓ Incluye una gran biblioteca y proporciona interoperabilidad (habilidad de dos o más sistemas o componentes para intercambiar información y utilizar la información intercambiada entre lenguajes, cada idioma puede utilizar el código escrito en otros idiomas) a través de varios lenguajes de programación.
 - ✓ Es un componente integral de Windows que admite la compilación y la ejecución de la siguiente generación de aplicaciones y servicios Web XML.
- **Por qué utilizarlo:**
 - ✓ Su objetivo es crear un marco de desarrollo de software sencillo, reduciendo las vulnerabilidades y aumentando la seguridad de los programas desarrollados.
 - ✓ Provee un extenso conjunto de soluciones predefinidas para necesidades generales de la programación de aplicaciones, incluye soluciones en áreas como: la interfaz de usuario, acceso a datos, conectividad a bases de datos, criptografía, desarrollo de aplicaciones web, algoritmos numéricos y comunicación de redes.
 - ✓ Administra la ejecución de los programas escritos específicamente con la plataforma.

3.1.4.5. Crystal report



- **Versión:** 2010
- **Descripción:** Es una herramienta que viene incluida dentro del paquete de Visual Studio 2010 que sirve principalmente para generar reportes en distintos formatos de texto como son: pdf, docx, xls, etc. Además viene con herramientas adicionales para organizar de forma personalizada los tipos de reportes que se quieran hacer además de contar con gráficos estadísticos que ayudan a tener una información más exacta de los datos que se vayan a manejar.
- **Por qué utilizarlo:**
 - ✓ Da un buen manejo de la información.
 - ✓ Es una herramienta fácil de usar para la visualización de informes y reportes de una base de datos, porque facilita la creación y distribución de estos.
 - ✓ Se integra fácilmente con Visual.

3.1.5. Estudio del mercado

El software fue desarrollado con base en una problemática muy bien definida, como lo es el ahorro de recursos. El diseño mecánico de tanques de techo cónico es un procedimiento largo y tedioso (considerando que la teoría de diseño ya es conocida), generalmente son necesarios un promedio de cuatro a cinco días para terminar un diseño general.

Este software le ayudará al usuario, a reducir el tiempo de desarrollo significativamente y a automatizar e innovar en sus diseños dado que el programa permite diseñar una y otra vez nuevos proyectos, con datos diferentes, para encontrar la mejor solución, que se ajuste al presupuesto, con un aprovechamiento óptimo de los recursos disponibles.

En la actualidad, el mercado laboral necesita de herramientas más útiles y fáciles de usar, que se acoplen muy bien con los equipos computacionales disponibles y que puedan ser utilizados por casi cualquier usuario dentro de la empresa y/o universidad de forma rápida y eficiente.

El mercado industrial petrolero, es uno de los clientes con mayor potencial para la aplicación de estos proyectos, además de pequeñas empresas que se dedican a la contratación de obras, las cuales también pueden llegar a necesitar estas herramientas de diseño.

3.2. REQUERIMIENTOS DE HARDWARE

Los requerimientos mínimos para el buen funcionamiento del Software incluyen una configuración básica del pc de los usuarios con las siguientes opciones:

- Sistema operativo Windows XP/7 o posterior.
- Tipo de sistema: 32 Bits
- Microsoft .NET Framework 4.5 Client Profile.
- Procesador mínimo AMD E-450.
- Disco duro 320 GB.
- Aplicaciones para visualización de documentos: ACROBAT READER, CRYSTAL REPORTS.

3.3. ESTRUCTURA GENERAL DEL PROGRAMA.

El presente subcapítulo explica de manera detallada la forma como debe ser utilizado este programa. El programa está conformado por varias ventanas o pestañas, la primera de las cuales es la ventana principal que permite iniciar una nueva simulación.

La figura 3.1, muestra cómo se verá inicialmente para comenzar una nueva simulación, haciendo clic en el botón: nuevo, que está encerrado por un círculo rojo.

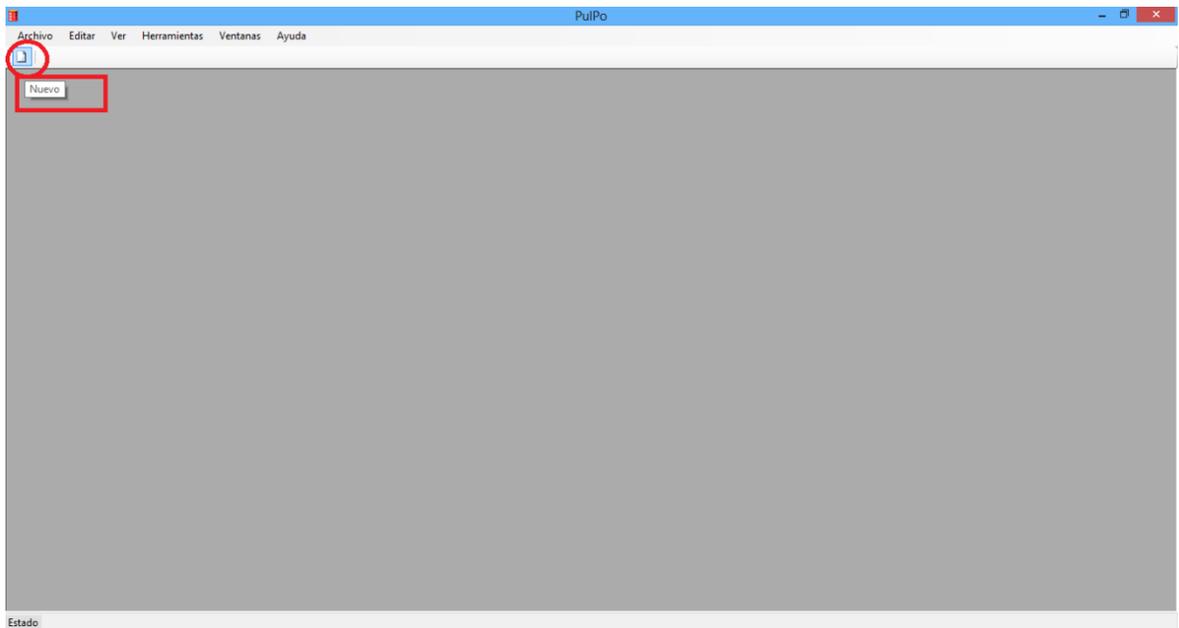


Figura 3.1. Ventana principal PULPO

La nueva ventana se divide en 5 partes principales (ver Figura3.2). Datos de entrada, grupos y materiales, anillos, fondo y techo, por último los accesorios.

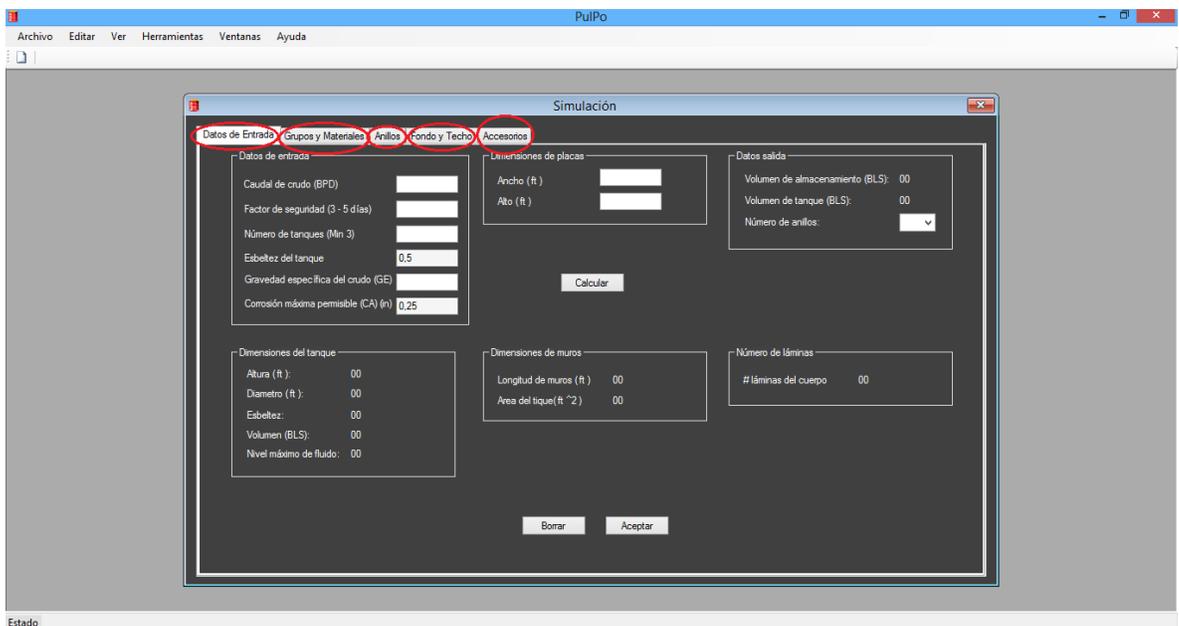


Figura 3.2. Ventana simulador Pulpo

En la casilla de datos de entrada, se ingresan los datos principales que se requieren para iniciar la simulación del tanque. La Figura 3.3. muestra un ejemplo.

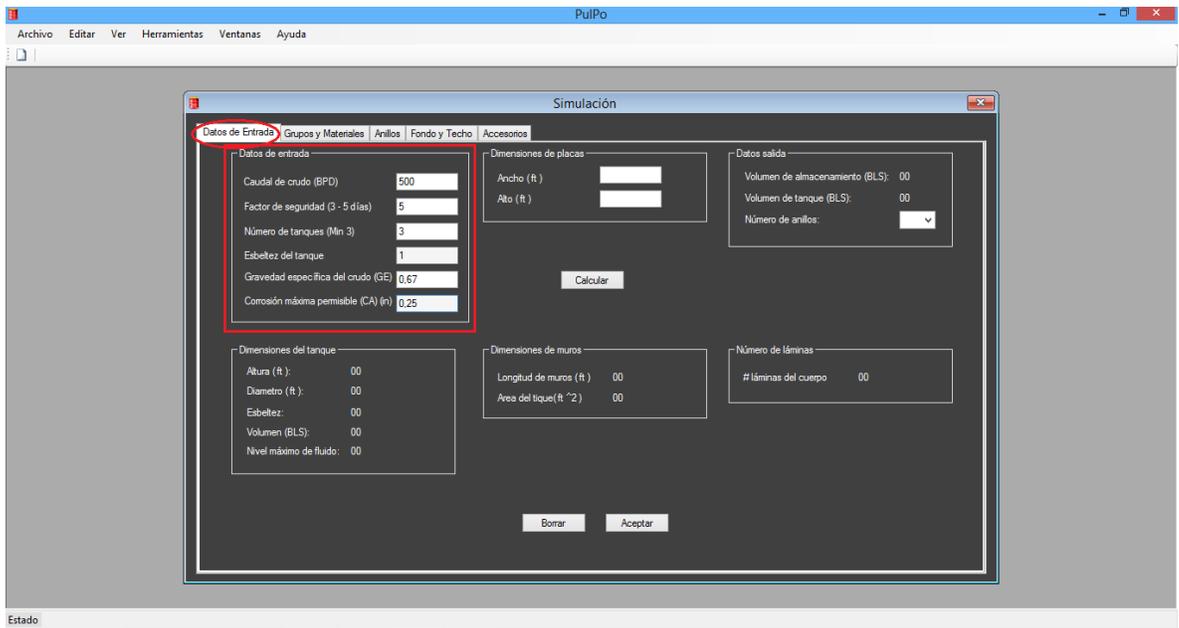


Figura 3.3. Ingreso datos de entrada

Luego se ingresan las dimensiones de las placas, que suelen ser tamaños estándar, pero el software permite que el usuario ingrese cualquier valor. (Ver Figura 3.4).

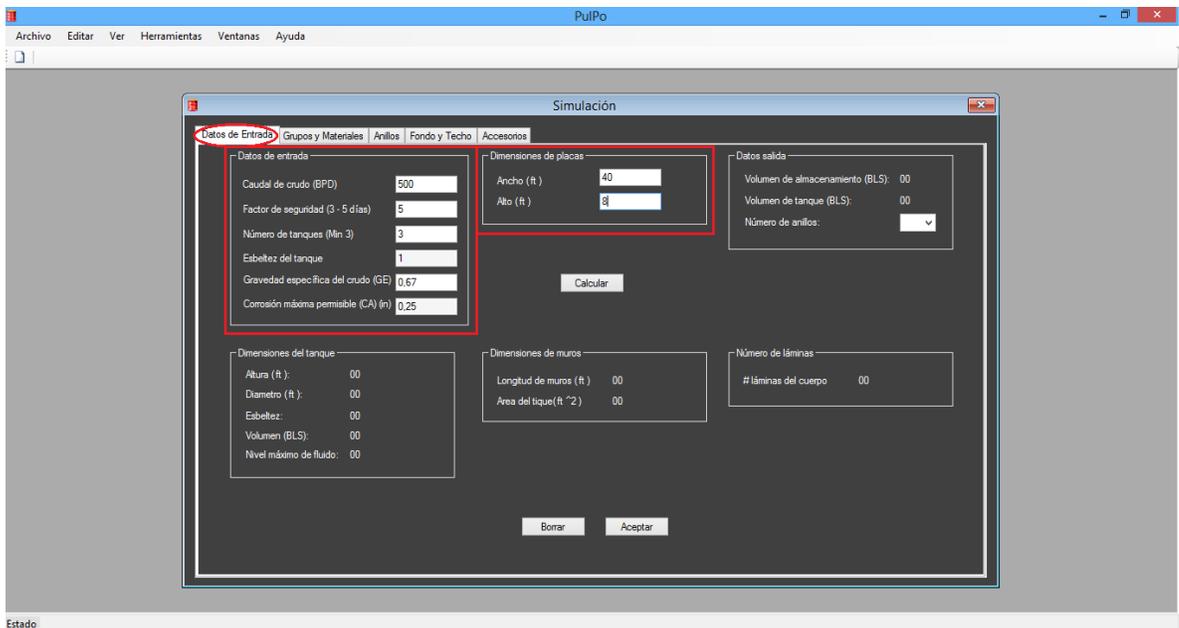


Figura 3.4. Dimensiones de la placa

Teniendo estos datos principales se hace clic en el botón calcular para que se generen los primeros cálculos del tanque, como lo son los volúmenes de

almacenamiento del tanque y numero de anillos permitidos en el tanque. (Figuras 3.5.- 3.6.)

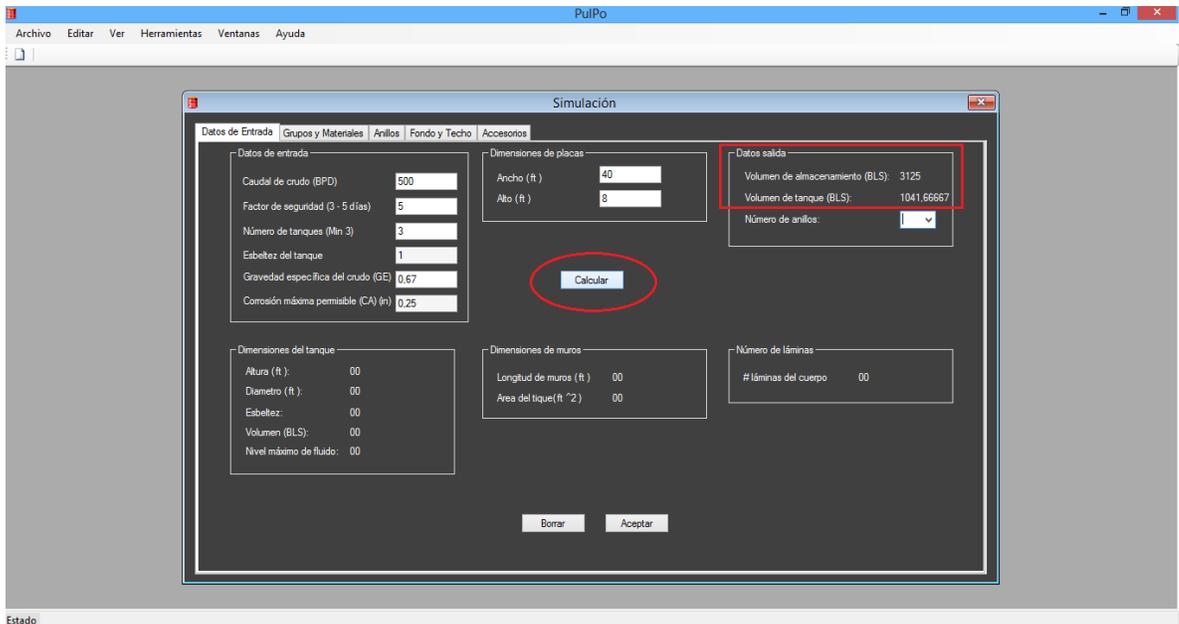


Figura 3.5. Datos salida volúmenes.

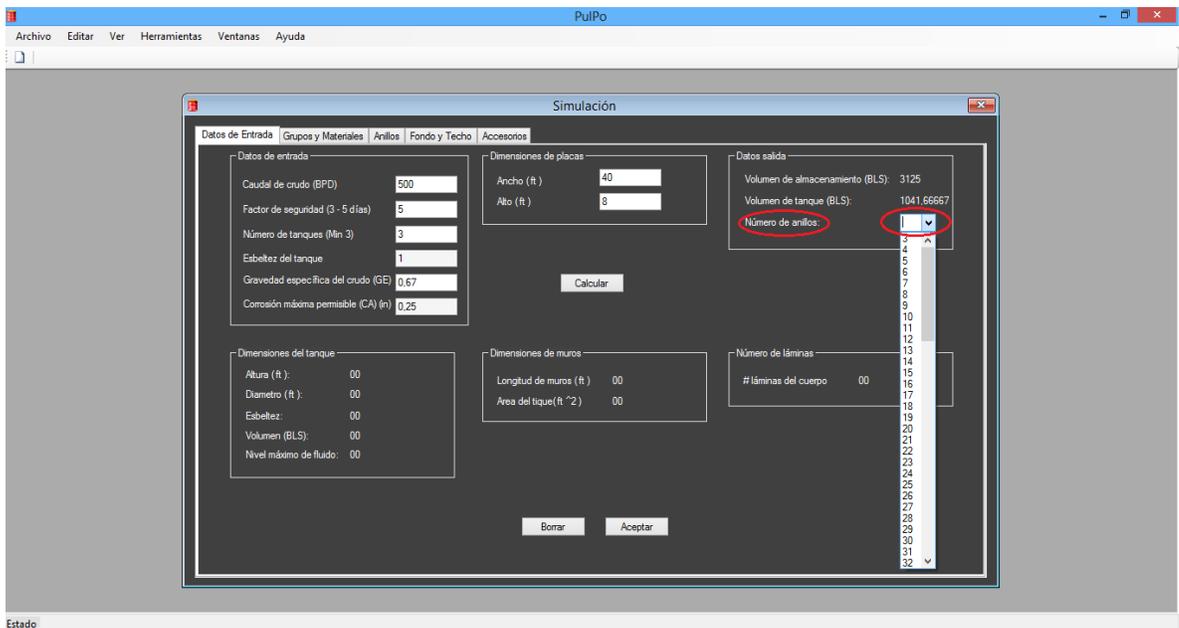


Figura 3.6. Numero de anillos.

Se selecciona la cantidad de anillos con la cual se diseñara el tanque, que para el ejemplo es el menor número que arroja. Los datos faltantes de esta pestaña

principal de datos de entrada, se generarán automáticamente al seleccionar el número de anillos, como se observa en la Figura 3.7.

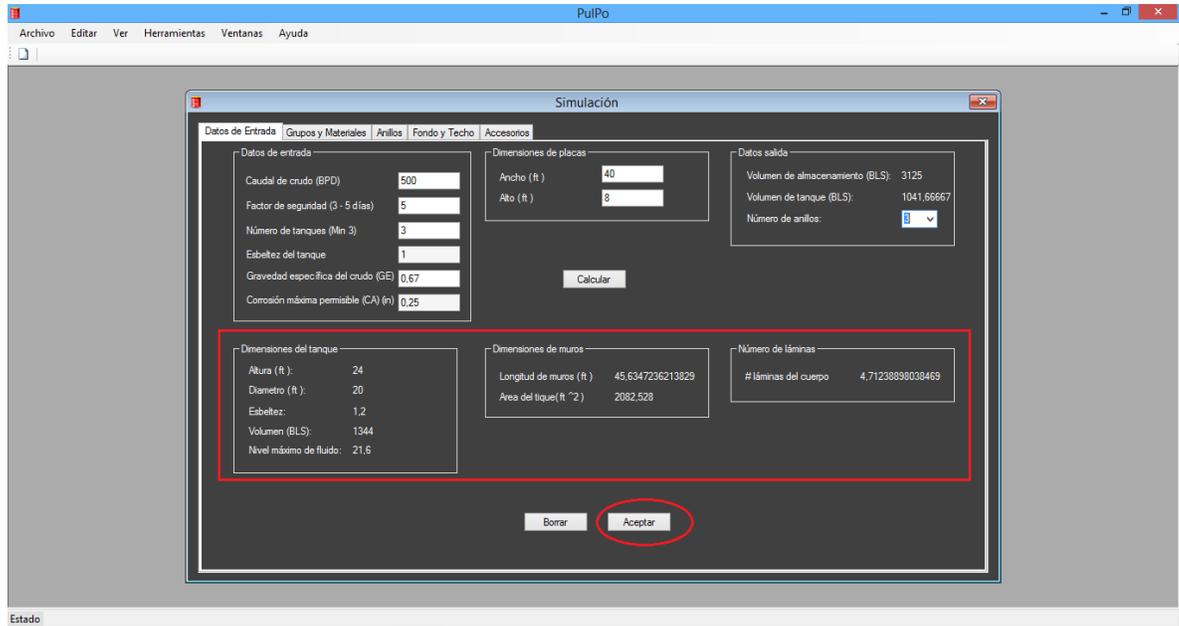


Figura 3.7. Datos de Salida pestaña 1.

Haciendo click en “Aceptar”, se pasa a la segunda pestaña de selección de grupos y materiales del tanque. En ella se elige al grupo al que pertenece el material y el tipo de material de acuerdo a la corrosión permisible y la temperatura del lugar donde se instalara el tanque. (Figura 3.8).

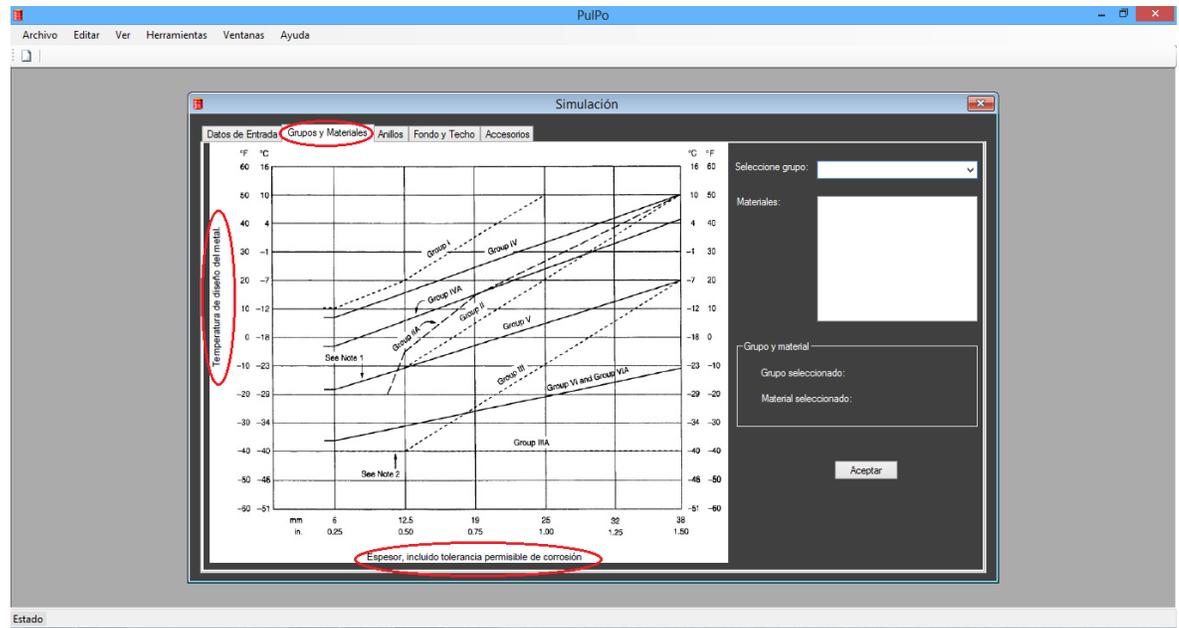


Figura 3.8. Grupos y Materiales.
Después de definir el grupo se procede a seleccionar el tipo de material a utilizar en el tanque, como se puede ver en la figuras 3.9. y 3.10.

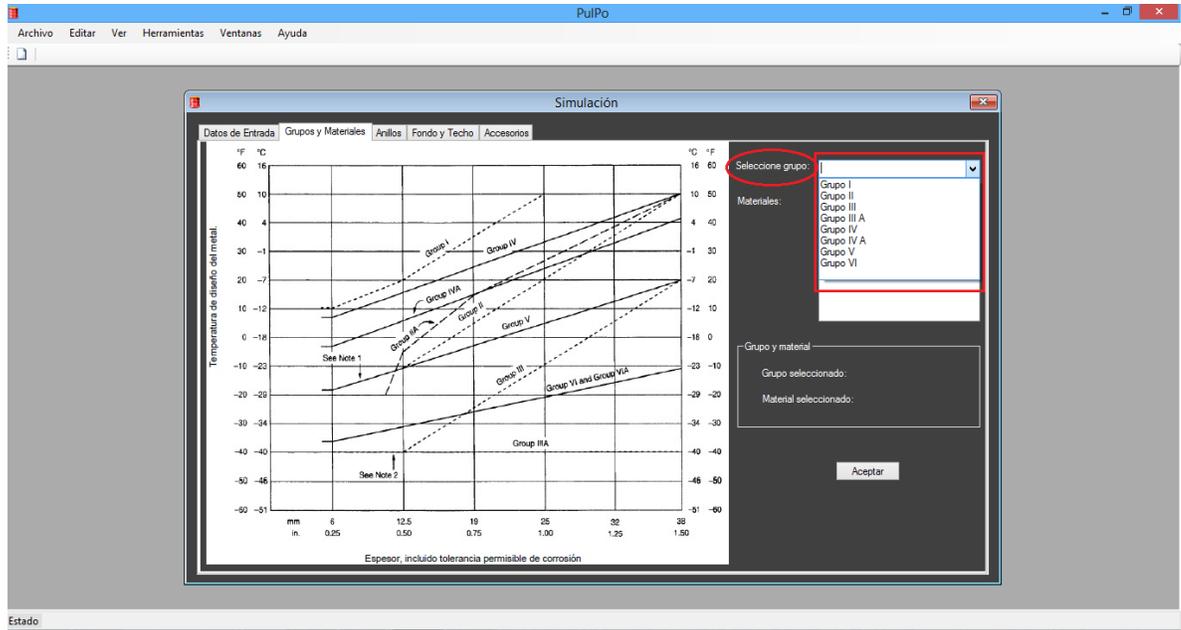


Figura 3.9. Selección de grupo de materiales.

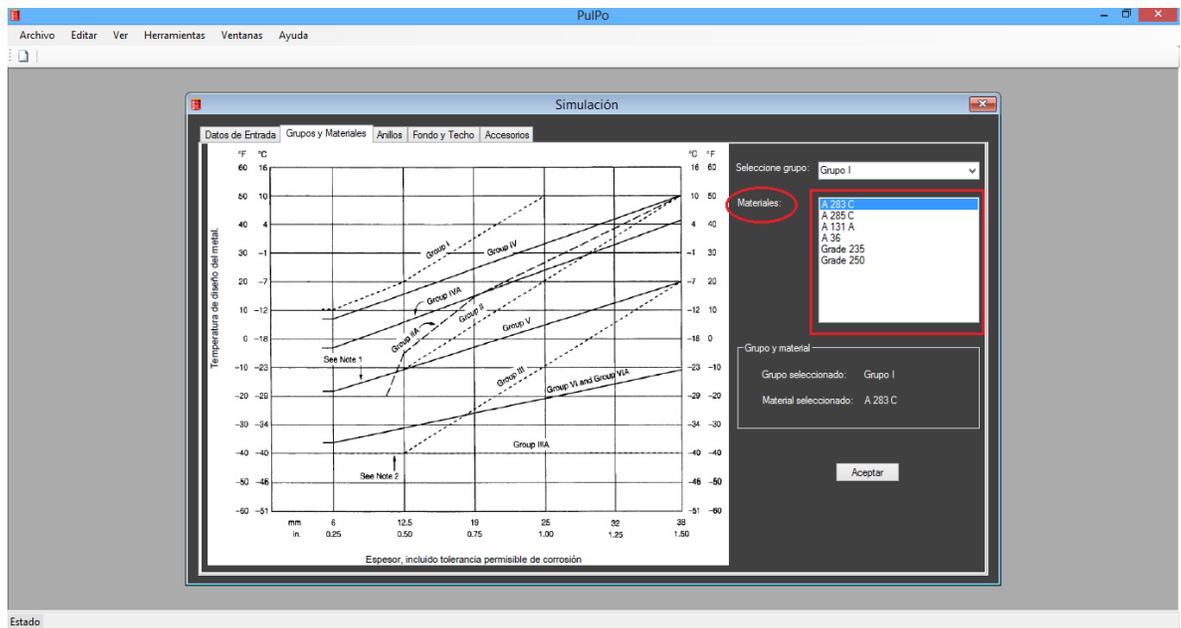


Figura 3.10. Selección de tipo de material.

Se continúa con la simulación haciendo clic en aceptar. (Figura 3.11).

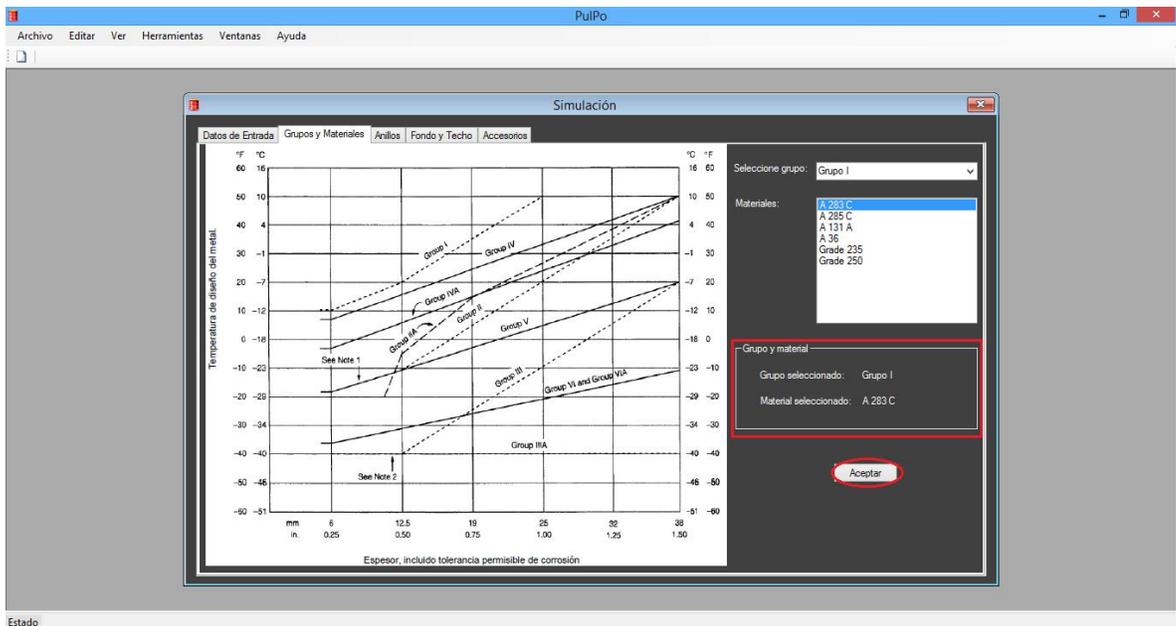


Figura 3.11 Datos salida pestaña 2.

Ahora se procede a la pestaña 3, que arroja la cantidad de anillos ya previamente seleccionados y las características principales para continuar con el diseño (Ver Figura 3.12.) para luego hacer clic en aceptar y seguir con la simulación.

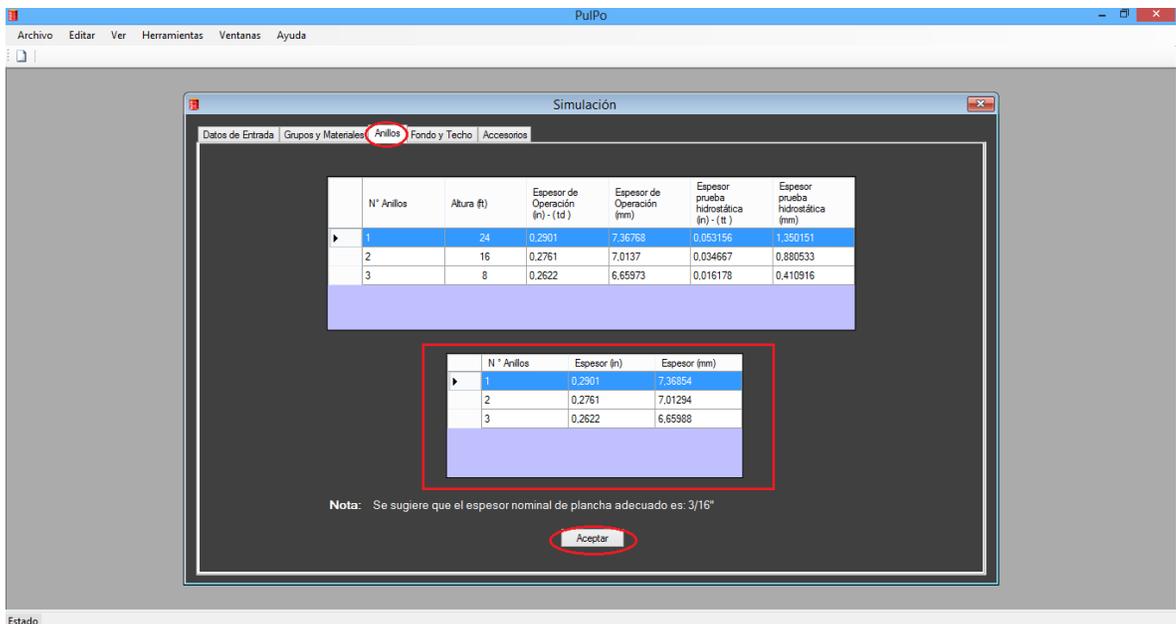


Figura 3.12. Anillos.

En la pestaña número 4, llamada fondo y techo, se proporcionan datos y dimensiones del fondo del tanque y ángulo de tope recomendados para el techo como se puede ver en la Figura 3.13.

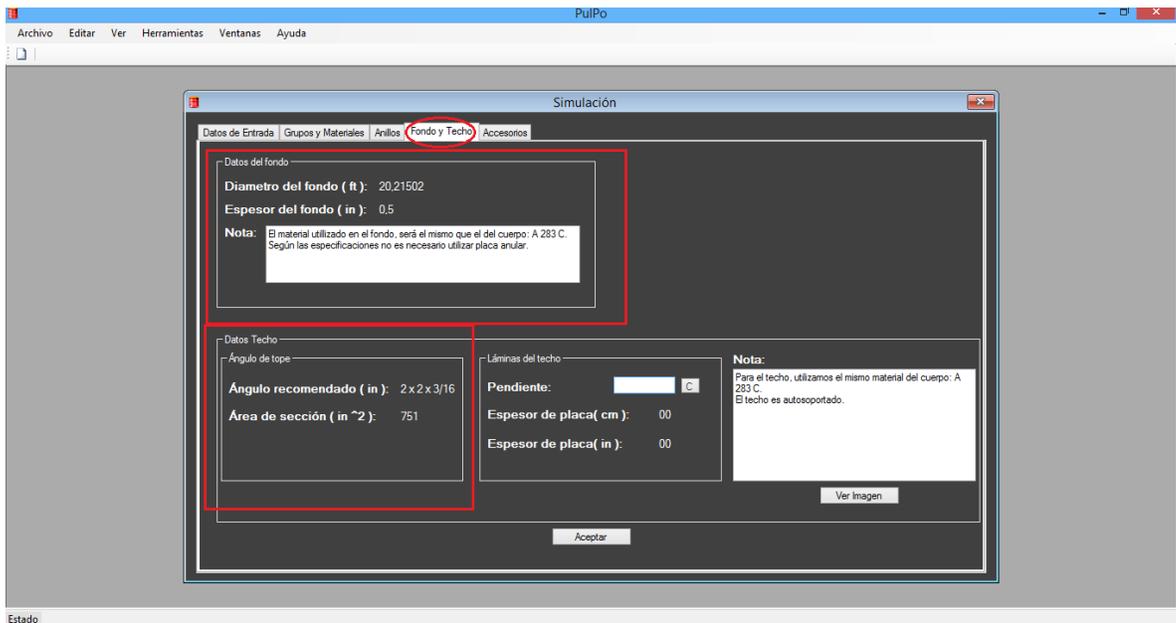


Figura 3.13. Fondo y Techo.

Se ingresa el valor de la pendiente, luego se hace clic en C y se calcula los datos restantes sobre la lámina del techo. (Figura 3.14).

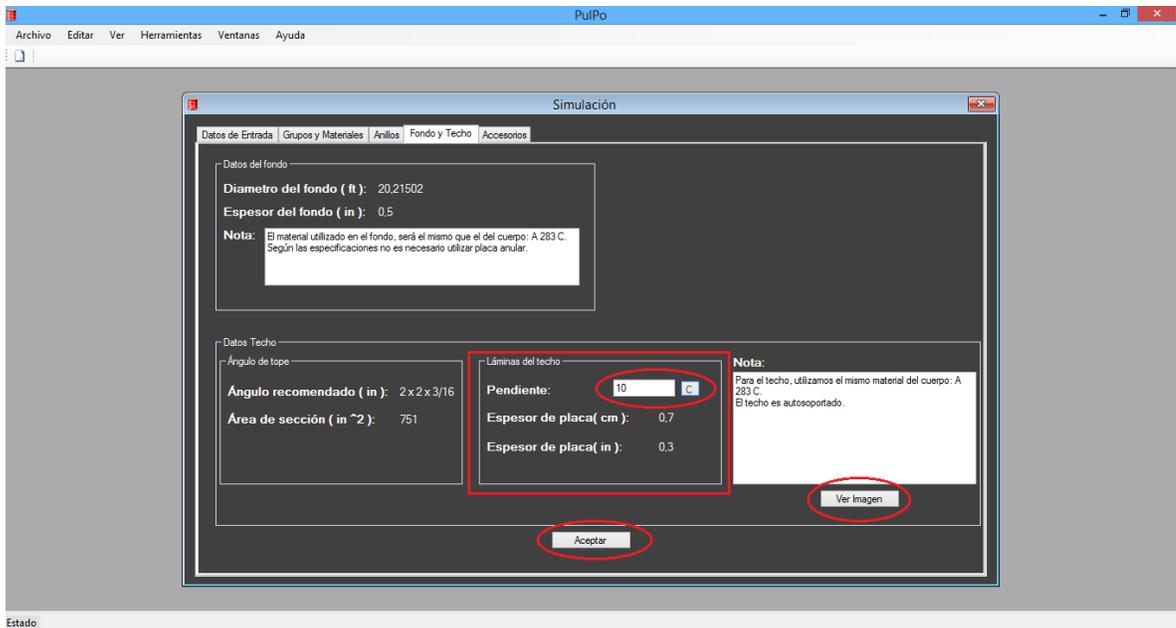


Figura 3.14. Datos lamina techo.

En caso de que en la nota diga que el techo es soportado, se hace clic en ver imagen y se selecciona entre las opciones de techos permitidas por el software de acuerdo a su diámetro ya calculado y se continua con la simulación.

La última pestaña, llamada accesorios, contiene otras subpestañas, correspondientes a los principales accesorios para que el tanque pueda estar en funcionamiento. (Figura 3.15).

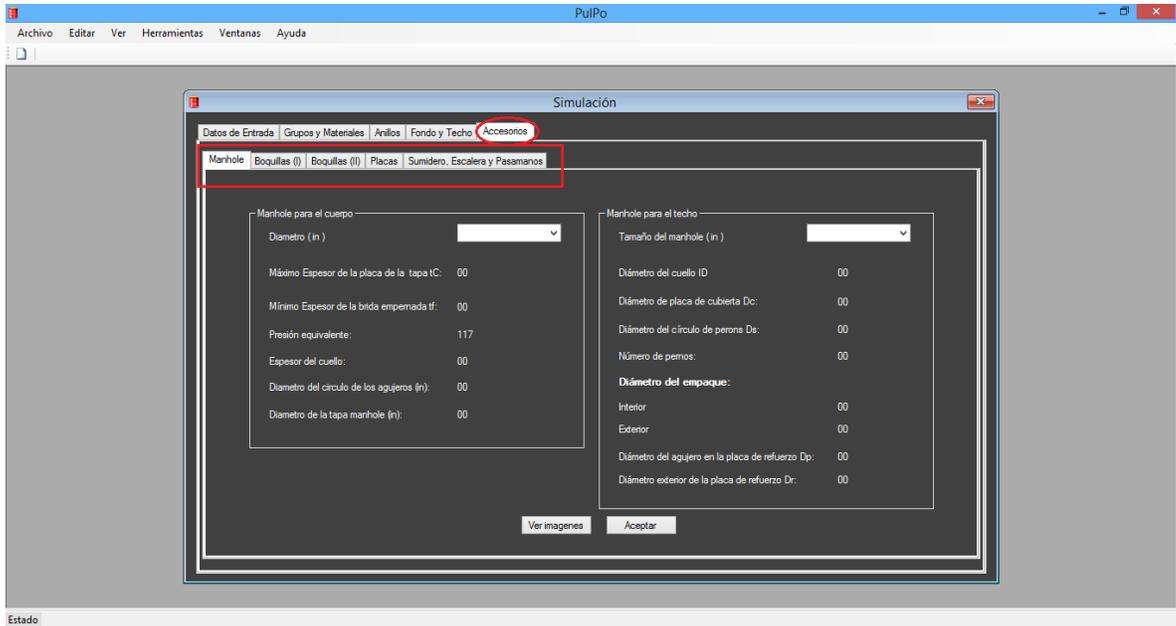


Figura 3.15. Accesorios

La primera subpestaña corresponde al manhole. En ésta se encuentran los manhole para cuerpo y techo. Se seleccionan el diámetro y tamaño del manhole de las listas desplegadas, que contienen valores estándar (Figuras 3.16. y 3.17).

Después de haber ingresado los datos de diámetro y tamaño del manhole para cuerpo y techo se continúa con la simulación. Antes de hacer clic en aceptar, se pueden ver las imágenes de los accesorios para cada paso de la simulación.

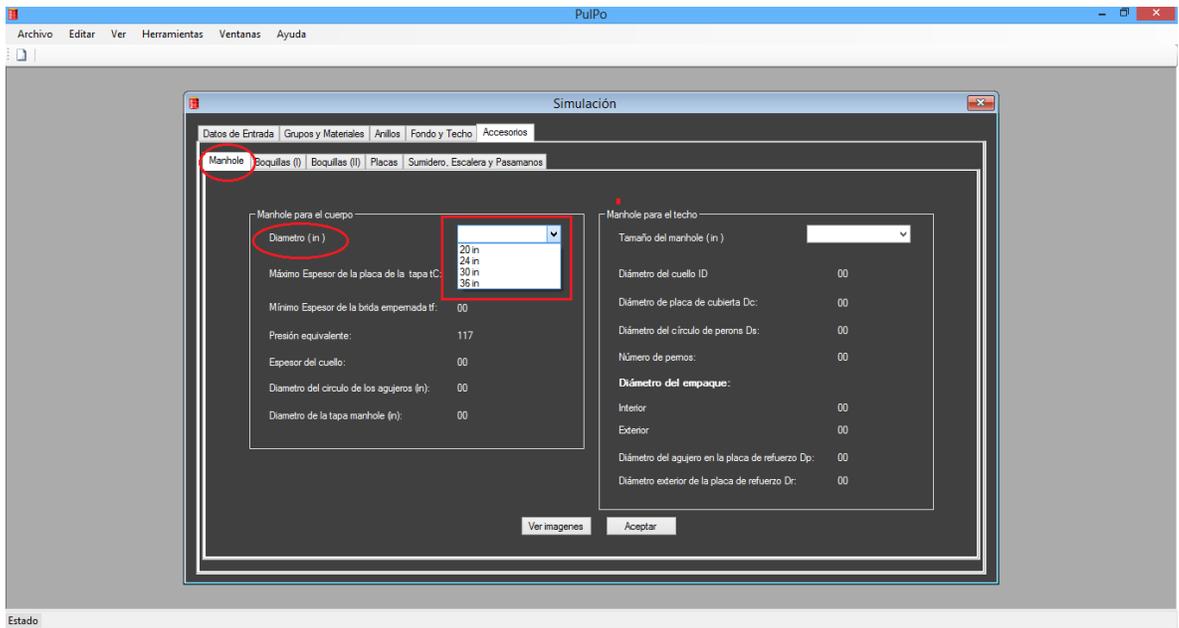


Figura 3.16. Manhole Cuerpo y Techo

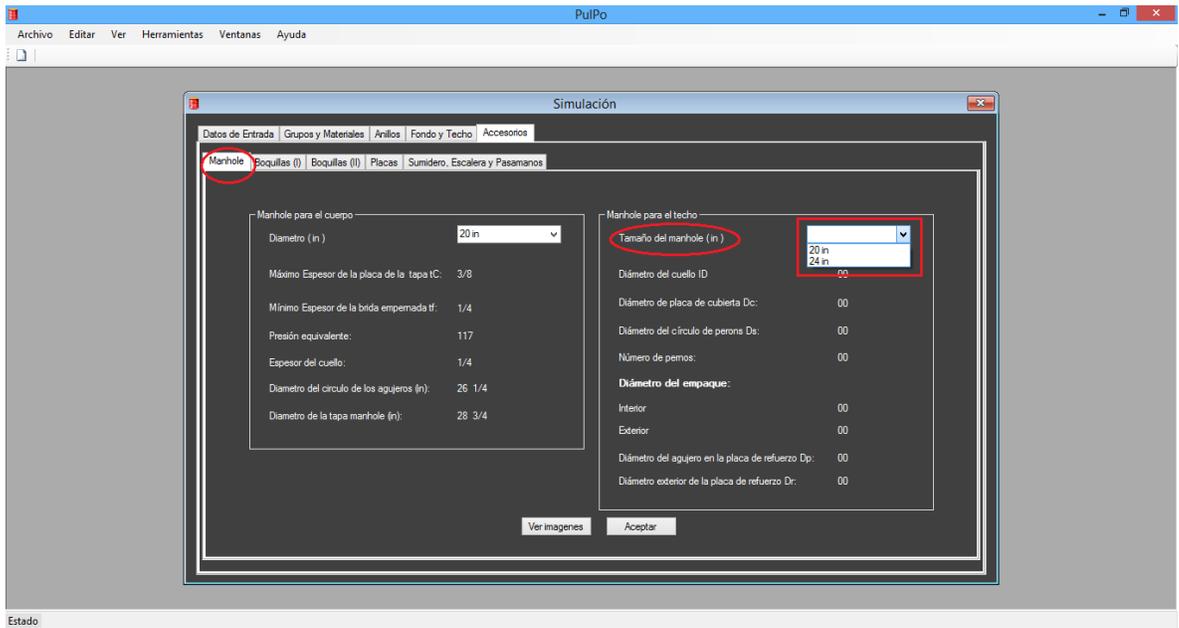


Figura 3.17. Manhole cuerpo y techo.

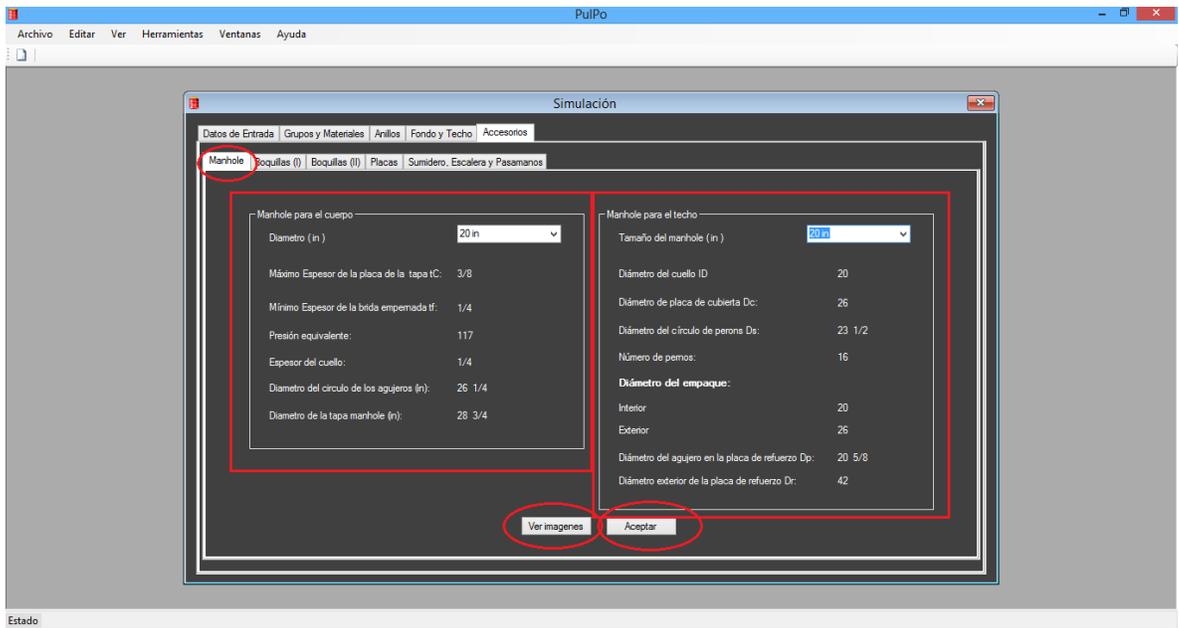


Figura 3.18. Datos salida Manhole

Luego de dar clic en ver imágenes se desprende una ventana llamada Accesorios imágenes la cual tiene la lista e imagen de cada uno de ellos.

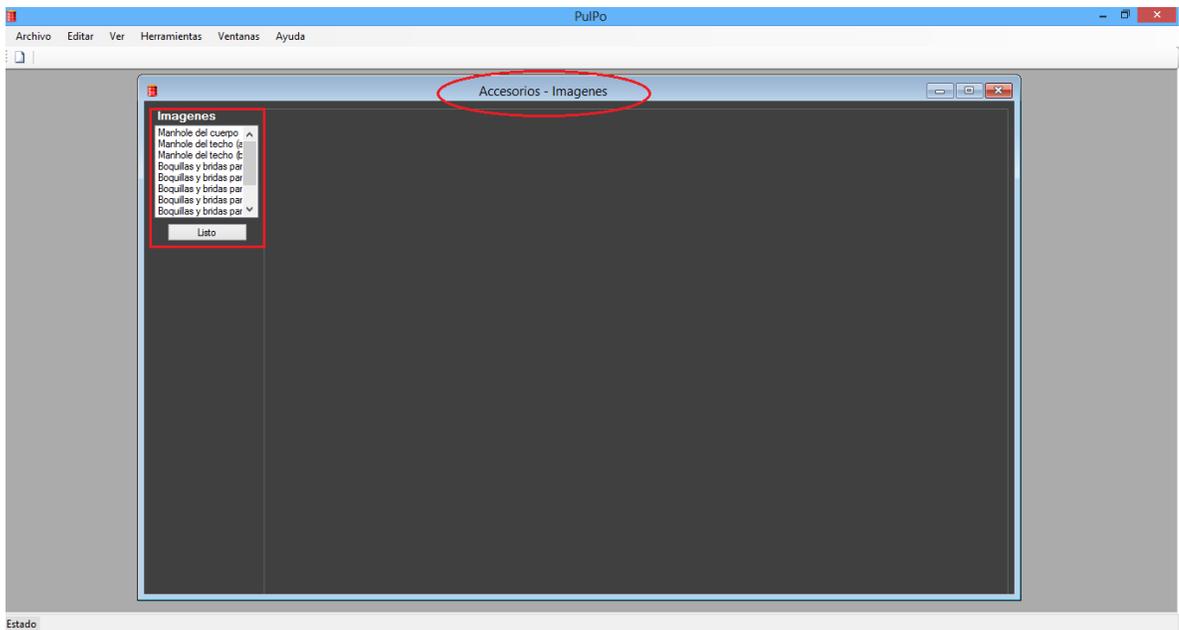


Figura 3.19. Accesorios – Imágenes

Un ejemplo se puede ver en la Figura 3.20. Del manhole del cuerpo.

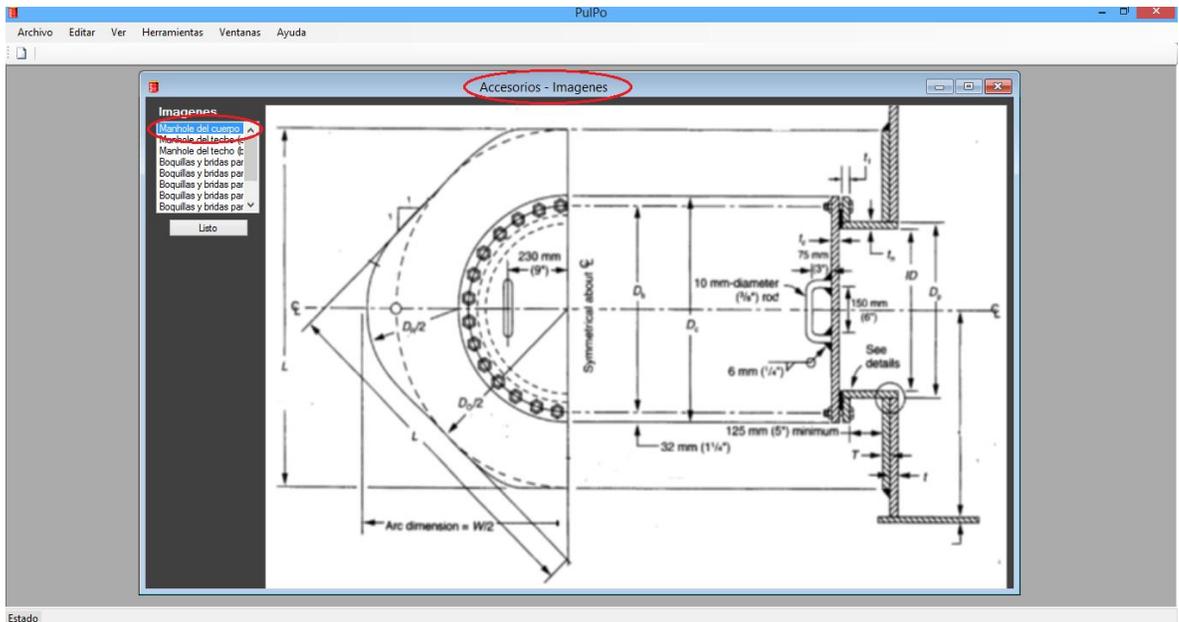


Figura 3.20. Imagen Manhole del cuerpo.

Esta es una ventana que se puede dejar abierta durante el resto del proceso mientras se simula cada uno de los accesorios del tanque.

Continuando con el proceso se pasa a la subpestaña 2 llamada boquillas I; igual que en el proceso anterior, seleccionando datos ya previamente cargados para diámetros y tipos de boquillas.

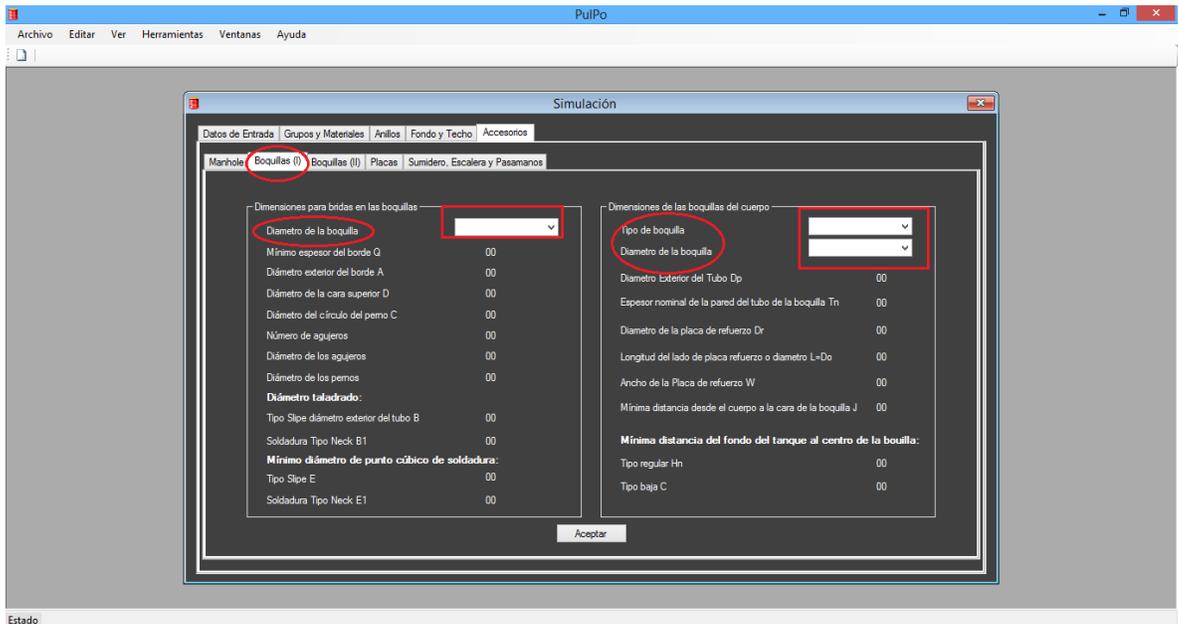


Figura 3.21. Boquillas I

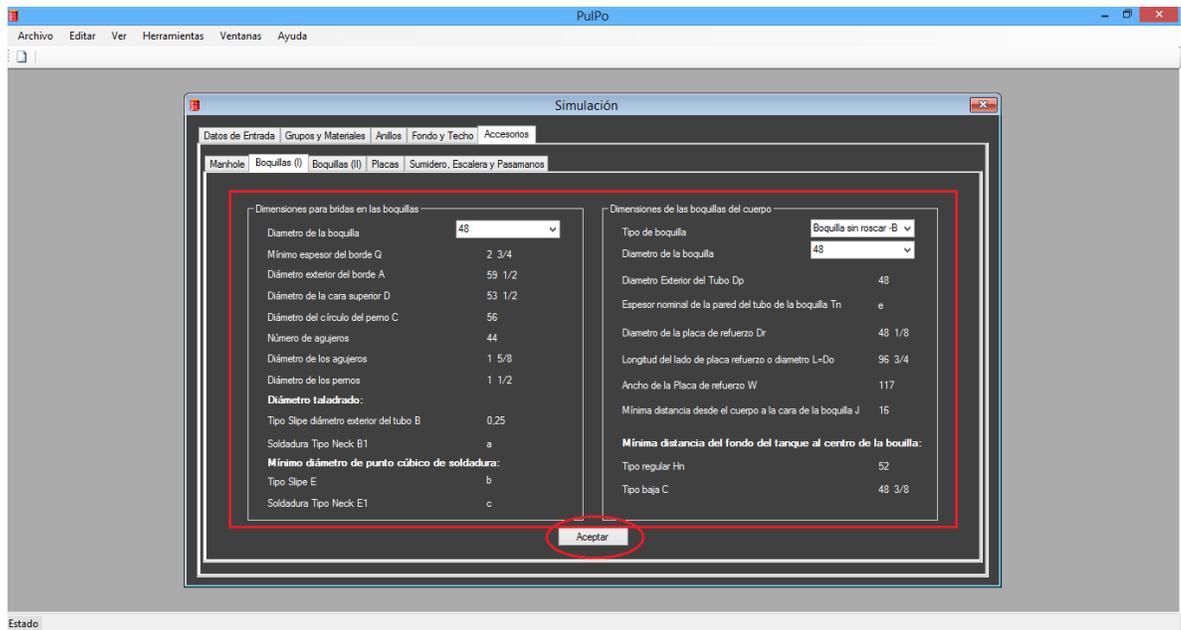


Figura 3.22. Datos salida Boquillas I.

Y se continúa con cada uno de los accesorios, seleccionando uno de los valores estándar ya cargados en el software hasta finalizar la simulación.

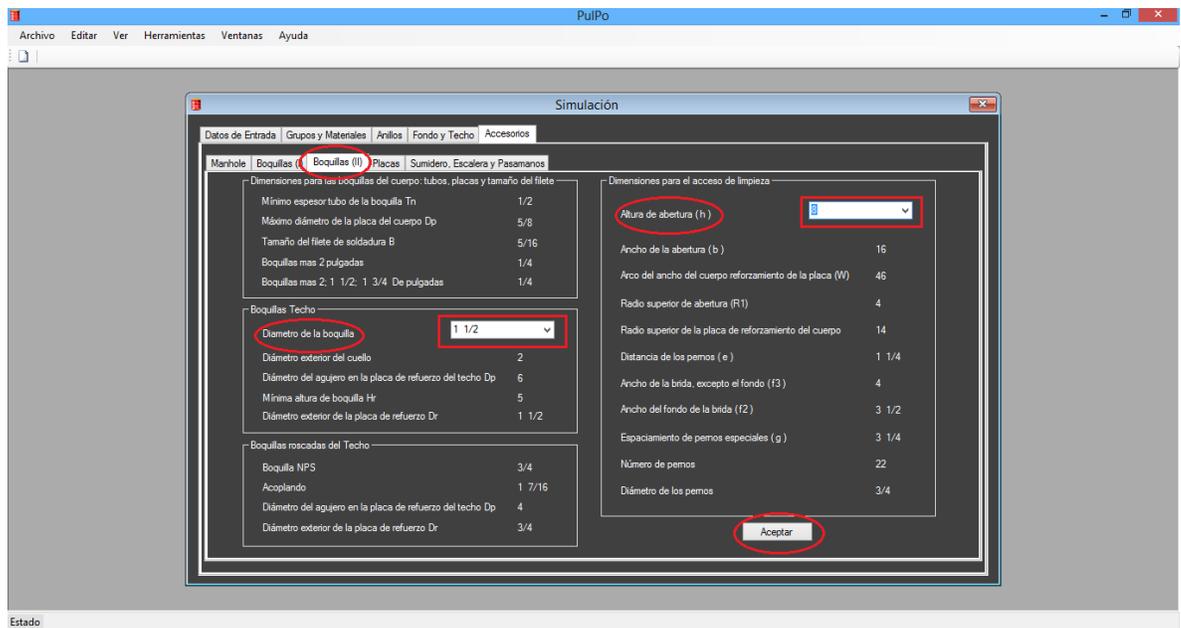


Figura 3.23. Boquilla II

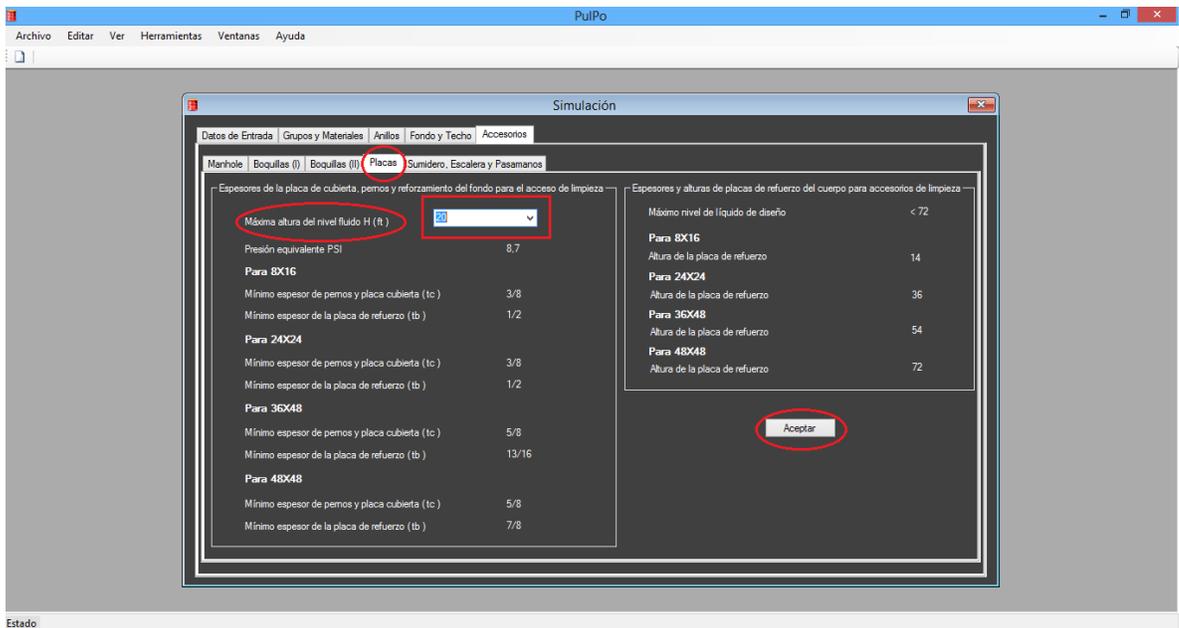


Figura 3.24. Placas

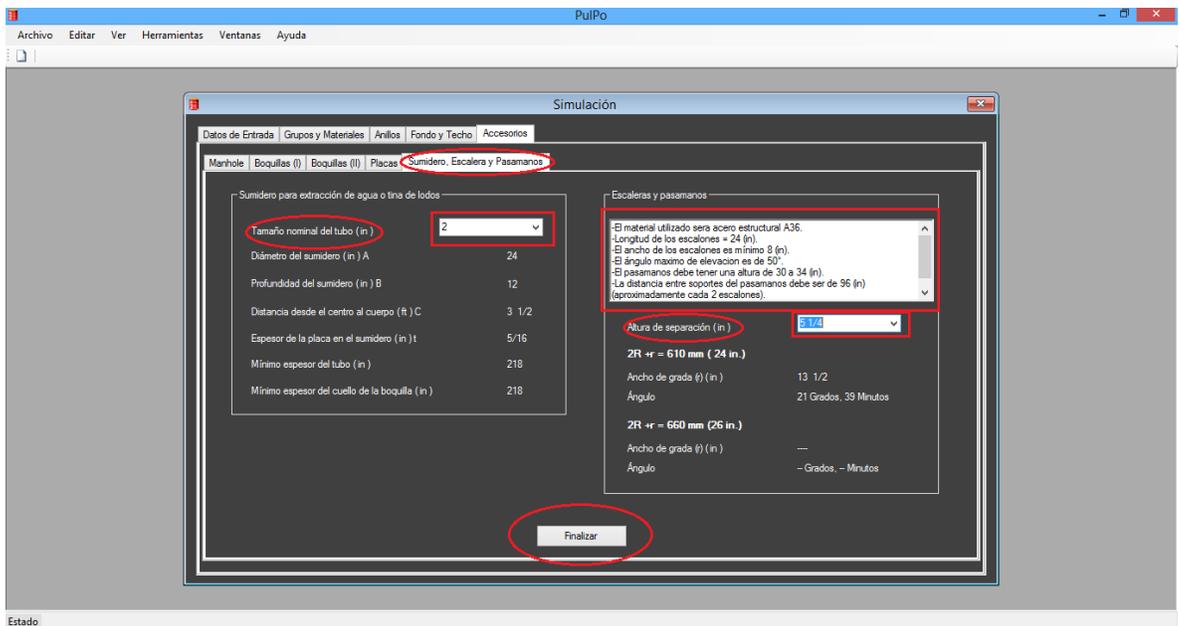


Figura 3.25. Sumideros, Escaleras y pasamanos.

Por último se hace clic en finalizar, para dar por terminada la simulación y generar el reporte de los datos determinados por el software.

Se debe tener en cuenta cada una de las notas presentes en software para tener agilidad en el diseño.

3.3.1. Salida y Presentación de la Información.

En aplicativo genera un resultado donde se resumen los datos obtenidos del diseño del tanque, en formato PDF. En la figura 3.26, se muestra un ejemplo de exportación de datos de Visual Basic a PDF. El número de páginas puede variar, dependiendo de la cantidad de datos obtenidos.



Universidad Surcolombiana



Fecha: 02/06/2014
Hora: 7:56:55p. m.

DATOS SIMULACIÓN

<p>Datos de entrada</p> <p><u>Caudal</u> 10000</p> <p><u>Factor Seguridad</u> 4</p> <p><u>N° Tanques</u> 3</p> <p><u>Esbeltez</u> 0,5</p> <p><u>Gravedad Especifica Crudo</u> 0,85</p> <p><u>Corrosión Máxima Permisible</u> 0,25</p>	<p>Dimensiones de placas</p> <p><u>Ancho placa</u> 40</p> <p><u>Alto placa</u> 8</p>	<p>Dimensiones del tanque</p> <p><u>Altura</u> 32</p> <p><u>Diametro</u> 66</p> <p><u>Esbeltez tanque</u> 0,492307692307692</p> <p><u>Volumen</u> 18928</p> <p><u>Nivel máximo de fluido</u> 28,8</p>
<p>Dimensiones de muros</p> <p><u>Longitud de muros</u> 171,256929786797</p> <p><u>Area del fuso</u> 29328,9359999999</p>	<p>Datos de salida</p> <p><u>Volumen de almacenamiento</u> 50000</p> <p><u>Volumen de tanque</u> 16666,66667</p> <p><u>Número de anillos</u> 4</p>	<p>Grupos y materiales</p> <p><u>Grupo seleccionado</u> Grupo III</p> <p><u>Material seleccionado</u> G 40.21-38 W</p>

Datos del fondo

Dimensiones del fondo

Diametro del fondo 66,23925

Espesor del fondo 0,5

Nota El material utilizado en el fondo, será el mismo que el del cuerpo: G 40.21-38 W. Según las especificaciones es necesario utilizar placa anular.G 40.21-38 W

Datos placa anular

Espesor placa anular 0,5

Ancho placa anular 8

Usuario(s) que generan: Jose Polo Oviedo - Jorge Mario Puentes Página 1 de 6

Figura 3.26. Resumen PDF Datos Simulados.

3.4. DEPURACIÓN

Una vez que se ha concluido la estructuración general del software, con la programación finalizada, la siguiente fase es la ejecución del programa (hacerlo correr). Cuando existen errores en la digitación de datos, se producirán paros del programa, casi siempre acompañados de mensajes de error, los cuales indican que hay un problema y hay que corregirlo. Alternativamente Visual Basic da la posibilidad de terminar la sesión, o depurar el programa. Esta última es la de mayor importancia y la que se tomó en cuenta durante las pruebas del software.

Depurar, en términos de programación, es detectar, localizar y corregir errores en un programa informático. Se utiliza para hacer referencia a dificultades o errores habituales y su solución. Los depuradores a nivel de código máquina, presentan las instrucciones de máquina reales y permiten al programador observar los registros y ubicaciones en la memoria.

3.5. COMPILACIÓN (COMPILADO).

Compilador, en informática, es un programa capaz de generar aplicaciones que sean directamente utilizables en un ordenador o computadora. Un compilador lee el código fuente creado en un determinado lenguaje de programación, lo interpreta, comprueba su sintaxis y traduce a lenguaje o código máquina toda la serie de instrucciones, generando el archivo ejecutable final (programa compilado).

Un compilador crea una lista de instrucciones de código máquina, el código objeto, basándose en un código fuente. El código objeto resultante es un programa rápido y listo para funcionar, pero que puede hacer que falle el ordenador si no está bien diseñado.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Se logró diseñar un software para el dimensionamiento de tanques de almacenamiento de crudo y gun barrels, de fácil manejo y amplia aplicabilidad, de libre acceso, buscando minimizar los problemas de costo y accesibilidad de los ya conocidos.
- El algoritmo desarrollado permite calcular las dimensiones necesarias de tanques de almacenamiento y gun barrels de una batería, basado en los parámetros de entrada, establecidos por el comprador.
- En el transcurso del desarrollo del proyecto, se pudo comprobar, que al diseñar tanques con una relación de esbeltez baja, no solo se reducen complicaciones de fabricación y montaje, sino también costos.
- Este trabajo, constituye una valiosa herramienta educativa para los estudiantes de Ingeniería de Petróleos, ya que permite que ellos pongan a prueba los conocimientos adquiridos en las áreas de producción de hidrocarburos.
- La norma API 650 proporciona todo el manejo en cuanto diseño y fabricación de tanques atmosféricos de techo cónico, por lo tanto no se utilizó con mucha frecuencia cualquier otra norma.
- El lenguaje de programación utilizado fue el óptimo, ya que Visual Basic es un lenguaje simple y por tanto fácil de aprender, el cual no presentará mayores dificultades para los usuarios con conocimientos básicos de programación.

4.2. RECOMENDACIONES

- Para el diseño mecánico general de los Tanques de Almacenamiento, se recomienda considerar las condiciones de operación y diseño como: volumen, temperatura, peso específico del líquido, corrosión permisible, etc. Todas estas deben ser proporcionadas por el cliente, dado que conoce con exactitud las características del fluido a almacenar y el lugar donde se instalará dicho tanque, ya que no es factible suponer estas condiciones.

- Se recomienda que el personal que utilice el software de diseño, de tanques de almacenamiento de crudo PULPO, tenga algún conocimiento de la norma API 650 y otras, o revise el presente proyecto.
- Se sugiere utilizar en el diseño, placas de 40" x 8" o 40" x 6", ya que son las dimensiones más utilizadas por los fabricantes de estas.
- El presente trabajo fue desarrollado para el diseño de tanques de almacenamiento de hidrocarburos, de diámetro inferior a 200 pies y no debe usarse para diámetros mayores, ya que el método utilizado para calcular los espesores de las placas de los anillos es el método de un pie y éste no es válido para tanques con diámetro mayor a 200 pies.
- Se sugiere para la selección de los manholes de cuerpo y techo, utilizar un diámetro de 24 pulgadas, ya que es el recomendado por la norma API 650.
- Este proyecto no abarca el diseño y cálculo de las estructuras soportantes de los techos, ni los procedimientos de soldadura necesarios para su construcción y funcionamiento, por esto se recomienda complementar el análisis con personas que tengan conocimientos en estos temas.

BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API 650: Welded Steel tanks for oil storage. 2007.
- ARANDA, Ervin. Curso sobre facilidades de superficie parte I. Neiva. 1996
- ARNOLD, Ken and STEWART, Maurice. Surface Production Operations. Volumen 1 Design of Oil-Handling, Systems and Facilities, Gulf publishing company, Houston, 1986.
- LEON ESTRADA, Juan Manuel. Diseño y cálculo de recipientes a presión, Alfa – Omega, México, 2001.
- Mc.CORMAC, Jack C. Diseño de estructuras de acero, Alfa – Omega, México, 2002.
- MOTT, Robert L. Mecánica de fluidos. Pearson Education, México, 2006.
- NARANJO AGUDELO, Abel. Manejo de producción en campos de petróleo, Universidad Nacional de Colombia, Seccional de Medellín, 1989.
- VELANDIA G. Daniel. Facilidades de Producción en campos petroleros. Bogotá, 2002.

ANEXOS

ANEXO 1

PROCEDIMIENTOS DE FABRICACIÓN.

Los procesos de fabricación, construcción y montaje se han elaborado según el estándar API 650.

Un análisis de precios unitarios debe considerar varios rubros y cronogramas de trabajo, de los cuales deben seleccionarse los de mayor trascendencia, para obtener un precio aproximado y real del costo total del tanque. Este costo proviene del empleo de mano de obra, herramientas, maquinarias y accesorios. Por lo tanto, para reducir los costos de fabricación se debe reducir al mínimo la cantidad de trabajo requerido.

Los procesos de fabricación más relevantes para la construcción del tanque, se indican a continuación:

- Acceso, manipulación y corte del material
- Elaboración de plantillas.
- Trazado, punzonado y taladrado
- Enderezamiento, doblado, rolado y barloado.
- Avellanado, rimado y escariado.
- Métodos de sujeción (remaches, pernos, soldadura).
- Maquinado en talleres.
- Limpieza y pintura.

Acceso, manipulación y corte del material.

El acero se vende en una gran variedad de formas y tamaños, como varillas, tubos, raíles (rieles) de ferrocarril o perfiles en H o en T. Estas formas se obtienen en las instalaciones siderúrgicas laminando los lingotes calientes o modelándolos de algún otro modo. El acabado del acero mejora también su calidad al refinar su estructura cristalina y aumentar su resistencia.

El acceso al material, se refiere a la facilidad de disposición y reserva existente en la planta de instalación proveniente de los almacenes de la fábrica o proveedores, el costo de material y el transporte, que es fundamental. La designación A6 del ASTM requiere de las láminas, perfiles y platinas de acero fabricado en acerías sea marcado con el número de colada, nombre del fabricante, marca de fábrica y

dimensiones, propiedades mecánicas tales como: punto de fluencia, resistencia, etc. Figura A.1.

La mayoría de los materiales son muy pesados para su manipulación, por lo tanto se usan puentes, grúas, montacargas, etc., para distribuir en las diferentes áreas de instalación.

La mayoría de las veces se compra el material en láminas enteras y casi siempre son planas y rectangulares, las mismas que muchas veces no se acoplan a las necesidades del diseño y montaje. Se deben realizar cortes tales que generen la geometría necesaria para la fabricación, mediante el empleo de cizallas, con discos de corte o en mesas de oxicorte, lo cual involucra un rubro importante en la fabricación.

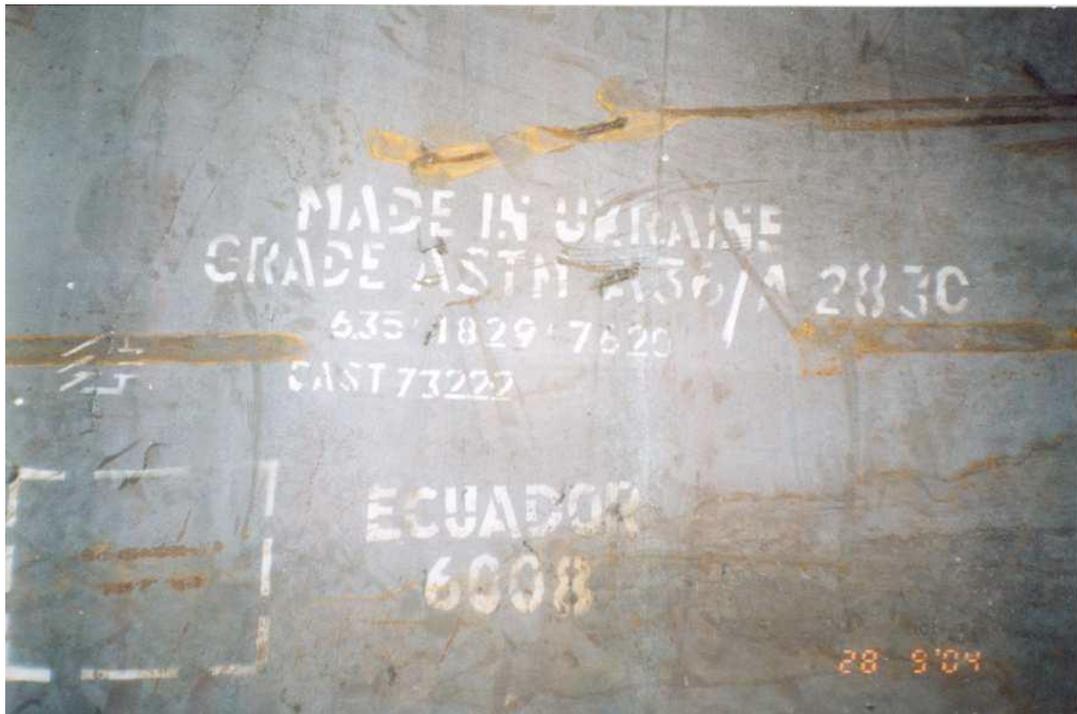


Figura A.1 Láminas de acero, designación ASTM. Características: Lugar de fabricación, dimensiones, fabricante, propiedades mecánicas, etc.

Elaboración de plantillas.

Una plantilla es una tabla o plancha cortada con los mismos ángulos, figuras y tamaños que debe tener la superficie de una pieza y que puesta sobre ella, sirve en varios oficios de regla para cortarla y labrarla. Plano reducido, o porción del plano total, de una obra. Es la pieza principal donde se copiaran piezas iguales

con el fin de reducir procesos de trazados y punzonados, se utiliza sobretodo en el cortado de las láminas del piso, techo, y agujeros para los manholes donde existen geometrías complicadas.

Cada plantilla es marcada con el tamaño del material requerido, el número de piezas a ser realizadas, el número de trabajo, el registro de identificación de la pieza y el número de plano. El uso de software como el CAD- CAM (Diseño Asistido Por Ordenador, Máquinas de Control Automático), ha eliminado en parte el uso de plantillas, pero casi siempre se utilizan.

Trazado, punzonado y taladrado.

Trazado, punzonado y taladrado, son operaciones que trabajan conjuntamente, obteniéndose trabajos eficientes y rápidos. Trazado es la operación de marcar en la lámina, las líneas o trazos que determinan los contornos y detalles constructivos de la futura pieza; el trazado puede ser manual o mecánico. El punzonado es usado como guía, es decir, el primer contacto o huella que existe en la lámina, donde se realizarán los agujeros mediante el taladrado. El taladrado es la operación por medio de la cual se realizan orificios circulares mediante la utilización de una broca; los agujeros pueden ser pasantes o ciegos.

En piezas livianas de acero, tales como ángulos de longitudes cortas y láminas pequeñas, se realiza una sola perforación. Para vigas, canales ángulos y láminas de mediano peso, se utilizarán máquinas estacionarias de punzonado. El equipo de taladrado incluye máquinas como taladros manuales, taladros radiales y taladros estacionarios.

Enderezamiento, doblado, rolado y barolado.

Estas operaciones se caracterizan como especiales, ya que de ellas depende el acople y ajuste necesario para encajar a toda la obra en conjunto, es decir, estas operaciones permiten tolerancias mínimas.

El enderezamiento consiste en devolver la geometría inicial a aquellas láminas o piezas que quedaron distorsionadas o no dobladas correctamente debido a la manipulación. Esta se realiza antes de realizar las operaciones subsiguientes. El doblado es usado para el enderezamiento y doblez de perfiles, canales, ángulos y barras pesadas, y obtener así la geometría adecuada para el montaje.

El rolado es la operación con la cual láminas grandes o pequeñas se enderezan o se doblan circunferencialmente. Son las que se necesitan para la instalación de la envolvente del cuerpo del tanque. Las láminas son pasadas entre rodillos (roladora), los cuales ejercen mayor presión sobre el lado cóncavo, que sobre el convexo, tal como se aprecia en la Figura A.2.



Figura A.2. Proceso de rolado de las láminas. Hombres rolado una lámina.

El Barolado es lo mismo que el rolado, pero creando una circunferencia completa, es decir se crean piezas circulares a partir de la lámina.

Avellanado, rimado y escariado.

El avellanado consiste en eliminar aristas vivas de los alojamientos circulares mediante la utilización del avellanador. Es una operación que debe realizarse inmediatamente después del taladrado. El avellanado permite guiar las operaciones de rimado y escariado. El rimado y escariado son operaciones de rectificado de agujeros previamente taladrados. La rima es una herramienta utilizada con el taladro. El escariador es una herramienta para rectificar manualmente con la ayuda de un portamachos.

Métodos de sujeción (remaches, pernos, soldadura).

La estabilidad de una estructura no depende únicamente de la resistencia de sus elementos principales, tales como: columnas, vigas, ángulos, bases, membranas, bases, sino también de los métodos de sujeción. Cuando existen varias opciones permitidas por las especificaciones, un diseñador puede seleccionar un método o una combinación de éstos, para obtener una junta más económica y segura. La norma API 650 indica algunos de los métodos de sujeción recomendados, pero se tiene más en cuenta, el de soldadura.

- **Remachado:** Muchas de las obras realizadas hacia los años 70, se han realizado con remaches, que son elementos cilíndricos sometidos a fuertes esfuerzos de corte solo transversalmente. Es recomendado cuando los elementos estructurales no soportan cargas en los ejes axiales. En la actualidad solo se utiliza en obras de menor exigencia técnica, ya que ha sido remplazado por el empernado y la soldadura.
- **Empernado:** Es uno de los métodos más seguros, consiste en colocar un perno en una ranura circular roscada, previamente realizada en una placa o lámina. La rosca debe tener las mismas especificaciones que el perno para que exista un acople seguro y puede llevar una tuerca en la parte posterior de la lámina. Los pernos pueden soportar elevados esfuerzos de corte, tracción y compresión, axial y transversalmente, la desventaja es la posibilidad que se corroan las ranuras y provoque desplazamientos de los elementos principales estructurales. En conexiones para estructuras en especial de correas con cartelas se usan pernos ASTM A307, ASTM A325, ASTM A490. Estos pernos pueden ser ajustados con herramientas manuales o neumáticas.
- **Soldadura:** Procedimiento por el cual dos o más piezas de metal se unen por aplicación de calor, presión, o una combinación de ambos, con o sin el aporte de otro metal. Es el método más utilizado hoy en día, por la facilidad que presenta. Cabe notar, que para la realización de esta, se necesita de generadores, transformadores y máquinas automáticas de soldadura, las mismas con características especiales, lo que involucra otro rubro que es notable con respecto al costo de la obra. El contratista puede disponer de estas máquinas o alquilar. También se solicita personal con calificación API. La Norma API 650 da una mayor importancia a este proceso de unión. En la Figura A.3, se aprecia el momento en que se realiza sujeción mediante

soldadura. La desventaja de este método es que las uniones que se realizan son permanentes y un desmontaje implicaría romper la soldadura y costos adicionales.



Figura A.3. Sujeción por Soldadura en Tanques de Almacenamiento.

Maquinado en talleres.

Son las operaciones secundarias que se realizan en el taller mecánico, empleando máquinas herramientas, herramientas y hojas de procesos. Una de las funciones importantes del maquinado en planta o de taller es el mantenimiento y reparación del equipo que se dispone. También de piezas que se dañaron mediante la manipulación o se doblaron por golpe o impacto. Aquí se realizan procesos de taladrado de agujeros, cepillado, rimado, avellanado, escariado, pequeñas piezas circulares, procesos de corte con sierra automática o manual., etc.

Limpieza y pintura.

Luego de haber realizado los procesos de fabricación, se debe realizar la limpieza de los miembros estructurales, sobre todo de la corrosión (herrumbre). Este proceso de limpieza puede realizarse con chorro de arena (sandblasting), puede ser manual, o con máquinas.

Solo se deben pintar las partes que se indican, en los planos de ingeniería, dados por el proveedor y fabricante, generalmente se utiliza pintura anticorrosiva y no inflamable, para evitar cualquier peligro de incendio en los tanques, se recomienda recubrir la parte externa del tanque que es la más afectada por la corrosión.

ANEXO 2

CONTROL DE CALIDAD, CALIBRACIÓN E INSPECCIÓN.

Todo el trabajo que pasa a través de la planta está sujeto a inspección por parte de los inspectores de planta. “El fabricante debe proveer de procedimientos de control de calidad en la medida en que el crea conveniente para asegurar que todo el trabajo sea desarrollado en relación con la especificación”¹⁵.

El fabricante es el responsable del control de la calidad de la obra la que tendrá que ser fiscalizada para su aceptación. Los procesos a inspeccionar pueden ser varios siendo los principales a ser considerados:

- Inspección de requisitos del fabricante.
- Capacitación y certificación del personal.
- Inspección de materia prima (generalmente acero).
- Inspección de los procesos manuales y de maquinaria.
- Inspección y verificación del dimensionamiento de elementos
- Inspección del ensamblaje y métodos de Sujeción.

Inspección de requisitos del fabricante.

Toda empresa o institución, está en el derecho de investigar sobre la persona(s), que es responsable de la obra; según sea el caso puede aceptar o rechazar la propuesta. Se verifica si el fabricante, se encuentra capacitado y dispone de los medios necesarios para realizar dicho proyecto. El contratista debe justificar todos los requisitos necesarios para realizar esta obra.

Capacitación y certificación del personal.

Si la empresa cliente o cliente simplemente acepta la propuesta del fabricante, el siguiente paso, será revisar la lista del personal para realizar la obra, la misma que consistirá, en la documentación del personal técnico, Tales como: jefes de planta, jefes de taller, ingenieros, tecnólogos, técnicos, operarios, soldadores, ayudantes entre otros.

¹⁵ American Institute of Steel Construction (AISC), numeral 1.26.1.

En especial se toma atención a la calificación de los soldadores mediante los procedimientos de ley como lo son: WPS y PQR; para determinar el grado de práctica de estas personas, siempre la soldadura es susceptible a errores por lo cual tiene, una minuciosa inspección y calibración, para evaluar a los técnicos. Por lo general los soldadores son personas con vasta experiencia y deben tener el grado API como soldador. Con respecto al resto del personal deben presentar la documentación que permita verificar que son aptos para desempeñar los trabajos establecidos.

Inspección de materia prima.

Como se indicó anteriormente y en la Figura A.1. El material destinado la fabricación, debe ser revisarse y establecer si es apto o no, para el diseño y fabricación, en este caso de este proyecto sería el acero. Todo material debe tener una identificación de acería en la que debe constar: calidad del material, el número de colada, dimensiones, espesor, peso, proceso de fabricación, norma de fabricación, año de fabricación, etc.

Inspección de procesos manuales y de maquinaria.

Consiste en la calibración y verificación de dimensiones en estado inicial, y de las diferentes piezas obtenidas después de haber realizado los procesos de trazado, punzonado, taladrado, rimado, escariado, etc., es decir comprobar, que las medidas son las mismas establecidas en los planos de diseño. Caso contrario no se puede avanzar al siguiente punto.

Inspección y verificación del dimensionamiento de elementos.

Una vez realizado los cortes, para obtener la geometría necesaria de diferentes piezas se deben chequear, los elementos estructurales, los mismos que deben estar en completa concordancia con los planos de fabricación, para evitar posibles errores y problemas en el montaje.

Se debe poner énfasis en la inspección dimensional y de posición de los agujeros utilizados en el montaje, así como la instalación adecuada de los medios de montaje.

Inspección del ensamblaje y métodos de sujeción.

En el sitio de montaje, el control de calidad debe ser tan minucioso como el realizado en taller; esto es procesos de soldadura, dimensión del cordón de soldadura, etc. La inspección se realizara con la aplicación de ensayos destructivos y no destructivos, como: radiografía industrial, tintas penetrantes, ultrasonido, en el Figura A.4. Ingenieros realizando inspección a Tanques.



Figura A.4. Ingenieros inspeccionando Tanques.

ANEXO 3

PROCESOS DE MONTAJE Y CONSTRUCCIÓN.

Previo al montaje y construcción del tanque se debe verificar que existan áreas de almacenamiento o bodegas para control de la materia prima que estén cercanas al sitio de trabajo y accesos adecuados para la movilización de cargas, equipos, y transporte, de igual manera los suministros de energía y agua no deben estar a una distancia superior de 30 metros.

Antes del montaje del tanque se tienen que realizar trabajos previos de carácter de ingeniería civil, tales como: cimentación, diques de protección, protección catódica, y sistemas de drenaje, de tal forma que los trabajos para construcción y montaje del tanque se inician desde el fondo o piso.

MONTAJE DEL PISO O FONDO DEL TANQUE.

Sobre la cimentación se realiza el trazado con las dimensiones establecidas en los planos, mediante una pluma grúa o montacargas se traslada la primera lámina que se ubica justo en el centro del trazado del tanque, y que coincide con el centro de gravedad de ésta, partiendo desde este punto se ubican de las demás laminas; estas láminas pueden unirse a traslape o a tope (figura 1.14), para evitar desplazamientos en el montaje se realizara puntos de suelda en donde sea necesario. Todas las láminas son enteras excepto las que están en la periferia del tanque y que fueron prefabricadas anteriormente. Con el objetivo de minimizar la distorsión de las planchas, por efecto de la soldadura, se debe establecer la secuencia de ejecución de las juntas soldadas.

MONTAJE DE LAS BASES DE LAS COLUMNAS DE LA ESTRUCTURA SOPORTANTE DEL TECHO.

Sobre el piso o fondo del tanque ya terminado, se trazara para cada castillo:

- Los radios de implantación tanto los inscritos como los circunscrito
- Los desplazamientos angulares para cada polígono
- Se marcara el sitio en donde se ubicara las bases de las columnas, las bases tienen una geometría establecida, (figura 2.21, 2.22 y 3.5) y su centro de gravedad coincide con la marca anteriormente señalada.

- Una vez instaladas y perfectamente alineadas, se procede a colocar los 4 ángulos por base, en las esquinas de la misma, se colocara puntos de suelda, no cordones, estos se los realiza después cuando se levanten las columnas.
- Se verifica que el nivel de la base del tanque sea el mismo para todas de las bases.

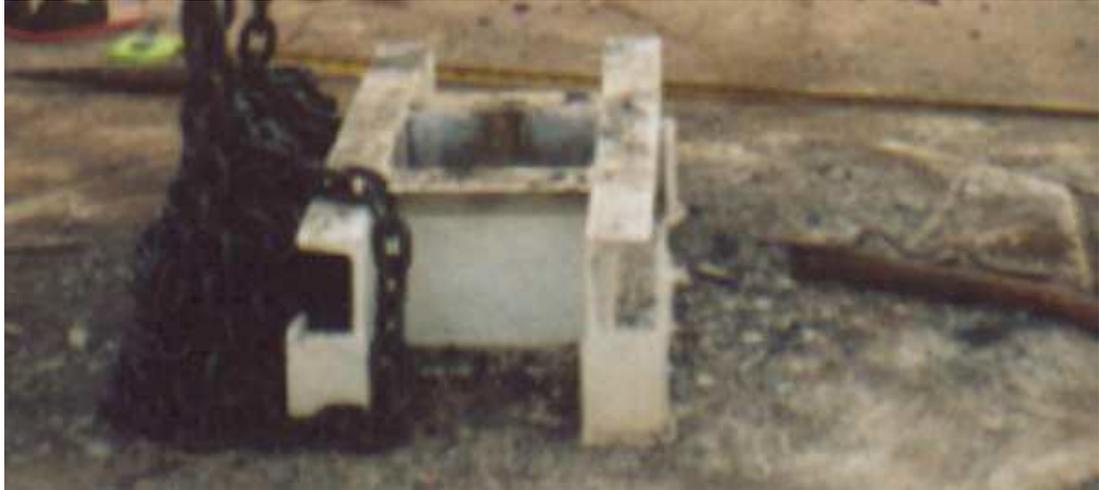


Figura A.5. Base Circular asentada y alineada lista a montar

MONTAJE DE LAS COLUMNAS SOPORTANTES DEL TECHO



Figura A.6. Columnas Armadas montadas sobre la base del tanque.

Terminado el montaje de las bases, se procederá a la instalación de las columnas; sean estas armadas o circulares (figura A.6). El procedimiento es el siguiente:

- La instalación inicia con la columna central, para lo cual se arma una estructura cuadrada de aproximadamente de 1.5 m de alto por una base de 2 X 2 m, (Figura A.7) en la cual se fijará las columnas del teclee, luego con una grúa se levanta la columna sobre esta estructura y se la aploma (verticalidad).
- Con la ayuda de un teclee, o grúa, o elevador hidráulico o montacargas, se instalará la columna central, ésta debe encajar sobre la base anteriormente montada, y proceder a empernarla. Los pernos deben ajustarse, debido a que el montaje del techo, provoca una desviación de la vertical, se aprieta cuando ya esté montado el techo.
- Si la estructura es de una columna central, en el momento que se coloca la columna debe soldarse el disco central y proceder a montar las correas, para luego aplomar, ajustar correctamente los pernos de unión de la base con la columna y finalmente soldar los ángulos de la base de la columna solidarios a la base del tanque.
- Si la estructura tiene además de la columna central, columnas interiores y exteriores, se procede de la siguiente manera: se instalará la columna central, luego se monta las columnas interiores pero saltándose una a la vez, y se procede a poner tensores (alambre de acero) a todas estas, unos con dirección a la estructura auxiliar, y otras ancladas al piso fuera del tanque (anclados en barras forma de ojo), para ello se deben soldarse al menos dos pletinas por tubo, éstas tienen forma de orejas con agujeros propias para amarrar los tensores, todas están empernadas suavemente no ajustadas, luego se llena los espacios vacíos con las columnas faltantes. Se procede de igual forma con las columnas exteriores, con la única diferencia de antes de su montaje, ya debe haberse instalado el castillo interior (polígono hecho con perfiles) compuesto por las vigas.
- Realizando, todo esto se aploman todas las columnas, se revisa que no exista esfuerzos laterales, ni deflexión, ni pandeo; para luego ajustar todos los pernos y soldar los ángulos de las bases al piso del tanque.



Figura A.7. Montaje de columnas-Estructura Auxiliar Soportante

MONTAJE DEL TECHO (CORREAS INTERIORES, INTERMEDIAS, VIGAS, BASES DE VIGAS, CARTELAS INTERIORES Y DISCO CENTRAL).

- Terminado el montaje de las bases y columnas se procede a colocar y soldar el disco central sobre la columna central, de preferencia se deben soldar al menos 3 ménsulas que formen 120° entre ellas soldadas a la pared de la columna y a la parte inferior del disco.
- Los castillos se deben armar en el piso y a nivel, soldando los perfiles uno.
- Con dos montacargas y una grúa, se lo eleva hasta cuadrarlo con las superficies de las columnas. Se recomienda instalar platinas como bases

pequeñas en cada una de las columnas, para que exista un acoplamiento mejor del castillo.



Figura A.8. Montaje del Techo-Estructura Terminada.

- Luego de armar el castillo se procede a montar cada una de las correas, verificando el espaciado uniforme (ángulo de distribución), de cada una de ellas; para subir las correas se puede utilizar un teclee, por no ser tan pesadas como la estructura del castillo. Se debe tener cuidado especial para que no coincida la soldadura de unión de las vigas con el asentamiento de las correas.
- En tanques de 2 castillos, el proceso es análogo, con la diferencia que primero se montará el primer castillo con sus columnas, y luego las columnas exteriores para montar el otro castillo, concluido esto se debe aplomar otra vez las columnas, verificar el empernado y comprobar que la soldadura de los ángulos de las bases de las columnas no hayan efectuado algún tipo de desplazamiento, (Figura A.8).

MONTAJE DE LOS ANILLOS DE LA ENVOLVENTE DEL CUERPO.



Figura A.9. Montaje del Cuerpo-Estructura Terminada.

Concluido el montaje de la estructura soportante del techo se procede a la instalación del cuerpo del tanque, antes de estos las planchas deben haber pasado por los procesos de fabricación, tales como rolado, escuadrado y fileteado para una mejor penetración en el cordón de soldadura. El proceso que se indica a continuación es el más empleado entre los fabricantes:

- Con la ayuda de un montacargas o una grúa de colocan cada una de las placas solidarias al piso del tanque, (Figura A.9), de forma que coincidan con los trazados anteriormente realizados. Se sueldan una a una debe teniendo cuidado especial con las placas y en particular las del fondo; la penetración del cordón de soldadura debe ser la necesaria para evitar cualquier falla por presión cuando el tanque este lleno.
- Soldado el primer anillo (conjunto de placas roladas que forman el contorno del tanque), se procede a soldar el siguiente anillo, la Figura A.10. Se observa en el momento que se montan y sueldan las placas de un anillo superior.



Figura A.10. Montaje de las Placas- Colocación y Ajuste.

La soldadura de la base del tanque con la pared lateral se deberá iniciar antes de que se termine de ejecutar todas las juntas soldadas entre placas de la base del tanque, con el objeto de compensar el efecto de contracción que se hubiera generado en la base del tanque y, por lo tanto, lograr un asentamiento adecuado. La pared lateral puede ser asentarse y alinearse utilizando elementos de sujeción, a la base del tanque mediante soldadura de filete intermitente, antes de proceder a ejecutar el depósito continuo de soldadura que unirá la pared lateral

MONTAJE DE LAS CARTELAS EXTERIORES. (UNIÓN ENTRE CUERPO Y ESTRUCTURA SOPORTANTE DEL TECHO CORREAS EXTERIORES)



Figura A.11. Montaje de Cartelas- Unión Estructura-Envolvente Tanque.

Terminado el montaje de la estructura soportante y del cuerpo del tanque se procede a colocar las cartelas (elementos de unión estructura-cuerpo), para ello, se debe realizar lo siguiente:

- Armar los andamios para alcanzar una altura hasta el nivel del anillo superior, en el cual se instalarán las cartelas, distribuidas uniformemente, (Figura A.11)
- Trazar los puntos medios donde se ubicaran las cartelas en la superficie del anillo último.
- Instaladas y soldadas las cartelas se procede a montar las correas exteriores sujetadas con un pasador o perno en la cartela y asentada en el castillo exterior, para esto se necesita una grúa de mayor altura que el tanque y teclee sujetos a los castillos de implantación. La soldadura de las cartelas se la debe hacer por los dos lados laterales y por debajo en filete.

MONTAJE DEL ANILLO O ÁNGULO DE RIGIDEZ.



Figura A.12. Montaje del Anillo de Rigidez.

Previamente, establecido el tipo de ángulo que se utilizará, y realizado los procesos de fabricación de rolado y barolado, se procede a montar la viga de rigidez, la misma que se forma por la unión de las longitudes de los ángulos seleccionados y soldados uno tras de otros;(Figura A.12), todas las piezas se arman en tierra y el montaje se lo hace en la parte superior del anillo último y de las cartelas, con el fin de evitar cualquier descuadre en el momento del montaje; porque es indispensable que este anillo quede lo más herméticamente posible, y debe ser lo más circunferencial y concéntrico al último anillo.

El cordón de soldadura debe ser lo más penetrante posible y si es el caso soldar por ambos lados, se utilizará una grúa o teclee para el izaje de estos elementos.

MONTAJE DE LAS PLACAS DEL TECHO.

El montaje de las placas del techo es el de mayor cuidado, debido a que una vez instalado todos los elementos del tanque, si existiese un descuadre o desnivel éstas quedarían tambaleando (ver Figura A.11), por lo que, se recomienda que cada vez que se acabe el montaje de cada uno de los elementos, revisar el ángulo de inclinación del techo y referirse a los puntos de ensamblaje especificado en la norma API 650 mencionados en los capítulos 1 y 2. La soldadura es de tipo filete y se debe empezar por el centro del tanque, aunque es el último espacio en cerrarse. Utilizando grúas o teclé se empieza en las correas interiores dejando el espacio del disco central el mismo que será llenado con una placa plana, las placas del techos solo van asentadas a las correas no soldadas, pero si soldadas entre ellas, luego se empieza con las correas intermedias si existiesen, y finalmente a las correas exteriores y los extremos de estas placas se sueldan a filete al ángulo anillo de rigidez, terminado este literal se coloca y se suelda la placa circular en el centro del tanque terminando así la instalación y montaje total del tanque.

MONTAJE DE LOS ACCESORIOS DEL TANQUE (MANHOLES, BOQUILLAS, ENTRADA A NIVEL, SUMIDEROS).



Figura A.13. Montaje de Accesorios del Tanque.

Los accesorios del tanque, tales como: manhole, boquillas, chapas de refuerzo, manholes del techo, tina de lodos, pernos, bridas, etc.; todos son fabricados, en el taller mecánico, por ello estos tienen tolerancias menores (Figura A.13). Una falla en estos elementos puede ocasionar pérdidas (fugas de líquido almacenado), debido a la presión alta a la que se encuentran. El montaje se realiza de la siguiente manera:

- Primero se realiza el trazado, donde se instalará, y debe ser preciso, para evitar cualquier error en el montaje.
- Mediante soldadura de oxicorte se realizan los cortes, sobre las placas de los anillos y placas del techo, a continuación se pasa moladora o esmeril, para eliminar aristas vivas.
- Con la ayuda de un montacargas o trolley se levantan los accesorios y se colocan en las perforaciones realizadas. Se puede poner empaques si el caso lo amerita, sobre todo es recomendable en boquillas y bridas; se deben ajustar, y soldar con penetración. Instalar las chapas de refuerzo, en bridas y boquillas. Se deben utilizar andamios, para los accesorios que van en la parte superior del tanque o sobre el techo, o se dispone de una grúa. La colocación exige responsabilidad y experiencia en éstos elementos, sobre todo la contratación de soldadores calificados.

ANEXO 4

PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

En la fabricación, erección y construcción de los tanques de almacenamiento se utiliza la soldadura en un 90% de la obra, en la Figura A.14 se observa el momento que obreros utilizan soldadura como medio de unión. A manera de ejemplo, se pueden destacar los siguientes:

- Unión a tope, filete, doble filete, bisel, en la unión de las placas del fondo del piso, cordones en las tres planchas a la vez, de hasta dos pases de material.
- Unión del placa anular, a través de placas de mayor espesor y con geometría diferente.
- Unión de la perfilería que conforma la base de las columnas, es decir la fabricación de las bases a partir de perfiles.
- Unión de perfiles que forman las columnas armadas, a lo largo de su longitud unidos con cordones de hasta dos pases.
- Unión de las placas roladas que forman los anillos, y estos la envolvente del tanque.
- Unión de las ménsulas de soporte, disco central en la columna central, cartelas, correas o cerchas ángulo tope o viga de rigidez.
- Unión de vigas, que conforman los castillos interior y exterior de los tanques.
- Unión de las placas del Techo entre si y unión de las placas del techo y el ángulo tope o viga de rigidez.
- Fabricación de agujeros para accesorios en el tanque, generalmente realizado con soldadura oxiacetilénica (oxicorte).
- Unión de los accesorios al tanque, como manholes, bridas, placas de refuerzo.

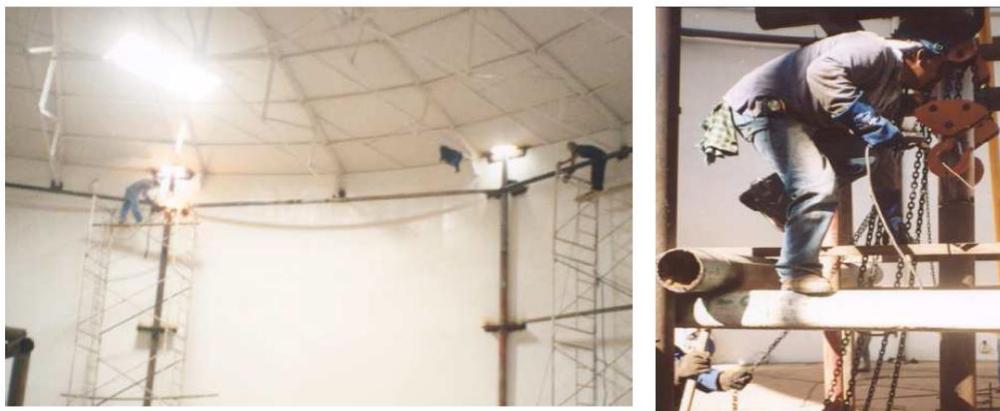


Figura A.14. Unión por soldadura de los elementos que conforman la estructura del tanque.

Para el empleo de soldadura se debe realizar un procedimiento de fabricación que involucra: Diseño y Cálculo de la soldadura, planificación del trabajo, ejecución del Trabajo, control de obra, calificación de soldadores.

CALIFICACIÓN DE SOLDADORES.

Existen 3 formatos principales; WPS, PQR, y WPQ.

- **WPS. “Welding Procedure Specification”-Especificación del Procedimiento de Soldadura.**

Es un formato en el que se detallan las variables necesarias y suficientes para realizar una soldadura. Los datos contenidos en el WPS, deben permitirle al soldador ajustar todos los parámetros de soldadura sin dejar nada a la libre interpretación. Para soldadura brazing se llama BPS.

- **PQR. “Procedure Qualification Record” - Registro del Procedimiento de Calificación.**

Es un formato de respaldo que garantiza que se realizaron todas las pruebas necesarias para verificar que el procedimiento cumple con todos los requisitos.

Todos los WPS deben ser calificados. Algunas de las pruebas más comunes que se solicitan para calificar un procedimiento de soldadura son las siguientes:

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

- INSPECCIÓN VISUAL.
- RAYOS X,
- RAYOS GAMA.
- ULTRASONIDO.
- TINTAS PENETRANTES

ENSAYOS DESTRUCTIVOS

- TENSIÓN
- DOBLADO GUIADO
- NICK-BREAK
- MACROGRAFÍA.

- **WPQ. “Welding Performance Qualification”-Calificación de soldadores**

Es un formato donde se especifican los resultados de las pruebas realizadas a la junta soldada, no para calificar un procedimiento si no para determinar la habilidad de una personal de soldadura es decir soldadores, luego de haber pasado las pruebas visuales destructivas y/o destructivas pertinentes.

El propósito de la de calificación del soldador deberá determinar la habilidad en soldadura de cualquier forma sea esta de cordón, filete, traslapada, a tope, o de posición horizontal, vertical, sobrecabeza, diagonal, etc.

La norma API 650 en la sección 7, “WELDING PROCEDURE AND WELDER QUALIFICATIONS”, considerando las restricciones de la Sección IX del Código de ASME, describe las pruebas y requisitos que presentarán los soldadores a ser evaluados para considerarse aptos para participar directamente en la obra, entre lo que se describe:

- Antes de comenzar las pruebas se le permitirá al soldador un tiempo razonable para ajustar el equipo a utilizar. La calificación de soldadores se realizará en la presencia de un representante calificado de la compañía.
- El material a utilizar en la prueba, debe ser que se empleará en la obra o proceso de fabricación.
- El tipo de técnica a utilizarse, será la adecuada para el trabajo a realizarse y que el soldador este familiarizado con la misma.
- Las juntas y probetas deben prepararse de tal forma que se encuentren libre de grasa, humedad, corrosión, escoria, etc.
- El análisis radiográfico adecuado para la prueba, debe cumplir con los requerimientos del código usado, para la calificación del soldador, y debe ser realizado por una persona calificada para evitar interpretaciones erradas. Un control inadecuado de la habilidad del soldador, puede causar que el soldador no sea calificado, lo que lleva a pérdida de tiempo y dinero tanto para el empleador como para el soldador.
- A cada soldador se le asignará un número o letra “stamp”, es decir una identificación, para su posterior control de la calidad de soldadura.
- La fabricación o el fabricante de la instalación mantendrá un registro de los soldadores, operadores o empleados con la fecha y resultados de las pruebas para cada soldador u operador y su respectiva marca, identificando a cada soldador u operador. Este registro se certificará por la fabricación o fabricante de la erección y será accesible al inspector.

- Los soldadores que se someten a las pruebas de calificación de procedimientos de soldadura y que resulten aprobados, quedarán automáticamente calificados de acuerdo con estos procedimientos y estarán en capacidad de trabajar en labores que requieren de estos procedimientos.
- La calificación del soldador, se mantiene apta para el trabajo, en forma indefinida a menos que incumpla con las siguientes restricciones:
- El soldador no trabaja con el proceso en el que ha sido calificado por un lapso de tiempo de 6 meses. En este caso se requiere de una recalificación.
- Si existiesen motivos o razones específicas, que ponen en duda la habilidad del soldador.
- Si un soldador falla en su examen, éste puede tomar una prueba nueva de acuerdo a:
- Un examen nuevo inmediato consiste en la prueba de dos exámenes sobre cada tipo de procedimiento en que falló. Todas pruebas debe pasarlas caso contrario reprobará otra vez.
- Se realizará una prueba nueva, si el soldador ha tenido un entrenamiento o práctica. En este caso un examen nuevo completo deberá realizarse.

PROCESOS DE SOLDADURA.

De acuerdo a las propiedades, características de soldadura, WPS, y experiencia de fabricantes, se realizará el montaje de la estructura - envolvente, con cualquiera de los siguientes procesos de soldadura:

- Soldadura manual eléctrica por arco con electrodo revestido- **SMAW**.
- Soldadura eléctrica por arco con alambre sólido como electrodo y protección gaseosa- **GMAW**.
- Soldadura eléctrica por arco con alambre tubular como electrodo-**FCAW**.
- Soldadura eléctrica con arco sumergido- **SAW**.
- Soldadura por arco de plasma – **PAW**.

- Soldadura manual eléctrica por arco con electrodo revestido.

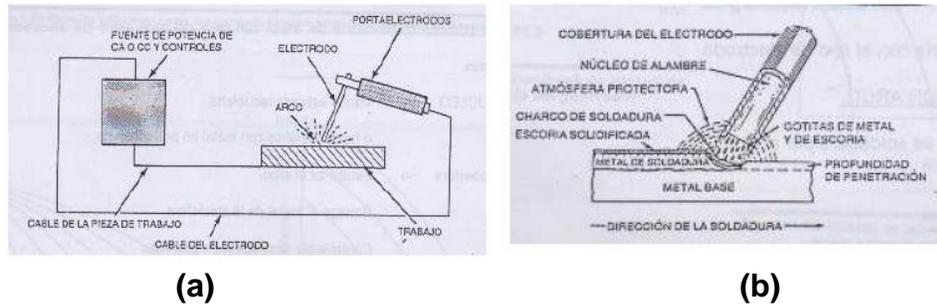


Figura A.15. Soldadura manual eléctrica por arco con electrodo revestido- SMAW. (a).- Elementos del circuito. (b).- Estructura de la soldadura.¹⁶

La soldadura por arco de metal protegido “Shielded Metal Arc Welding SMAW”, (Figura A.15), es un proceso de soldadura por arco en el que se produce coalescencia de metales por medio del calor de un arco eléctrico que se mantiene entre la punta de un electrodo cubierto y la superficie del metal base en la unión que se está soldando. El núcleo del electrodo cubierto es una varilla de metal sólida de material estirado o colado, o bien una varilla fabricada encerrando metal en polvo en una funda metálica. La soldadura se inicia cuando se inicia cuando se enciende un arco eléctrico entre la punta del electrodo y el trabajo. El intenso calor del arco derrite la punta del electrodo y la superficie de trabajo cerca del arco. En la punta del electrodo se forma con rapidez pequeños glóbulos de metal fundido, los cuales se transfieren a través del chorro del arco hasta el charco de soldadura fundida. De esta forma se deposita metal de aporte conforme el electrodo se va consumiendo. Puesto que el arco es uno de los más calientes que producen fuentes de calor por encima de 5000°C, por lo tanto la fusión del metal base se efectúa en forma casi instantánea al iniciarse el arco.

Las funciones principales del recubrimiento del electrodo son estabilizar el arco y proteger al metal derretido de la atmósfera, por medio de los gases que se crean cuando el recubrimiento se descompone por el calor del arco.

El recubrimiento del electrodo cumple con las siguientes funciones:

- Provee gas protector.

¹⁶ VILLACRES MIGUEL, Principios y Control de Soldadura. Departamento de Materiales Ingeniería Mecánica. EPN. Quito, 2004.

- Suministra: limpiadores, desoxidantes, fundentes, purifica la soldadura y evita crecimiento excesivo del grano.
- Establece las características eléctricas del electrodo.
- Proporciona el manto de escoria que protege el metal del medio externo.
- Es el medio para añadir elementos de aleación.

Las ventajas que presenta este proceso de soldadura son las siguientes:

- Equipo simple, portátil y económico
- El electrodo proporciona metal de aporte y protección.
- No se requiere gas auxiliar de protección.
- Es menos sensible al viento o corrientes.
- Se puede utilizar en áreas de acceso limitado.
- Sirve para la mayoría de los metales de uso común.
- **Soldadura eléctrica por arco con alambre sólido como electrodo y protección gaseosa GMAW.**

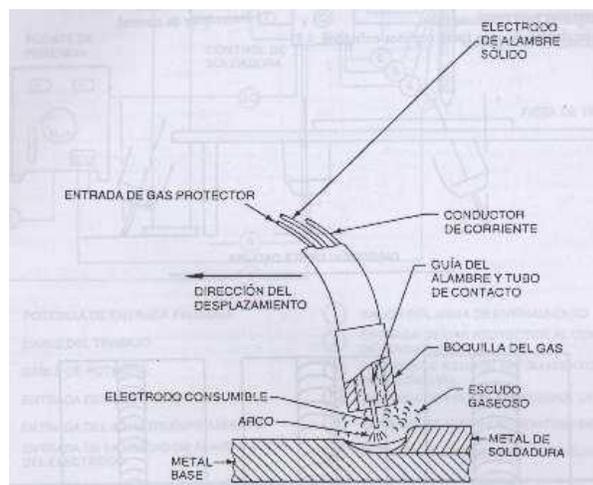


Figura A.16. Soldadura eléctrica por arco con alambre sólido como electrodo y protección gaseosa GMAW. Estructura de la soldadura.¹⁷

¹⁷ VILLACRES MIGUEL, Principios y Control de Soldadura. Departamento de Materiales Ingeniería Mecánica. EPN. Quito, 2004.

El proceso de soldadura eléctrica por arco bajo protección de gas activo con alimentación continua de alambre sólido, “Gas Metal Arc Welding GMAW”, (Figura A.16) es aquel en el cual la unión permanente de las piezas de metal se produce calentando las mismas, hasta su temperatura de fusión, mediante un arco eléctrico producido entre el electrodo que se consume y el metal base. El arco y el metal líquido de la piqueta, están protegidos por una atmósfera gaseosa activa de CO₂, o mezclas de gases donde es más del 60% en volumen. Los mecanismos de transferencia son en cortocircuito, o transferencia en glóbulos, o transferencia por aspersión.

El proceso GMAW se basa en la alimentación automática de un electrodo continuo consumible que se protege mediante un gas de procedencia externa. El proceso se ilustra en la Figura A.17. Una vez que el operador ha hecho los ajustes iniciales, el equipo puede regular automáticamente las características eléctricas del arco. Por todo esto, en efecto, los únicos controles manuales que el soldador requiere para la operación semiautomática son los de velocidad y dirección del desplazamiento, así como también, el posicionamiento de la pistola. Cuando se cuenta con equipo y ajustes apropiados, la longitud del arco y de la corriente, es decir la velocidad de alimentación del alambre, se mantienen automáticamente.

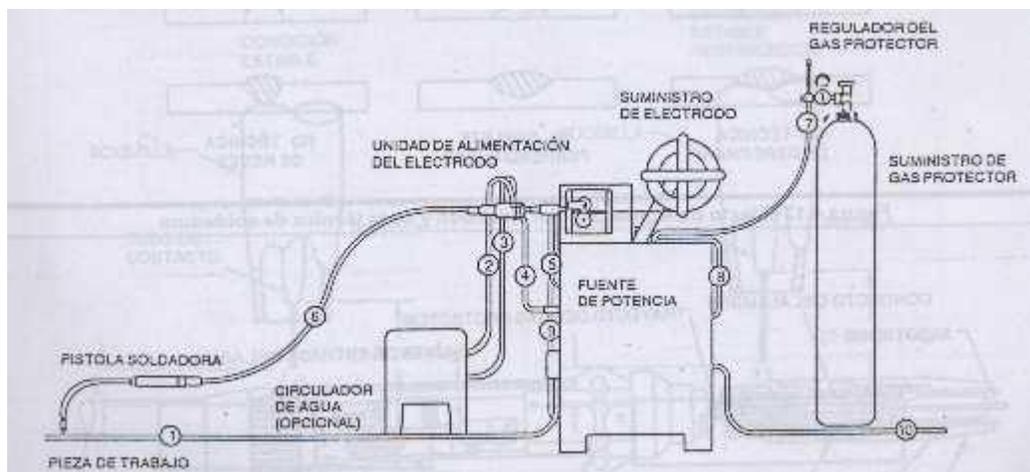


Figura A.17. Diagrama del equipo para soldadura por arco de metal y gas.¹⁸

Este proceso de soldadura es en especial recomendado para soldar:

- Acero al Carbono
- Acero de baja aleación.

¹⁸ VILLACRES MIGUEL, Principios y Control de Soldadura. Departamento de Materiales Ingeniería Mecánica. EPN. Quito, 2004.

- Aceros HSLA.
- Acero Inoxidable.
- Aluminio, Cobre, Titanio.
- Aleaciones de Níquel.

Sirve para soldar en cualquier posición, lo que la hace en una de las de mayor eficiencia y rendimiento. Se presentan a continuación los usos y ventajas de este proceso:

- Único que suelda todos los metales y aleaciones.
 - Es continuo.
 - Se pueda soldar en todas las posiciones.
 - Tasa de depósito muy altas más que SMAW.
 - Velocidad de depósito más altas.
 - Cordones de gran longitud.
 - Con aspersión se obtiene gran penetración, se puede usar cordones más angostos.
 - Casi no requiere limpieza posterior.
 - Asociado con la robótica se vuelve muy versátil.
- **Soldadura eléctrica por arco con alambre tubular como electrodo.**

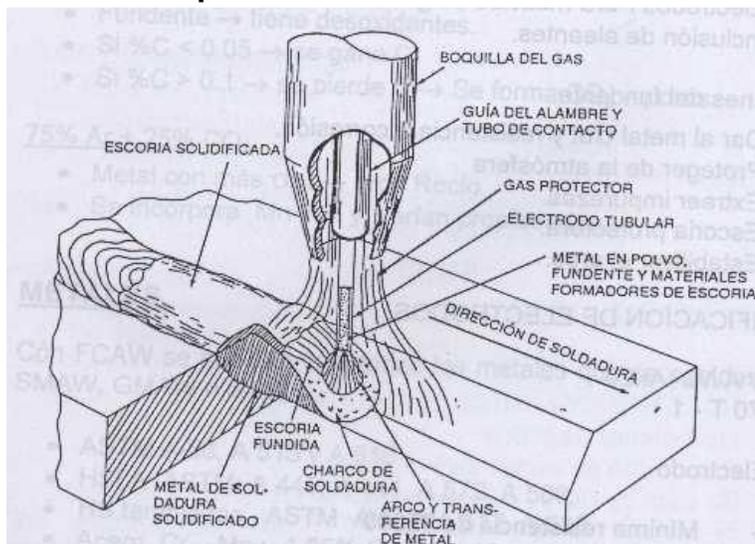


Figura A.18. Soldadura eléctrica por arco con alambre tubular como electrodo FCAW¹⁹

¹⁹ VILLACRES MIGUEL, Principios y Control de Soldadura. Departamento de Materiales Ingeniería Mecánica. EPN. Quito, 2004.

El proceso de soldadura eléctrica por arco con alimentación continua de electrodo tubular, “Flux Core Arc Welding FCAW”, (Figura A.18), es aquel en el cual la unión permanente de las piezas de metal se realiza calentando las mismas, hasta la temperatura de fusión, con un arco eléctrico producido entre el electrodo tubular y el metal base.

Los electrodos tubulares, poseen en su interior un fundente, el mismo que contiene ingredientes que sirven para: proteger y desoxidar el metal fundido, genera gases protectores del arco y producir escoria protectora; poseen además refinadores del tamaño de grano del depósito de soldadura y en algunos casos contiene elementos de aleación ver Figura A.19. En la protección del arco y del metal líquido (pileta), puede usarse adicionalmente una protección exterior de gas activo CO₂ o mezcla de otros gases activos para producir mayor penetración en la soldadura.

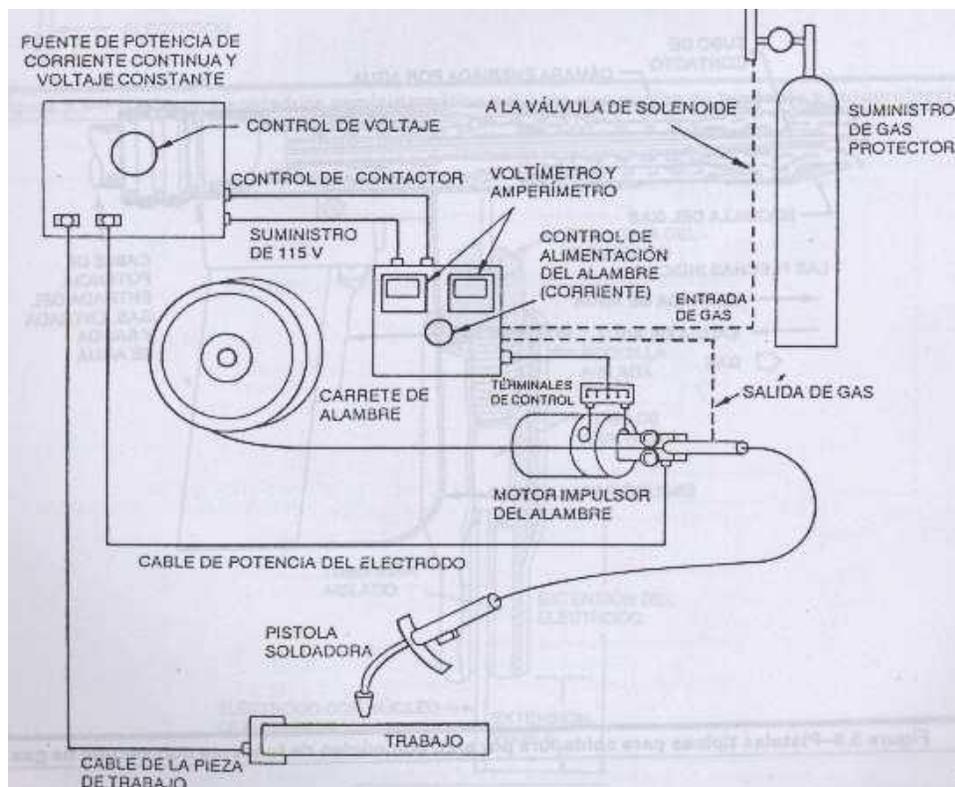


Figura A.19. Equipo típico para soldadura FCAW²⁰

²⁰ VILLACRES MIGUEL, Principios y Control de Soldadura. Departamento de Materiales Ingeniería Mecánica. EPN. Quito, 2004.

El proceso FCAW presenta beneficios cuando se combinan las tres características siguientes:

- La productividad de la soldadura de alambre continuo.
 - Las cualidades metalúrgicas que pueden derivarse de un fundente.
 - Una escoria que sustenta y moldea la franja de soldadura.
 - El proceso FCAW combina características de la soldadura por arco de metal protegido SMAW, la soldadura por arco de metal y gas GMAW, y la soldadura por arco sumergido SAW. Presenta las siguientes ventajas:
 - Con FCAW, se sueldan casi todos los metales que se sueldan con SMAW; GMAW; SAW.
 - Materiales de bajo costo, gran penetración, Transferencia globular y rocío.
 - Es el más preferido, es más tolerante a las corrientes de aire.,
 - Extensión del electrodo de 19 a 95 mm. fuera de la boquilla y para soldar láminas delgadas se necesita poco calentamiento.
 - Soldaduras angostas de gran penetración.
 - Es más económico en volúmenes, poco problema de escoria como GMAW.
 - Tasas de depósito elevadas, menor desperdicio.
- **Soldadura eléctrica con arco sumergido- SAW.**

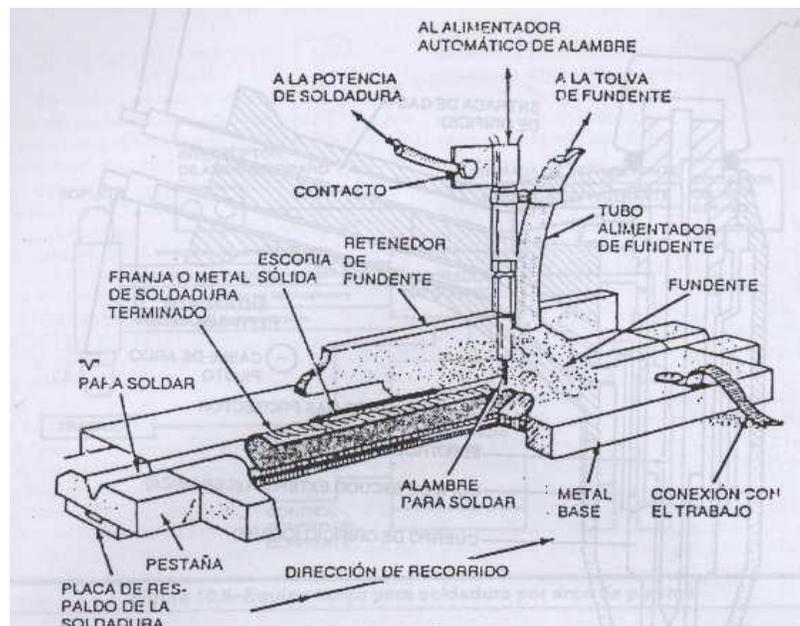


Figura A.20. Esquema del proceso de soldadura por arco sumergido SAW.²¹

²¹ VILLACRES MIGUEL, Principios y Control de Soldadura. Departamento de Materiales Ingeniería Mecánica. EPN. Quito, 2004.

La soldadura eléctrica por arco sumergido, “Submerged Arc Welding SAW”, (Figura A.20), es un proceso mediante el cual la unión permanente de las piezas metálicas se logra por el calor generado por un arco voltaico producido entre el metal base y un alambre electrodo sólido. La zona de soldadura está protegida por un material fundente granulado llamado FLUX, que se acumula sobre el arco y el cordón formado y rodea completamente el extremo del electrodo.

Este proceso de soldadura por sus características operativas estaba limitado a la posición plana, pero actualmente se cuenta con dispositivos y accesorios que permiten soldar en otras posiciones. El fundente al llegar al estado líquido no produce humo ni chispas; como se puede ver el arco no es necesaria mayor protección para los ojos sino únicamente gafas de seguridad transparente.

La soldadura por arco sumergido se usa para producir soldadura de surco, de filete, de tapón y de recubrimientos. Las de surco por lo regular se realizan en la posición plana, y las de filete, en las posiciones planas y horizontales.

La razón es que es más fácil contener el charco de soldadura y la capa de fundente en estas posiciones. Sin embargo, existen técnicas sencillas para producir soldaduras de surco en la posición horizontal. Es posible lograr buenas soldaduras por arco sumergido pendiente abajo con ángulos de hasta 15 grados respecto a la horizontal: el recubrimiento y las soldaduras de tapón se realizan en la posición plana.

Las soldaduras efectuadas con este proceso se pueden clasificar con respecto a lo siguiente:

- Tipo de unión.
- Tipo de surco.
- Método de soldadura (semiautomático o mecanizado):
- Posición de soldadura (plana u horizontal).
- Deposición con una o varias pasadas.
- Operación con uno o varios electrodos.
- Una o varias fuentes de potencia, en serie, en paralelo o con conexiones individuales.

- Soldadura por arco de plasma – PAW.

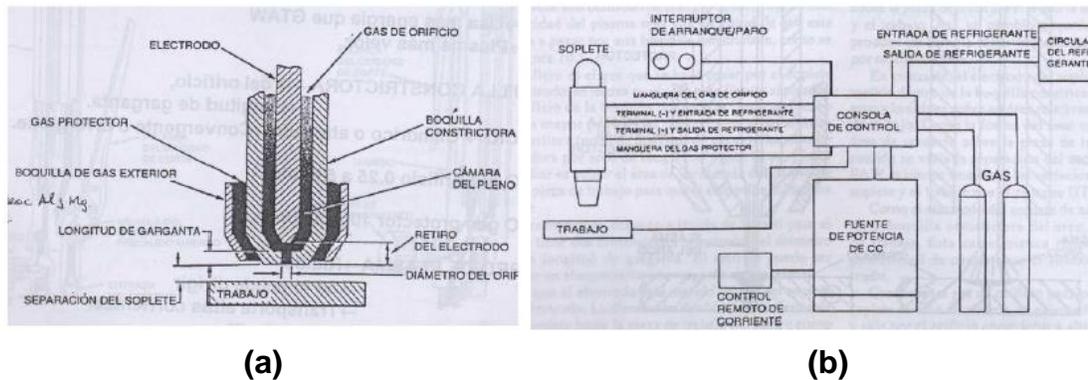


Figura A.21. Soldadura por arco de plasma – PAW. (a).- Terminología de los sopletes de arco de plasma. (b).- Esquema típico para soldadura por arco de plasma.²²

La soldadura por arco de plasma es básicamente una extensión del proceso de soldadura por arco de tungsteno y gas GTAW, pero tiene una densidad de energía de arco mucho más alta y una velocidad del plasma más alta en virtud de este último se obliga a pasar por una boquilla constrictora, como se aprecia en la Figura A.21

El gas de orificio es el gas que se hace pasar por el soplete rodeando al electrodo; se ioniza en el arco para formar el plasma, y sale por el orificio de la boquilla del soplete como un chorro de plasma. En la mayor parte de las operaciones, se suministra gas protector auxiliar a través de una copa de gas exterior, similar a la de la soldadura por arco de tungsteno y gas. El propósito de este gas auxiliar es cubrir el área de incidencia del chorro de plasma sobre la pieza de trabajo para que el charco de soldadura no se contamine.

Debido a que electrodo del soplete de arco de plasma está metido en la boquilla constrictora del arco, no puede tocar la pieza de trabajo. Esta característica reduce considerablemente la posibilidad de contaminar la soldadura con metal del electrodo.

Conforme el gas de orificio pasa por la cámara de pleno del soplete de arco de plasma, es calentado por el arco, se expande, y sale por el orificio constrictor a alta velocidad. Dado que un chorro de gas demasiado fuerte puede causar

²² VILLACRES MIGUEL, Principios y Control de Soldadura. Departamento de Materiales Ingeniería Mecánica. EPN. Quito, 2004.

turbulencia en el charco de soldadura, las tasas de flujo de gas por el orificio generalmente se mantienen dentro del intervalo de 0.25 a 5 L/min. (0.5 a 10 pies³/h). En general, el gas de orificio por sí solo no basta para proteger el charco de soldadura contra la contaminación por gases atmosféricos. Por lo tanto hay que suministrar gas protector auxiliar a través de una boquilla exterior. Las tasas de flujo de gas protector típicas son del orden de 10 a 30 L/min (20 a 60 pies³/h).

Entre las características y propiedades de este proceso tenemos:

- Se basa en la utilización de un arco constreñido.
- Utiliza plasma que es gas a altas temperaturas ionizado, que se rodea por un gas protector, que puede ser inerte.
- Se puede añadir o no metal.
- Utiliza electrodo no consumible.
- El gas se calienta en una cámara por el arco, llega a alta temperatura, se ioniza y conduce la electricidad.
- Se tiene mejor control direccional del arco.
- Se puede tener haces estrechos aun variando la longitud.
- Costo elevado del equipo y control de muchas variables (desventaja).
- Usa más energía que GTAW, el plasma es más veloz.

ANEXO 5

INSPECCIÓN DE SOLDADURA.

La compañía debe tener el derecho de inspeccionar todas las soldaduras por medios no destructivos o destructivos para realizarles pruebas mecánicas. La inspección puede ser hecha durante la soldadura o cuando esta haya sido terminada. La frecuencia de inspección debe ser dada por la compañía.

INSPECCIÓN VISUAL.

La inspección visual es la mejor forma de inspección dentro de los Ensayos no Destructivos E.N.D., estos ensayos consisten en radiografías u otros métodos especificados por la compañía del comprador. Los ensayos no destructivos consisten en radiografías u otros métodos especificados por la compañía. El método usado debe permitir indicaciones de imperfecciones que puedan ser interpretadas y evaluadas.

Las pruebas destructivas pueden consistir en el removimiento total de la soldadura, seccionamiento de la soldadura en muestra y la examinación de estas. Las muestras deben ser preparadas para que se ajusten a las necesidades del diseño. La compañía del fabricante tiene el derecho de aceptar o rechazar cualquier soldadura que no cumpla con los requerimientos del método por el cual está siendo inspeccionado. El trabajador que haga una soldadura que sea descalificada, es descalificado para futuros trabajos.

La inspección de la soldadura debe darse antes de la soldadura, durante la soldadura de la soldadura, y después de la soldadura.

Antes de la soldadura se debe examinar que los materiales, los mismos que deben cumplir con las especificaciones de Diseño, montaje, que las partes en contacto a soldar se encuentren libres de grasa, pintura aceite, óxido que son perjudiciales para efectuar una buena soldadura, deben ser removidos.

Durante la soldadura debe darse, prioridad al alineamiento de las juntas, la perpendicularidad de las mismas, evitar la acumulación escoria, para lo cual se la debe remover con cepillos metálicos, que la profundidad del, cordón de soldadura sea la eficiente, que el tipo de soldadura sea el mismo al principio como al final del cordón es decir si es de cordón, ondeada, de filete, de tapón o de ranura,

análogamente los movimiento del depósito de metal de aporte en forma ondeada circular, ondeada en cuadros, ondeada en zigzag.

Los criterios más comunes de aceptación de una buena soldadura son los siguientes:

- No deben observarse figurasen los cráteres, ni ningún otro tipo de fisuras superficiales.
- La profundidad de las mordeduras no pueden exceder los límites establecidos anteriormente para juntas soldadas a tope vertical y horizontal.
- La presencia de poros superficiales no podrá ser mayor aún en cada tramo de 4'' (101.6 mm) de longitud de soldadura y el diámetro de cada poro o grupo no podrá ser mayor a 3/32'' (2.4 mm). Las soldaduras que exceden los límites establecidos para el examen visual deben ser reparadas antes de implementar la prueba hidrostática.
- Los defectos de la soldadura serán removidos por medios mecánicos o corte térmico.
- Si el espesor de los depósitos es menor que el previsto por el diseño, se requiere efectuar un refuerzo adicional.
- La soldadura reparada deberá ser examinada visualmente nuevamente para detectar posibles defectos en la superficie.

REPARACIÓN EN LAS JUNTAS SOLDADAS.

El comprador debe tener el derecho a inspeccionar todas las soldaduras por medio de métodos no destructivos y destructivos sometiénolas a pruebas metalúrgicas y mecánicas.

Si algún de los parámetros se desvía más allá de las tolerancias especificadas en la especificación de la producción, la soldadura debe ser inaceptable. Si la tabla de registro es observada como inaceptable después de que el soldeo haya sido terminado, la junta debe ser rechazada y removida del cordón.

Las siguientes reparaciones son permitidas:

- Defectos de superficie pueden ser removidos por medio de esmeriladora, al menos que el mínimo grosor de la pared de la tubería no sea infringido.
- Fugas provenientes de presencia de poros pueden ser reparadas depositando metal de soldadura sobre el defecto, para cambiarlo.
- Todo efecto de soldadura será evaluado por el inspector de soldadura, así como el procedimiento para su eliminación y reparación, es decir un nuevo depósito de soldadura.
- Los otros defectos como fisuras serán reparados, extrayendo primeramente el material que contiene el defecto y luego recuperar el material extraído volviendo a soldar. La extracción de material puede hacerse por uno de los lados de la junta, usando algún medio mecánico como moladora, sierra, taladro.
- Toda reparación deberá ser extraída nuevamente con los mismos métodos usados originalmente y que permitieron detectar el defecto.

ANEXO 6

LIMPIEZA DE TANQUES DE ACERO ANTES DE APLICACIÓN DE PINTURA Y PRODUCTOS ANALOGOS

La eficacia de los recubrimientos protectores de pintura y productos similares aplicados al acero, se ve significativamente afectada por el estado de la superficie del acero en el momento previo a ser pintado. Los principales factores conocidos que influyen en contra esta eficacia son:

- a. La presencia de óxido y cascarilla de laminación
- b. La presencia de contaminantes de la superficie, tales como sales, polvo, aceites y grasas.
- c. El contorno de la superficie.

GRADOS DE ÓXIDO.

Se especifican cuatro grados de óxido, denominados A, B, C y D, respectivamente. Estos grados vienen definidos por descripciones escritas junto con ejemplos fotográficos representativos.

A.- Superficie de acero recubierta en gran medida por cascarilla de laminación adherida, pero con poco o nada de óxido.



Figura A.22. Grado de óxido A.

B.- Superficie de acero con óxido incipiente y de la que ha empezado a exfoliarse la cascarilla de laminación.



Figura A.23. Grado de óxido B.

C.- Superficie de acero cuya cascarilla de laminación ha desaparecido por acción el óxido, o que puede eliminarse raspando, pero con algunas picaduras visibles a simple vista.



Figura A.24. Grado de óxido C.

D.- Superficie de acero cuya cascarilla de laminación ha desaparecido por acción del óxido y en las que se ven a simple vista numerosas picaduras.



Figura A.25. Grado de óxido D.

PREPARACIÓN DE SUPERFICIES METÁLICAS.

Una adecuada preparación garantiza el buen desempeño del recubrimiento aplicado. El estándar principal referente a preparación de superficie es el SSPC “**STEEL STRUCTURES PAINTING COUNCIL**”.

El Acuerdo de Pintura para Estructuras Metálicas. El cual establece los siguientes parámetros:²³

- SSPC-SP-1. Limpieza con disolventes.
- SSPC-SP-2. Limpieza Manual.
- SSPC-SP-3. Limpieza mecánica / SSPC-SP-11.
- SSPC-SP-5. Chorro Abrasivo a metal blanco.
- SSPC-SP-6. Chorro Abrasivo Comercial.
- SSPC-SP-7. Chorreado Rápido.
- SSPC-SP-8. Decapado o Limpieza Química.
- SSPC-SP-10. Chorreado a metal casi blanco.
- SSPC-SP-12. UHP Water Jetting.

1.- SP-1. Limpieza con Solventes.

Este método es usado para remover aceites, grasas y otros contaminantes usando solventes, vapor, emulsiones o compuestos limpiadores. No es un método satisfactorio de preparación de superficie, debido a que no remueve óxido, escama de laminación o residuos de recubrimientos.

2.- SP-2. Limpieza con Herramienta Manual.

Esta se lleva a cabo generalmente para remover y eliminar pintura, óxido y escama de laminación que no estén firmemente adheridos.

3.- SP-3. Limpieza con Herramienta de Fuerza Mecánica

Remoción de óxido, calamina y pintura sueltos mediante cepillo o pulidora.

²³ STEEL STRUCTURES PAINTING COUNCIL, Surface Preparation Specifications (SSPC-SP, 2, 3, 5, 6, 7, 10). USA.

4.- SP-5. Limpieza a Metal Blanco. (Recomendada para tanques)

El 100% de la superficie deberá estar libre de grasa, aceite, polvo, óxido, escama de laminación, recubrimiento viejo o cualquier otro contaminante. El acabado presenta un color gris claro uniforme y variará según el abrasivo usado.

5.- SP-6. Limpieza Comercial. (Recomendada para tanques)

La superficie deberá estar libre de grasa, aceite, polvo, óxido, escama de laminación, recubrimiento viejo o cualquier otro contaminante. El acabado presenta ligeras manchas, vetas y decoloraciones en no más del 33%. Si la superficie está picada pueden presentarse residuos de óxido y recubrimiento viejo.

6.- SP-7. Limpieza a ráfaga, (brush off).

La superficie deberá estar libre de grasa, aceite, polvo, óxido flojo, escama de laminación floja, recubrimiento flojo, excepto que el óxido, escama de laminación y recubrimientos adheridos pueden permanecer en la superficie.

7.- SP-8. Decapado o limpieza química.

Remoción completa de óxido y calamina por la acción de un ácido decapado dúplex o decapado electrolítico.

8.- SP-10. Limpieza cerca a Metal Blanco.

La superficie deberá estar libre de grasa, aceite, polvo, óxido, escama de laminación, recubrimiento viejo o cualquier otro contaminante. El acabado presenta ligeras manchas, vetas y decoloraciones en no más del 5%.

Todas las superficies a ser revestidas deben ser limpiadas con chorro de arena (sandblasting) de acuerdo con la especificación de las superficies del SSPC-SP5 y SSPCSP6, SSPC-SP10 de acuerdo con el sistema de revestido a ser aplicado.

Aquellas irregularidades de fabricación, montaje, protuberancia de soldaduras, rebabas y secciones cortantes o puntiagudas y sustancias contaminantes tales como: aceites grasas, se deben estrictamente removidas antes de la limpieza.

LIMPIEZA CON CHORRO DE ARENA. (SANDBLASTING Y WET SANDBLASTING).

La utilización de chorros de arena, son volúmenes de arena impulsados por aire o vapor a presión, mediante un aspirador o bomba y que debido al rozamiento (generalmente seco), remueve las películas de óxido, presentes en un metal, es una técnica importante en la limpieza y pulido de superficies metálicas rugosas.

La limpieza de chorro de arena se clasifica en dos procesos:

- **Sandblasting.**- Es la limpieza con chorros de arena seca a presión.
- **Wet-Sandblasting.**- Limpieza con chorros de arena, más agua impulsada a presión por una bomba.

Los dos procesos son similares con la diferencia que el Wet-Sandblasting, que este adicionalmente de los elementos del sandblasting utiliza, agua impulsada por una bomba y una boquilla para una pistola especial de este proceso. Figuras 3.26 y 3.27.

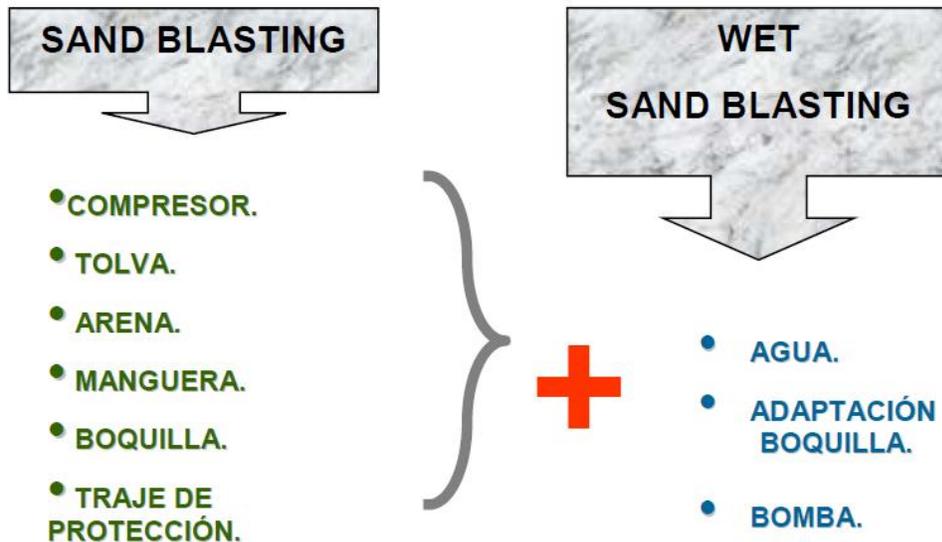


Figura A.26. Descripción de los Procesos de Limpieza con chorro de arena. Sandblasting y Wet-Sandblasting



SANDBLASTING

WET- SANDBLASTING

Figura A.27. Limpieza con chorro de arena. Sandblasting (torbellinos de polvo) y Wet- Sandblasting (agua a presión)

Este proceso se lo debe realizar, en días sin lluvias, viento o neblina, debido a la cantidad de polvo, y arena que se utiliza (torbellinos de polvo), todas las superficies deben estar limpias de grasas y aceites, las superficies deben estar esmeriladas. No se recomienda realizar se en áreas cercanas a las operaciones de pintura o cerca de áreas susceptibles a contaminación.

La arena utilizada para este proceso debe estar seca, con un Ph neutro material de silicio duro y configuración angular, libre de basura, arcilla y materiales extraños a la misma. La arena debe tener entre *0.5 a 2 % de dióxido de silicio cristalino en peso*, caso contrario será rechazada por causar daños perjudiciales a la salud del operador.

La inspección técnica de limpieza debe ser al instante de acabado el proceso o más tardar a las 18 horas de haber concluido la limpieza.

CATEGORIAS DE LIMPIEZA

- **DHP1: (LIMPIEZA SUAVE).** Remoción de aceite, grasa, concreto, pintura vieja. Pobremente adherida, lodo, óxidos y calamina no adherida. Las superficies así tratadas podrían tener presencia de recubrimiento viejo.
- **DHP2: (LIMPIEZA MEDIA)** Remoción de aceite, grasa, concreto, pintura vieja Pobremente adherida, lodo, óxidos y calamina no adherida. Hasta un 70% del total de la Superficie puede estar cubierto parcialmente con recubrimiento viejo, y el 30% de la Superficie tratada se limpia hasta metal desnudo.

· **DHP3: (LIMPIEZA A FONDO)** Remoción de aceite, grasa, concreto, pintura vieja pobremente adherida, lodo, óxidos y calamina no adherida. Hasta un 70% del total de la Superficie puede estar cubierto parcialmente con recubrimiento viejo, y el 30% de la Superficie tratada se limpia hasta metal desnudo. Existen trazas de pintura remanente Dispersas al azar.

· **DHP4: (LIMPIEZA A METAL DESNUDO)** Remoción de aceite, grasa, concreto, pintura vieja pobremente adherida, lodo, óxido, calamina no adherida y materiales extraños. El acero desnudo muestra un acabado uniforme con la apariencia del metal original.

ESCALA DE ESTADOS DE OXIDOS LUEGO DE LA LIMPIEZA.

- **OFO:** Estado de acero desnudo después de la limpieza y operación de secado, sin trazas de óxidos.
- **OF1:** Estado de acero desnudo después de la limpieza y operación de secado, mostrando óxido no en forma de polvillo.
- **OF2:** Estado de acero desnudo, subsiguiente al estado OF1, mostrando la presencia de óxido en forma de polvillo.
- **DW1:** Solo calamina pobremente adherida, óxido y recubrimiento pobremente adherido son removidos. Superficies previamente cubiertas permanecen aún cubiertas con recubrimiento viejo y partes del sistema anterior.
- **DW2:** Calamina pobremente adherida, óxido y partes del recubrimiento pobremente adheridas son removidas. Calamina firmemente adherida todavía está presente. Del recubrimiento viejo, firmemente adherido, solo manchas y grandes áreas con capas individuales aún están presentes. Capas delgadas de recubrimiento sobre superficies previamente blasteadas (limpiadas con arena) predominantemente deben ser removidas.
- **DW3:** Calamina pobremente adherida, óxido y partes del recubrimiento pobremente adheridas son removidas. Calamina firmemente adherida todavía está presente. Del óxido firmemente adherido, solo delgadas capas de óxido oscuro y /o ligeros residuos en los valles de los perfiles se encuentran aún presentes. Del recubrimiento firmemente adheridos, manchas dispersas o pequeñas áreas y residuos en los valles del perfil pueden estar presentes. Capas delgadas de Recubrimiento sobre superficies previamente blasteadas (Shop primers) predominantemente deben ser removidas.

ANEXO 7

APLICACIÓN DE PINTURA EN TANQUES.

Luego de haber realizado la limpieza general de los tanques, se concluye con un recubrimiento de pintura, para evitar la corrosión, en especial la de picadura, debido a la humedad de los vapores producidos por el mismo tanque.

Las pinturas, son líquidos que se solidifican al exponerlos al aire y que se utilizan para cubrir superficies, para decorarlas o protegerlas. Las pinturas se forman mezclando un pigmento (la sustancia que proporciona el color) con un aglutinante que hace de medio fluido, por ejemplo el aceite de linaza, y que se solidifica al contacto con el aire.

Un pigmento para pintura es un polvo fino que o bien refleja toda la luz para producir un efecto blanco, o bien absorbe ciertas longitudes de onda de la luz para producir un efecto coloreado, (Figura A.28). El disolvente o el diluyente para pinturas de aceite secante es generalmente el Thinner (una mezcla de hidrocarburos cíclicos) o una mezcla de hidrocarburos derivados del petróleo que se volatilizan adecuadamente. El disolvente para la mayoría de los aglutinantes sintéticos es un alcohol, una cetona o un éter.



Figura A.28. Descripción de un Recubrimiento de Pintura y Aditivos.

Una fase importante en la manipulación de las pinturas, es tener conocimiento de cada una de ellas, además de su almacenamiento, el mezclado y diluido, aplicación de recubrimientos o pintura, medios para la aplicación, y la inspección técnica final.

ALMACENAMIENTO.

- El depósito o bodega, donde permanecerá los envases de pintura, deben estar secos y fresco, y sobre todo evitar lugares demasiados cálidos. Todos los envases tienen que estar bien cerrados, para evitar derrames, evaporación y cuarteamiento de la pintura.
- Todos los envases deben tener, en su exterior una placa o rotulo, donde se describa: el fabricante, contenidos, fecha de fabricación y caducidad, y las instrucciones de uso, Figura A.29 pintura utiliza para recubrimiento

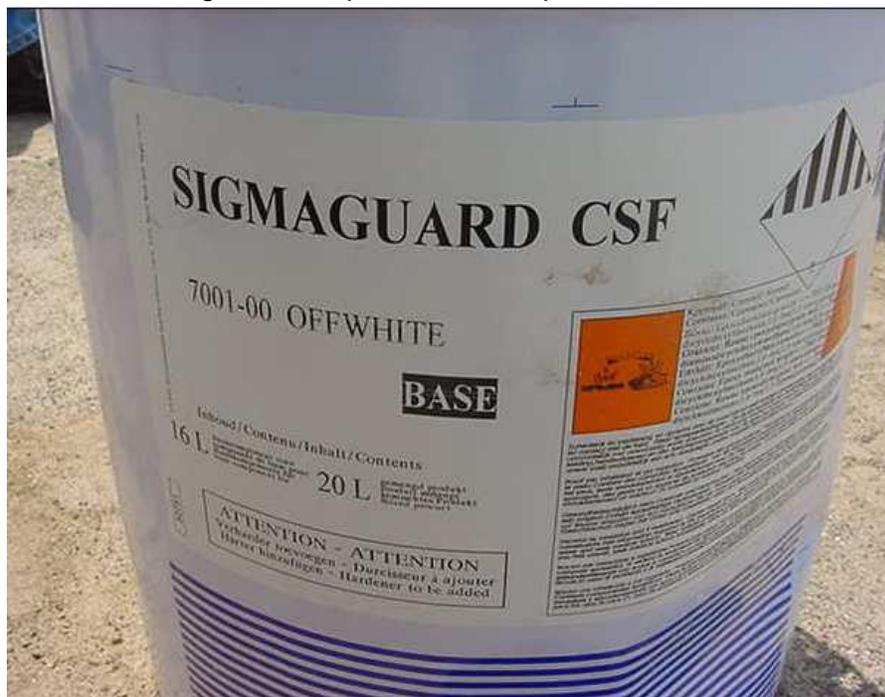


Figura A.29. Placa de Fabricación en Pinturas. Datos: Fecha de Fabricación y Caducidad, Composición Química, Fabricante, Año, etc.

- Cuando se trabaje con pinturas sobrantes, generalmente de una obra anterior, se debe revisar que este bien tapada y cuando se vaya a utilizar, revisar que no esté cuarteada o gelatinado, o cortado o deteriorado, caso contrario esta pintura será rechazada.

- Los parámetros especificados por el fabricante de pintura, deben ser llevados a cabalidad, sobre todo lo referente a diluido y temperaturas máxima de operación.

MEZCLADO- DILUIDO.

- Antes de realizar cualquier operación de mezclado y diluido, se debe buscar un área que este fuera de contaminación y suciedades, casi siempre por la presencia de polvo, que este por lo menos a 50 metros de donde se realiza la limpieza con chorro de arena, además tiene que ser un lugar amplio y abierto, para evitar la asfixia del personal.
- Todo el personal, tiene que tener la protección adecuada (mascarillas), no se debe inhalar, estos productos porque son tóxicos para la salud.
- Los materiales de revestimiento deben ser bien mezclados antes de usarlos para lograr una consistencia suave y uniforme.
- El mezclado debe realizarse con medios mecánicos de alta y media velocidad, (Figura A.30, batidoras, deben estar limpias sin grasa ni aceites), solo se acepta medio manual cuando se para volúmenes iguales o inferiores a un galón (3.785 litros).



Figura A.30. Momento en que se realiza el mezclado por medio de una batidora.

- Si el momento, de realizar el mezclado, se encuentran en los recipientes originales capas sólidas de pintura y flotando sobre la misma, se las debe quitar, es un error grave si se la mezcla.
- Cualquier sustancia que se utilice para la diluir, debe ser acatada a las condiciones del fabricante de la pintura, no se debe exceder a las limitaciones establecidas.
- Generalmente, siempre los fabricantes de pintura recomiendan agregar Thinner, (Figura A.31) para la mezcla pero este solo debe ser agregado si este lo especifica, caso contrario no se debe utilizar.



Figura A.31. Mezclado y Diluido de Pintura. Momento en que se agrega Thinner.

- Cada mano de pintura se debe tener un tiempo de secado recomendado por el fabricante, y se lo debe tolerar antes de proseguir con la siguiente capa de pintura. La pintura fresca debe protegerse evitando que se contamine con el polvo u otras materias extrañas.

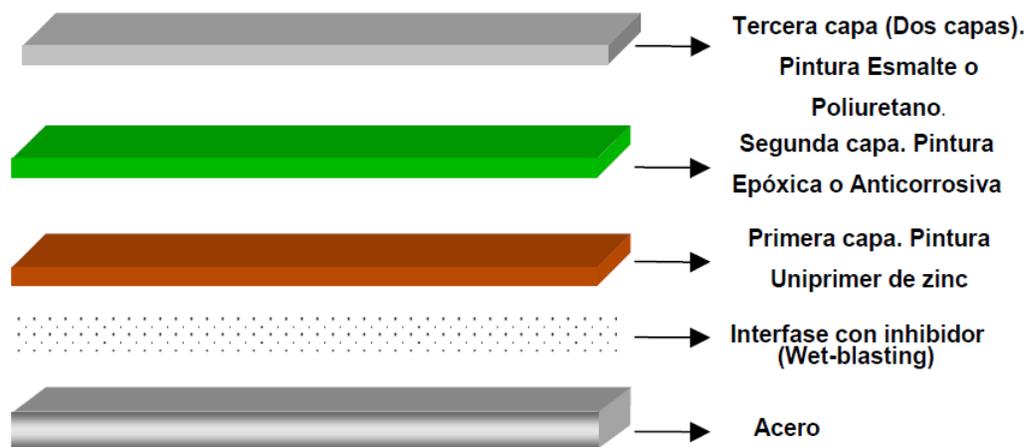
APLICACIÓN DE RECUBRIMENTOS.

La protección anticorrosiva con pinturas es una práctica común en la industria, sin embargo los mecanismos por los cuales las pinturas y especialmente los pigmentos anticorrosivos protegen, son sujeto de estudio constante.

En este trabajo se pretende hacer una revisión de los mecanismos que en este momento son los más aceptados por los técnicos en pinturas anticorrosivas.

La corrosión es un proceso electroquímico de intercambio de energía, en este, el material que inicialmente fue encontrado como oxido en la naturaleza, es reconvertido a su estado inicial.

El recubrimiento de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos, tendrá una estructura de tres capas de aplicación, de acuerdo a la especificación SSPC-SP10, Limpiado casi blanco, como se describe en la siguiente figura:



Nota: 1 mils es equivalente a 1/1000 pulgadas.

- **Características y propiedades de las pinturas.**

Pintura Uniprimer de Zinc orgánico.

- Esta pintura es fabricada para emplearse como promotor de adherencia y caracterizado por su alta resistencia a la corrosión.
- Excelente resistencia a intemperie
- Excelente resistencia a la abrasión

- Excelente resistencia al choque térmico
- Rápido secamiento
- Resistente a las altas humedades relativas
- Elimina cualquier contaminación con agua en producto y líneas

Pintura Epóxica o Anticorrosiva

- Descripción: Resistencia a la intemperie, al agua, ácidos débiles, sales, álcalis, derivados del petróleo, solventes aromáticos y a temperaturas de 120°C en seco y 70 a 90°C en inmersión y en tubería enterrada.
- Usos: Este producto está diseñado para la protección y /o reparación de tanques y estructuras en ambientes de mediana y alta contaminación industrial.
- Alta resistencia a la corrosión.
- Soporta elevadas temperaturas.

Pintura Esmalte poliuretano.

- Previniendo la corrosión bajo la película.
- Protegiendo al sustrato metálico donde hay discontinuidades de la pintura debido al daño mecánico.
- Mejorando la durabilidad del sistema de pintura por unidad de espesor al generar una protección equivalente al menor costo posible.
- Mejorando la durabilidad del sistema de pinturas haciendo los errores de aplicación menos peligrosos.
- Protección exterior del metal y evita la cavitación internamente en el tanque.

MEDIOS DE APLICACIÓN.

Los medios para la aplicación de la pintura se realizarán con brocha o con soplete, además de poseer un recurso técnico, recurso humano y la aplicación de normas.

RECURSO TECNICO	RECURSO HUMANO	APLICACIÓN DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS TECNICOS
<ul style="list-style-type: none"> • Equipos apropiados • Compresor • Líneas de aire, válvulas • Boquillas, bombas • Brochas, rodillos • Equipos de limpieza • Equipos de aplicación • Equipos de caracterización de recubrimientos (campo y laboratorio) • Equipos de monitoreo de condiciones ambientales 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Personal capacitado en el área de aplicación de recubrimientos ▪ Cumplimiento de Normas de Seguridad Industrial. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Normas y Procedimientos ▪ Reportes ▪ Inspección
<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación con Brocha. 		

Las brochas deben ser del tipo y calidad que permitan una aplicación adecuada de la pintura. Las brochas redondas u ovaladas son apropiadas para pintar remaches, pernos, superficies irregulares y acero áspero. Las brochas anchas y planas son apropiadas para pintar áreas planas, pero no deben ser mayores a 5" de ancho. Las pinceladas deben resultar en una mano suave de espesor tan uniforme como sea posible obtener.



Figura A.32. Aplicación de pintura por medio de brocha.

La pintura debe aplicarse en todas las esquinas y cavidades. Debe haber un mínimo de marcas de brocha en la pintura aplicada y en las marcas de pintura corrida o chorreada debe volverse aplicar el proceso.

- **Aplicación con Soplete.**

Todo el equipo de aplicación debe estar en buenas condiciones de funcionamiento, y de acuerdo con lo descrito en las instrucciones del fabricante de pinturas. Los ingredientes de pinturas deben ser mezclados adecuadamente en el recipiente o envase de la pintura durante la aplicación por medio de agitación mecánica continua.

Se debe proveer reguladores de presión y manómetros adecuados para el suministro de aire a la pistola del soplete. El soplete y las presiones de operación deben cumplir con las recomendaciones del fabricante de pinturas.

La pistola del soplete debe mantenerse en ángulo recto con la superficie y cada pasada debe traslapar la pasada anterior en un 50%. Todos los escurrimientos o áreas chorreadas deben corregirse inmediatamente.



Figura A.33. Aplicación de pintura por medio de soplete.

INSPECCIÓN TÉCNICA DE LIMPIEZA Y PINTURA.

Todas las partes del trabajo deben ser de fácil acceso al inspector del cliente. Esta se realizará antes y después de la preparación del material a pintarse. Cualquier superficie que no cumpla con los requerimientos de limpieza y pintura será rechazada. El objetivo de esta inspección es realizar el control de calidad de: preparación de superficie y aplicación de recubrimiento.

- Entregar información y reporte consolidado de actividades y consumo de productos, durante el desarrollo de la obra. Personal involucrado en la actividad: Empresa y contratistas, Lugar A, B, C, etc., Estructuras a recubrir, Descripción: Modelo, matrícula, etc., Tiempo de ejecución, Iniciación, Finalización, Reunión de pre arrancada.
- Inducción de Seguridad Industrial, Revisión de equipos.
- Calificación del personal técnico.
- Pre inspección de las superficies a pintar.
- Inspección de todos los equipos de limpieza y pintura para asegurar su correcto funcionamiento y la producción de aire en la calidad y cantidad requeridas.
- Verificación del cumplimiento de las normas y procedimientos de limpieza y aplicación.
- Inspección de las superficies antes, durante y después de la preparación de superficie: esta inspección también se efectúa para el caso de reparaciones o correcciones de limpieza o pintura.
- Inspección de la operación de mezclado y agitación continua de los componentes del recubrimiento para asegurar una mezcla homogénea y por tanto cumplimiento de los tiempos de vida útil.
- Control de la aplicación, estableciéndose para cada producto aplicado un patrón de rociado, velocidad de aplicación y geometría de aplicación.
- Inspección de la continuidad y espesor de cada capa. Aceptación o rechazo de cada etapa de limpieza o aplicación del recubrimiento.
- Inspección entre capas para verificar contaminación.
- Medición de la temperatura, el punto de rocío y la humedad relativa: 6 registros diarios. Suspensión de las actividades de preparación de superficie y aplicación cuando los valores medidos para la humedad relativa estén por fuera de los parámetros establecidos o cuando se presente inminencia de lluvia.
- Inspección visual para determinar defectos de aplicación.

ANEXO 8

REGLAS GENERALES DE SEGURIDAD INDUSTRIAL

- No se permitirá fumar, ni ingerir bebidas alcohólicas, en ninguna área cercana al lugar en el que se está trabajando.
- En sitios en los cuales la gran concentración de gas o vapor, pudiere presentar peligros de fuego o explosión, deberán usarse herramientas no chispeantes.
- Todos los trabajadores deberán usar casco, botas de seguridad, uniformes, distintivos guantes y adicionalmente protección auditiva y respiratoria de ser necesaria.
- Todo trabajo que se realice a una altura superior a tres metros, sea que se utilicen o no andamios, requiere el uso de cinturón de seguridad.
- Las herramientas, especialmente las eléctricas, así como todo enchufe, cable o conexión deberán mantenerse en perfecto estado.
- Cada vehículo de la Contratista deberá estar dotado de arrestaflama, extintor, botiquín de primeros auxilios. En el transporte de personal es prohibido utilizar volquetes, tractores o vehículos de carga.
- La Contratista, sus trabajadores o sus subcontratistas, no podrán circular en áreas que no corresponden al espacio físico en donde realizan sus trabajos.
- Ningún trabajo podrá ser iniciado por la Contratista si no dispone del correspondiente permiso firmado por la autoridad competente.
- La limpieza diaria del área de trabajo, escombros, desechos, etc., es responsabilidad del Contratista.

ANEXO 9

INSTRUMENTACIÓN DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Los tanques cuentan con accesorios diversos cada uno de los cuales cumple una función específica.

- ✓ **Interruptor por bajo o alto nivel (LSL-LSH).** Estos interruptores tienen la función de parar la bomba que sirve para suministrar la carga de crudo al oleoducto. Su señal puede ser enviada al panel de control.
- ✓ **Alarmas por alto y bajo nivel. (LAL – LAH).** Son instaladas en los tanques para enviar señales de alarma, ya sea al panel de control, una señal sonora o una señal visual.
- ✓ **Transmisor indicador de nivel (LIT).** Transmite una señal de nivel de 4-20 mA al panel de control; además de dar señal de alarma por alto y bajo nivel.
- ✓ **Válvula de presión y vacío (PVV).** Esta válvula tiene la función de proteger el tanque por sobrepresiones y colapsos, manteniendo una presión constante en el tanque. El gas es descargado a la tea de baja presión, para regular la presión interna del tanque.
- ✓ **Transmisor controlador de nivel (LCT).** Su función es controlar el nivel del fluido enviando señales de 4 a 20 mA. Estas señales pueden ser enviadas a un sistema de alarmas o a un panel de control. Para el control del nivel envía la señal eléctrica de 4 a 20 mA a un convertidor I/P, para que este envíe una señal.
- ✓ **Facilidades de aire-espuma.** Se requiere para todos los tanques de techo fijo y en techos flotantes en tanques de más de 150 ft de diámetro.

Líneas de llenado y vaciado

Pueden ingresar a los tanques subterráneos a través de la parte superior de los mismos. Las líneas de llenado deben tener una pendiente hacia al tanque. Los tanques subterráneos deben estar equipados con un dispositivo de llenado hermético para conectar la manguera de llenado al tanque.

Todas las conexiones de llenado deben ubicarse al interior de los linderos de la propiedad y deberán disponer de sistemas de contención de posibles derrames.

MEDICIÓN DE VARIABLES

MEDICIÓN DE TEMPERATURA	
<p>Termómetro bimetalico El monitoreo de temperatura se realiza para garantizar la fluidez del crudo.</p>	
<p>Termopozo Instalado perpendicularmente o a un ángulo de 45 grados a la pared de la tubería, tiene una longitud de inmersión de 2 pulgadas y una distancia máxima de 5 pulgadas desde la pared de la tubería.</p>	
<p>Transmisor de temperatura Normaliza la señal recogida por el sensor, la cual puede ser de corriente, voltaje o presión.</p>	
MEDICIÓN DE NIVEL	
<p>Radar (TDR) Mide el tiempo desde cuando el pulso se ha transmitido, ha viajado, se ha reflejado y ha sido recibido. La mitad de este tiempo es el equivalente a la distancia desde el punto de referencia del dispositivo (la brida del instrumento) hasta la superficie del producto.</p>	
<p>Microonda guiada Genera un impulso de microonda de alta frecuencia guiada a lo largo de un cable o barra de acero. Cuando esta microonda alcanza la superficie del producto, esta es reflejada de regreso y recibida por el procesador electrónico y el tiempo de funcionamiento es procesado por el instrumento.</p>	

<p>Flotador magnético Efectivo método de monitoreo local de niveles de cualquier líquido. Estos pueden ser instalados en el proceso, incluso en condiciones como: baja densidad de fluido, fluidos corrosivos, inflamables, etc.</p>	
<p>Transmisor de nivel Realiza una medición de nivel del producto y genera la señal que posteriormente es transmitida hacia un elemento controlador (PLC) en el cual se podrá realizar las actividades requeridas, que en este caso es controlar y monitorear.</p>	
<p>Switches de nivel La conexión al proceso debe ser bridada de 2" ANSI 150. La conexión eléctrica deberá ser de 1/2" FNPT.</p>	
<p>VÁLVULAS</p>	
<p>Válvulas de presión y vacío La presión siempre debe ser inferior a la máxima que resiste el tanque. Para una mayor presión seleccionada, la cantidad de venteos necesarios es menor y consecuentemente, las pérdidas por evaporación son también menores.</p>	
<p>Válvulas de venteo El sistema de venteo se calculara y diseñara de acuerdo a la norma API 2000 u otra norma reconocida de ingeniería.</p>	
<p>Actuador neumático Puede ser motorizado, hidráulico o neumático. Convierte la energía del aire comprimido en trabajo mecánico por medio de un movimiento lineal que acciona un vástago acoplado a la válvula, la cual permitirá o cortará el flujo del producto a través de la tubería. Este actuador tiene una presión de diseño hasta 140 psig.</p>	

<p>Válvula de control Regula el flujo en la salida del tanque, en función de la señal enviada por el PLC. A diferencia de la válvula de seguridad, ésta realiza una regulación proporcional del flujo en el interior de la tubería gracias a un convertidor-posicionador.</p>	
<p>Posicionador Interpreta la señal eléctrica enviada por el controlador y la transforma en presión de aire, la cual provocará el movimiento del obturador de la válvula.</p>	
<p>Switch de posición Puede ser de varios tipos: magnético, inductivo, mecánico, sensor de proximidad, etc. Cierra un contacto al momento de llegar la válvula de seguridad a su posición final, ya sea esta en apertura o cierre total (OPEN/CLOSE).</p>	
<p>PLC (Programable Logic Controller) Instrumento de procesamiento de señales utilizado para la automatización de procesos, tales como control de maquinaria, procesos industriales, monitoreo u otras. Un PLC está diseñado con múltiples entradas y salidas de tipo analógico y digital básicamente.</p>	
<p>Panel HMI (Human Machine Interface) Dispositivo capaz de mostrar en una interfaz amigable, animaciones que describan el funcionamiento de un determinado proceso.</p>	

CONSIDERACIONES GENERALES PARA VÁLVULAS

El diseño de la válvula de control deberá ser de globo, FULL PORT bridada de cierre hermético unidireccional multivuelta. El cuerpo de la misma deberá ser de acero al carbono, material comúnmente utilizado para este tipo de procesos. Las partes móviles de la válvula que están en contacto directo con el fluido deberá ser de acero inoxidable tipo 316SS, resistente a la corrosión.

El diseño de la válvula de seguridad, deberá ser de bola, FULL PORT bridada de cierre hermético bidireccional y 90° de rotación. El cuerpo de la misma deberá tener las mismas características que la válvula de control, puesto que estará en contacto con el mismo tipo de fluidos.

El actuador neumático de la válvula, posicionador, válvula solenoide, switch de posición y todo elemento que contenga un circuito electrónico o eléctrico, deberá estar contenido dentro de una carcasa a prueba de explosiones y resistente a condiciones ambientales adversas. El tipo de accionamiento del actuador neumático, deberá ser de tipo cilindro de simple efecto y retorno por resorte, cuya presión de operación máxima será de 140 psig.

Las válvulas de seguridad, al igual que los switches de nivel, deberán contar con sistemas de funcionamiento en modo de fallo, es decir que en caso de un eventual error en el suministro de energía del sistema, ruptura en el cable, etc. La válvula pasará a un estado definido como “modo seguro”, lo cual garantizará que no habrá imprevistos.

TIPOS DE INDICADORES USADOS EN TANQUES

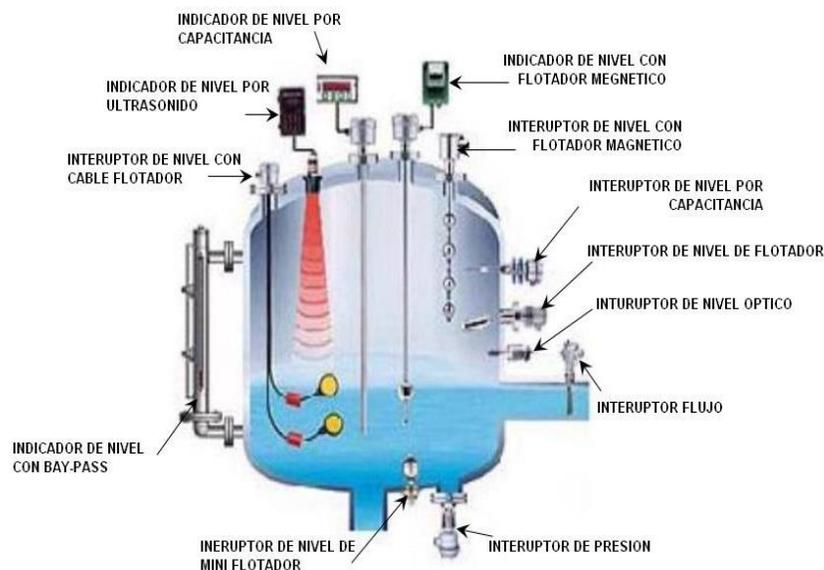


Figura A.34. Tipos de indicadores de nivel usados en tanques.

UBICACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN EN LOS TANQUES

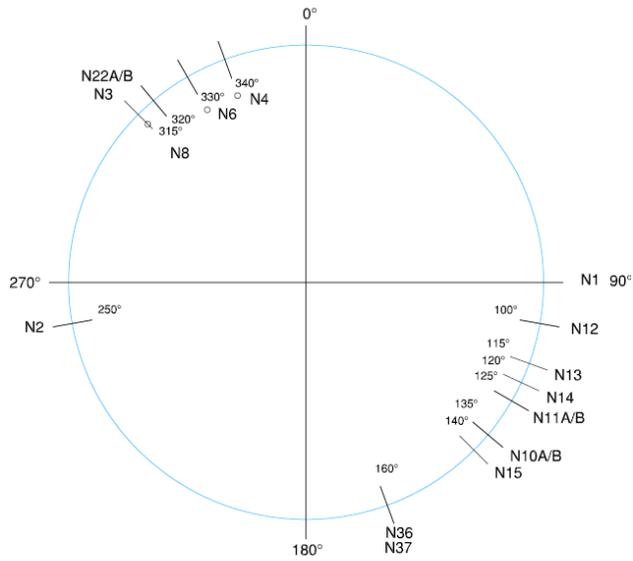


Figura A.35. Vista superior de Ubicación de Instrumentos

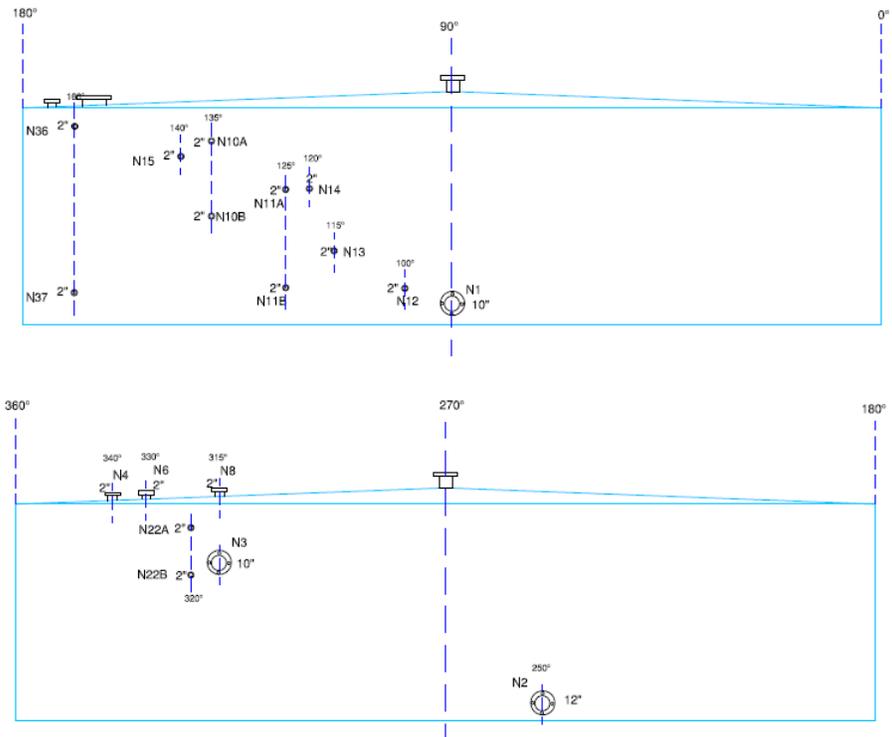


Figura A.36. Vista lateral y ubicación de instrumentos. a) Vista lateral derecha del tanque; b) Vista lateral izquierda del tanque.

Instrumento:

N1: Entrada de fluido.

N2: Salda de agua.

N3: Salida de fluido.

N4: Transmisor indicador de nivel total.

N6: Transmisor indicador de nivel de interfaz.

N8: Transmisor de nivel de salida de crudo.

N10A: Indicador de nivel.

N10B: Indicador de nivel

N11A: Indicador de nivel

N11B: Indicador de nivel

N12: Transmisor de temperatura.

N13: Transmisor de temperatura.

N14: Indicador de temperatura.

N15: Transmisor de temperatura.

N22A: Indicador de nivel (Bandeja).

N22B: Indicador de nivel (Bandeja).

N36: Switch de nivel (Alto – Alto).

N37: Switch de nivel (Bajo – Bajo).

INSTRUMENTACIÓN EN LOS TANQUES DE ACUERDO A SU CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO

Cap. en Bls	Entrada de producto	Salida de producto	Manhole	Muestreo	Ventoe (SCFH)	Drenaje del tanque	Cámara de espuma	Gas de vapor	Número de puertas para limpieza
500	4"	4"	24"	8"	500	4"	1 de 8"	1 de 3" 1 de 3"/4"	1
1000	4"	4"	24"	8"	1000	4"	1 de 8"	1 de 3" 1 de 3"/4"	1
2000	6"	6"	24"	8"	2000	4"	1 de 8"	1 de 3" 1 de 3"/4"	1
3000	6"	6"	24"	8"	3000	4"	1 de 8"	1 de 3" 1 de 3"/4"	1
5000	6"	6"	24"	8"	5000	2 de 4"	1 de 8"	1 de 3" 1 de 3"/4"	1
10000	8"	8"	24"	8"	10000	2 de 4"	1 de 8"	1 de 3" 1 de 3"/4"	1
15000	8"	8"	24"	8"	15000	2 de 4"	1 de 8"	1 de 3" 1 de 3"/4"	1
20000	8"	8"	24"	8"	20000	3 de 4"	1 de 8"	1 de 3" 1 de 3"/4"	1
30000	10"	10"	24"	8"	28000	3 de 4"	1 de 8"	1 de 3" 1 de 3"/4"	1
40000	10"	10"	24"	8"	34000	3 de 4"	1 de 8"	1 de 3" 1 de 3"/4"	1
55000	12"	12"	24"	8"	42000	4 de 4"	1 de 8"	1 de 3" 1 de 3"/4"	2

Tabla A.1. Dimensiones y/o capacidades de la instrumentación del tanque, de acuerdo a su capacidad de almacenamiento.

BLS/DIA	666,000	514,500	345,000	274,400	205,800	137,200	102,900	66,600
GPM	20,000	15,000	10,000	8,000	6,000	4,000	3,000	2,000

DIAMETRO	VELOCIDADES							
12"	56.0	42.0	28.0	23.0	17.0	11.0	8.4	8.5
14	42.0	31.5	21.0	17.0	13.0	8.4	8.4	4.2
16"	32.0	24.0	16.0	18.0	9.7	6.4	4.8	3.2
16"	28.0	19.0	12.5	10.0	7.6	8.0	3.8	2.8
20"	20.0	15.0	10.0	8.0	6.0	4.0	3.0	2.0
24"	14.0	10.	7.0	5.6	4.2	2.8	2.1	1.4
30"	9.0	6.8	4.5	3.6	2.7	1.8	1.4	0.9
36"	6.0	4.5	3.0	2.4	1.8	1.2	0.9	0.6
42"	4.6	3.42	2.3	1.8	1.4	0.9	0.7	0.5
48"	3.5	2.6	1.8	1.4	1.0	0.7	0.5	0.4

Tabla A.2. Velocidad (en ft/s) de entrada de fluido a los tanques, de acuerdo al diámetro de la tubería y al caudal.