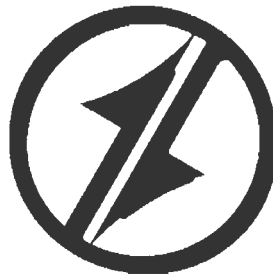


**CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACION
EN MATERIALES**

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



**CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO Y FABRICACIÓN
DE RECIPIENTES A PRESIÓN Y TANQUES
ATMOSFERICOS.**

Por:

MARTHA PAOLA FLORES RAMIREZ

MONOGRAFIA

**EN OPCION COMO ESPECIALISTA EN TECNOLOGÍA
DE LA SOLDADURA INDUSTRIAL**

Saltillo, Coahuila.

Diciembre del 2005

CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



**CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE
RECIPIENTES A PRESION Y TANQUES ATMOSFERICOS.**

POR

MARTHA PAOLA FLORES RAMIREZ

MONOGRAFÍA


**EN OPCION COMO ESPECIALISTA EN TECNOLOGÍA
DE LA SOLDADURA INDUSTRIAL**

SALTILLO, COAHUILA, DICIEMBRE DEL 2005

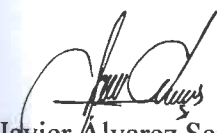
Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C.V.
Gerencia de Desarrollo Humano
División de Estudios de Postgrado

Los miembros del Comité Tutorial recomendamos que la monografía Consideraciones para el Diseño y Fabricación de Recipientes a Presión y Tanques Atmosféricos, realizada por el alumno (a) Martha Paola Flores Ramírez, con número de matrícula 04ES018 sea aceptada para su defensa como Especialista en Tecnología de la Soldadura Industrial.

El Comité Tutorial



Dr. Felipe Arturo Reyes Valdés
Tutor Académico



Ing. Javier Alvarez Sandoval
Tutor en Planta



MC. Gabriel Garcia Cereceros
Asesor



Ing. Claudia Araceli González Rodríguez
Coordinador de Postgrado

INDICE

	Pag
1. Síntesis.	1
2. Objetivo.	2
3. Introducción.	3
4. Antecedentes.	4
4.1 Comités y Sociedades.	5
5. Desarrollo de un proyecto.	8
5.1 Diseño.	8
5.2 Fabricación.	8
6. Diseño Funcional.	11
6.1. Función y operación del recipiente a presión.	11
6.1.1 Capacidad.	12
6.1.2. Ubicación del recipiente.	12
6.1.3 Velocidad de descarga.	12
6.2 Frecuencia de descarga.	14
7. Selección del Material.	16
7.1 Material Almacenado.	16
7.1.1 Otros factores.	16
7.2 Material Base.	18
7.3 Condiciones de servicio.	20
7.3.1 Diferencia de presión y temperatura.	20
7.3.2 Consideraciones de seguridad y ambiente.	20
7.3.3 Amina.	21
7.3.4 Sulfuro de hidrógeno húmedo.	26
7.3.5 Digestores de pulpa y papel.	26
7.3.6 Ciclos térmicos severos.	27
8. Diseño general.	30
8.1 Características generales de diseño.	30
8.2 Características opcionales.	30
8.3 Diámetro máximo y altura.	30
8.4 Factores.	30
9. Detalles de diseño.	35
10. Fabricación e instalación del recipiente.	39

10.1 Método de Soldadura.	39
10.2 Selección del proceso de soldadura.	40
10.3 Requerimientos de instalación.	43
10.4 Fabricación.	46
10.5 Recomendaciones.	48
11. Aseguramiento de Calidad.	49
12. Pruebas No Destructivas.	51
12.1 Inspección por láser.	52
12.2 Inspección con Cámara de video.	53
13. Mantenimiento del Recipiente.	54
13.1 Carga del material.	54
13.2 Después de la instalación.	54
13.3 Después del arranque.	54
13.4 Cambios de carga.	55
14. Soluciones para extender la vida de los recipientes.	56
14.1 Caso 1. Ciclos de servicio severo.	56
14.2 Caso 2. Condiciones de servicio de ambientes químicos.	60
15. Conclusiones.	62
16. Bibliografía.	66

1.

SINTESIS

El diseño y fabricación de recipientes a presión ha sido estudiado desde el siglo XVIII, promoviendo las bases para los actuales códigos y normas que rigen el diseño y fabricación para recipientes a presión y tanques atmosféricos.

Sin embargo, existen otras consideraciones importantes que complementan lo establecido por estos códigos y se describen en este documento el cual incluye, antecedentes que dieron fundamento a la creación de códigos y especificaciones, los diversos enfoques (funcional, general y de detalle) para un diseño más completo, referente a la fabricación trata sobre los procesos mas utilizados, bases para establecer un aseguramiento de calidad y pruebas requeridas.

En conjunto con estos puntos se describen ejemplos de errores en diseño y fabricación así como recomendaciones para estos errores.

2.

OBJETIVO

Debido a los errores de diseño y fabricación que comúnmente presentan los recipientes a presión y tanques atmosféricos y a consecuencia de los problemas que ellos arrastran consigo desde: simples reparaciones, hasta fallas catastróficas que involucran elevados costos y lo mas importante vidas humanas, es necesario realizar un estudio con los puntos básicos, no solo de códigos, normas y estándares, sino también prácticos y funcionales, que de manera sencilla proporcionen una guía para el desarrollo correcto en la construcción de un recipiente a presión, y poder reducir en lo posible errores que los trasladarían directamente a un sin numero de fallas simples y complejas.

3.

INTRODUCCION

Lo esencial es conocer una definición sencilla de lo que es un recipiente a presión para establecer las bases de sus alcances generales.

Recipiente a presión es un recipiente que almacena o procesa diferentes materiales, generalmente se encuentran sometidos a presión y a diversas cargas y comprende una extensa gama de diseños.

Debido a la naturaleza de sus condiciones de servicio presenta diversos tipos de fallas que requieren de un programa continuo de mantenimiento preventivo y predictivo, estas fallas en casos extremos pueden ser catastróficas y requerir de un reemplazo.

Se pueden clasificar de acuerdo a su uso (tipo de almacenamiento o tipo de proceso), o a su forma (cilíndrica, esférica, abierta, cerrada).

Además de los gastos que implican, el mantenimiento, reparación o reemplazo, es vital recordar que son equipos propensos a explosiones, incendios, emisiones de sustancias peligrosas por lo que pueden propiciar condiciones inseguras para el personal y en muchos casos para comunidades completas.

De acuerdo a la reseña anterior existen diversas asociaciones con sus respectivos códigos y guías para componentes determinados, sin embargo estas asociaciones no abarcan todos los aspectos necesarios para un desarrollo completo en el diseño y fabricación de los recipientes a presión.

4.

ANTECEDENTES

Para dar inicio a este estudio de los recipientes a presión es necesario remontarse a finales de 1700, aunque fue Leonardo da Vinci el primero en establecer el diseño de un recipiente a presión aproximadamente en 1495.

Sin embargo su auge surge en el siglo XVIII, el cual da pie a la conocida “Revolución Industrial” donde germinan las primeras maquinas de vapor, que básicamente se definen, como maquinas que pueden transformar la energía de vapor de agua en trabajo mecánico, para esos años la presión de las calderas empieza a ser mayor a la atmosférica, esta característica de avance tecnológico también traería problemas en su fabricación.

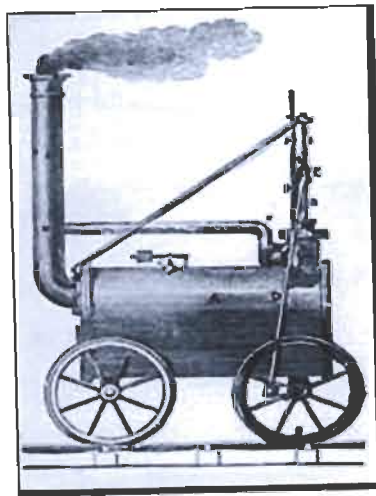


Figura 1. Diseño de una de las primeras maquinas de vapor de la revolución Industrial.

1926. Primeras reglas para recipientes a presión, sección I a la VIII.

1920's. A partir de esta fecha las secciones del código han cambiado de acuerdo a las necesidades de la industria, produciendo divisiones y/o subsecciones de cada sección.

Clasificación del código A.S.M.E.:

Sección I Calderas de Potencia.

Sección II Especificación de Materiales.

Sección III Requisitos generales para División 1 y División 2.

Sección IV Calderas para Calefacción.

Sección V Pruebas no Destructivas.

Sección VI Reglas y Recomendaciones para el cuidado y operación de las calderas de potencia.

Sección VII Guía y recomendaciones para el cuidado de Calderas de Potencia.

Sección VIII Recipientes a Presión.

Sección IX Calificación de Soldadura.

Sección X Recipientes a Presión de Plástico reforzado en fibra de vidrio.

Sección XI Reglas para Inspección en servicio de Plantas Nucleares.

Nuevas ediciones de las secciones del código son publicadas cada tres años y dos adendas que incluyen adiciones y revisiones que son publicadas cada mes de julio de los años que no se publica el código. [1]

A pesar del avance tecnológico que simbolizo esta época, también se distinguió por las numerosas y frecuentes fallas catastróficas y explosiones que presentaban estos primeros recipientes.

Las causas mas comunes fueron:

Diseños inadecuados en las válvulas de seguridad, descuido y negligencia de los operadores, inspecciones inadecuadas, pero principalmente la ausencia de una guía que les permitiera establecer las bases para realizar un diseño y fabricación adecuada para cada caldera y como

En la mayoría de los casos se requirió del costo de vidas humanas para tomar acciones correctivas y muy pocas preventivas.

Para 1817 un comité del consejo de Filadelfia expone las explosiones de calderas de barcos, y recomienda que se establezca un Instituto Legislador y se reglamenten las capacidades de presión, instalación adecuada de las válvulas e inspecciones mensuales, sin un aporte significativo pues todo queda en recomendaciones.

Por lo que se requirió que hasta 1907 y después de dos catastróficas explosiones en EUA, donde el promedio de las explosiones era de una por día y las perdidas humanas eran dos por día, se decreta la primera legislación de diseño y construcción de calderas a vapor, sin embargo esta consistió de tan solo tres paginas.

En 1911, debido a que la primera legislación era demasiado generalizada y breve, la falta de uniformidad para la fabricación de calderas, los fabricantes y usuarios se recurrió al consejo de la American Society of Mechanical Engineers (ASME) para corregir esta situación. A partir de esta fecha surgen diversas asociaciones para abarcar la variabilidad de diseños y con el propósito de lograr una estandarización [1].

4.1 Comités y Sociedades.

A.S.M.E. (American Society of Mechanical Engineers)

1915. Primer código ASME para la fabricación de calderas de vapor. El comité recomienda del código para calderas y recipientes a presión así como el estándar para construcción y código de inspección.

A.I.S.C. (American Institute of Steel Construction)

1921. Fundación

1926. Surge su primer manual, proporcionando una Guía y código para maximizar la eficiencia del diseño de acero estructural y seguridad.

El código A.I.S.C. contiene ecuaciones de diseño, criterios de diseño y diseños prácticos para acero estructural. Su uso es recomendado para el diseño de edificios, puentes o cualquier estructura de acero, incluyendo aquellas que sirvan como soportes rígidos de tubería.

A.N.S.I. (American National Standards Institute)

1918. Inicialmente establecida A.S.A. (American Standard Association).

1967. Cambio su nombre en U.S.A.S.I. (U.S.A. Standard Institute)

1969. Cambio su nombre a A.N.S.I.

A.N.S.I. clasifica la aplicación del sistema de tuberías, bridas, pernos, roscas, válvulas.

A.W.S. (American Welding Society)

1920's. Surge esta sociedad.

Este código proporciona la información fundamental de soldadura, diseño de soldadura, calificación, pruebas e inspección de soldaduras, así como una Guía de la aplicación y uso de la soldadura, para estructuras.

5.

DESARROLLO DE UN PROYECTO

Tradicionalmente los códigos solo abarcan puntos generales como:

5.1 Diseño.

Tipo de recipiente

- Forma
- Tipos de tapas

Servicio o función del recipiente

- Temperatura de operación
- Condiciones de servicio: Presión, cargas, tensiones, esfuerzos y exposición a la corrosión,

Selección del Material.

- Tipo de material a almacenar o procesar.
- Propiedades típicas del material como: Mecánicas, físicas y químicas, soldabilidad.

Diseño de juntas.

- Eficiencia y limitaciones

5.2 Fabricación.

Selección del Proceso de soldadura

Métodos de fabricación

Procedimientos y calificaciones de soldadura y soldadores

Control de calidad

A pesar de que todos estos puntos son esenciales para el diseño y fabricación sistemática de un recipiente a presión, existen otros factores importantes que deben considerarse y

que en la mayoría de los casos no son estimados en un inicio y provocan fallas y/o errores en el avance o fin de un proyecto, por lo que se deben complementar con los puntos de códigos y guías, para brindar el mayor alcance posible en la construcción de un recipiente a presión.

Algunos de los personajes que han escrito guías con consideraciones extras a las generales para el diseño y fabricación de recipientes a presión son: Herman Purutyan, Brian H Pittenger y Jhon W. Carson (1999) entre otros, que describen un listado de 6 pasos como modelo para garantizar el adecuado desarrollo de un recipiente a presión que funcione. [2]

Los seis pasos:

1. Definir las condiciones y requerimientos de operación
2. Examinar las propiedades del material
3. Desarrollar el diseño funcional del recipiente
4. Desarrollar los detalles de diseño.
5. Fabricación e Instalación del recipiente.
6. Arranque y mantenimiento del recipiente.

Parte de esta guía establece que antes de iniciar el diseño de recipiente a presión es importante considerar su lugar en el desarrollo de un proyecto.

Diseño para un **recipiente existente**. Es cuando se requiere de un nuevo recipiente por que el anterior sufrió fallas catastróficas, es excesivo continuar con el mantenimiento o son más costosas las reparaciones, las condiciones del material almacenado y las condiciones de operación o ambas han cambiado.

Diseño de un **recipiente nuevo**. Es cuando el proceso es nuevo o una planta es completamente nueva.

Al omitir estas sencillas sugerencias es común cometer los siguientes errores:

Considerar en última instancia el diseño del recipiente antes que otros equipos integrantes del sistema de producción.

Lo que produce que el diseño este basado en un inadecuado presupuesto, que no siempre se refleja en las primeras etapas, pero comúnmente lo hace cuando el proyecto se encuentra en etapas atrasadas y el ingeniero a cargo erróneamente cotiza un costo para el recipiente basado en poca información y en estimaciones sobre dimensiones vagas, aproximaciones simples y que provocaran dificultades e incrementos en el presupuesto, por lo que para compensar la información ausente inevitablemente se produce un aumento en el costo final.

Por lo que el primer y mejor consejo para el inicio de cualquier proyecto es una investigación previa y completa en todos los aspectos que sean posibles de abarcar. [2]

6.

DISEÑO FUNCIONAL

Actualmente las últimas ediciones de los códigos insisten en remarcar cálculos necesarios para cualquier situación a la que este sometido un recipiente en cuanto a cargas, y tensiones máximas que puedan soportar.

Incluso existen programas avanzados de diseño como el PVElite (2004) que utilizan como base de datos códigos como el ASME Secc. VIII División 1, para profundizar en todo tipo de cálculos para todo tipo de diseños, y que otra herramienta similar no podría llevar a cabo en tan poco tiempo, entre sus ventajas esta que además de modelar la mayoría de los componentes típicos de un recipiente, permite analizar en forma integral el efecto de cada componente y agilizar el diseño de recipientes en aspectos como: cimientos, sistemas de anclaje, cálculos de pesos totales, etc. [3]

Sin embargo ningún código establece como determinar la funcionalidad de un recipiente, y para todos estos cálculos se necesita desarrollar el denominado “Diseño Funcional”, el cual deben especificar las características que el recipiente necesita para funcionar efectivamente en su proceso.

6.1 Función y operación del recipiente a presión.

De acuerdo a la guía de 6 pasos (1999), es imprescindible conocer los requerimientos y condiciones de operación, ya que estos proporcionan los factores más importantes para el diseño adecuado de un recipiente a presión. [2] [4]

6.1.1 Capacidad.

Nuevamente se requiere conocer el sistema de producción para que en base al mismo se establezca la capacidad requerida.

Comúnmente se deben considerar estrategias de negocios y operaciones. Sin embargo un factor decisivo para determinar la capacidad del recipiente es su ubicación dentro del sistema de producción.

6.1.2 Ubicación del recipiente.

➤ Etapa inicial del proceso.

Para este caso la capacidad del recipiente puede estar dictada por el horario de entrega de la materia prima, tipo y tamaño del envío y velocidad de uso en el sistema de producción.

Ejemplo: si se reciben camiones de materia prima por día, un recipiente relativamente pequeño es suficiente. Pero si la cantidad es grande obviamente se requerirá de un recipiente más grande o múltiples para almacenar.

➤ Etapa intermedia del proceso.

Esta etapa se considera la base de la capacidad en los requerimientos del proceso.

Por ejemplo: el recipiente necesita llevar a cabo suficiente material para prevenir paros del horno, ya que este problema sería un contratiempo en el flujo del material.

➤ Etapa Final del proceso.

Si el recipiente es colocado al final del proceso, la capacidad de la base del recipiente esta en horario del envío, ordenes o ciclos de ventas, tipo y tamaño del envío y estrategias de negocios (Como el justo a tiempo).

6.1.3 Velocidad de descarga.

Es vital que independientemente de la ubicación del recipiente el material se entregue a la velocidad requerida del proceso. Por lo que se necesita especificar con anticipación los requerimientos de carga en el diseño de proceso y sobretodo que esta información sea clara para el proyecto de ingeniería. [2] [4]

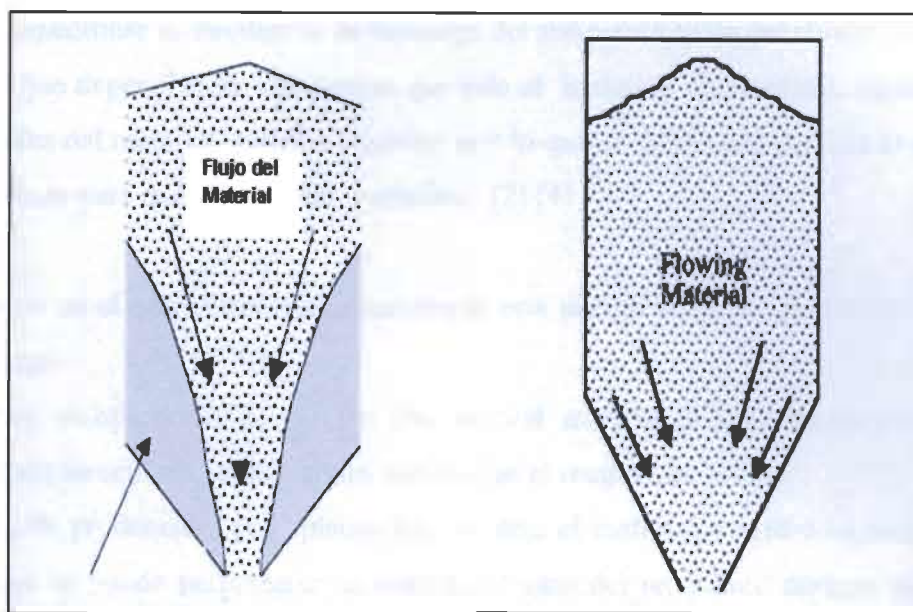


Figura 2. Diferentes tipos de flujo que afectan la velocidad de descarga.

Una forma de establecer la velocidad de carga es definir un porcentaje de velocidad, el cual se puede basar en volumen (pies cúbicos por hora) o masa (toneladas por hora).

Como en todo proceso existen condiciones normales y máximas de producción y se solicita que en cualquiera de estas condiciones se provea material, por lo que es necesario considerar la velocidad máxima y mínima de descarga.

Cabe mencionar que algunos procesos son muchos más sensibles a la variación en la velocidad de descarga que otros.

Ejemplo:

Las variaciones no serán importantes si el proceso transfiere con seguridad el tamaño del bache antes de un tiempo dado. Sin embargo si el proceso combina entradas múltiples de materiales, y cada material proviene de diferentes recipientes, y dentro de una sola mezcla, cada recipiente debe tener una velocidad de descarga uniforme para mantener las proporciones correctas de los ingredientes en la mezcla.

6.2 Frecuencia de descarga.

Se debe especificar la frecuencia de descarga del recipiente antes del diseño de procesos debido a que dependiendo del tiempo que este el material almacenado, algunas de las propiedades del material pueden cambiar, por lo que se debe asegurar que el recipiente este diseñado para manejar ciertas variables. [2] [4]

- Tiempo en el que el material almacenado esta parado en el recipiente entre carga y descarga.
- Turnos de operación: Si son por día, se deja material el resto del día almacenado, los fines de semana se deja algún material en el recipiente.
- Paros de producción: son planeados, se deja el material dentro o se vacía, cuanto tiempo se puede permanecer el material dentro del recipiente durante un paro no planeado.

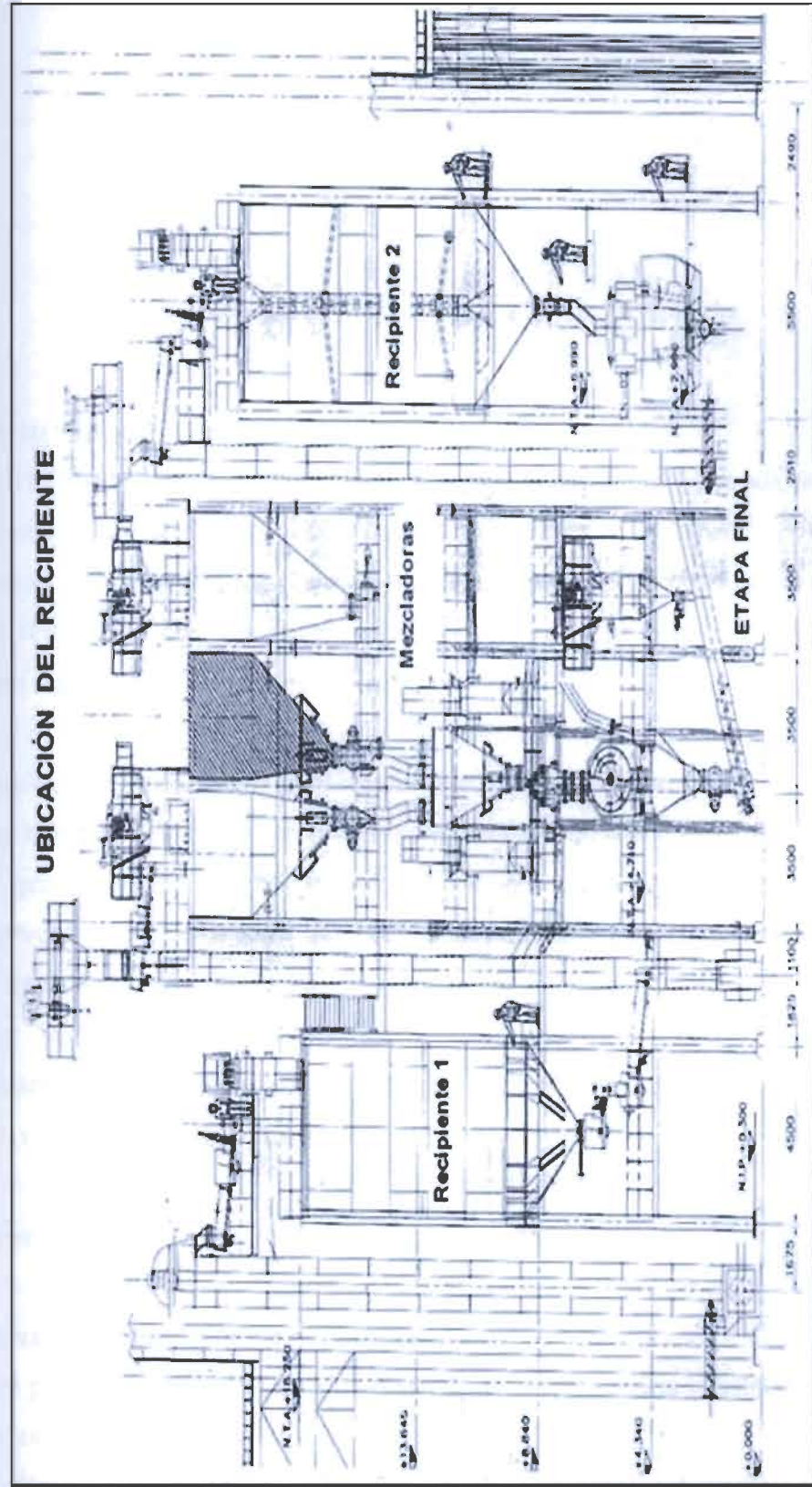


Figura 3. Esquema de la ubicación de un recipiente de acuerdo a su etapa del proceso.

7.

SELECCIÓN DEL MATERIAL

7.1 Material Almacenado.

Guías de 1999 hasta el 2004 recomiendan que para la selección adecuada del material base un punto importante es conocer el material a contener, y establecer las propiedades y características que posea, para que en base a esto se pueda determinar el efecto que surtirá en el material base, además proponen realizar todos los tipos de pruebas posibles incluyendo maquetas de simulación de flujo de material.

Por ejemplo: Los materiales abrasivos, puede desgastar las paredes de algunos materiales base, los materiales corrosivos, contienen sustancias corrosivas como sales o ácidos y generalmente se requiere que las paredes del recipiente sean de material anticorrosivo o se preparen con recubrimientos, también puede presentarse que los residuos de materiales y/o sustancias corrosivas previas permanezcan en la entrada del equipo y puedan afectar las paredes debido a ácidos que no se removieron completamente durante el lavado del equipo, incluso pueden viajar con el material dentro del recipiente y corroer las paredes.

7.1.1 Otros factores.

Mezcla e uniformidad del material depositado

Se pueden presentar dos casos: un solo ingrediente o una mezcla consistente de varios ingredientes.

Para el primer caso, donde el recipiente va a almacenar solamente un material, seguramente puede necesitar considerarse el mantenimiento uniforme del tamaño de las

partículas durante la carga y descarga y el proceso de arranque debe ser designado para manejar un rango de tamaño de partículas, por consiguiente el diseño del recipiente debe prever descargas solo para el tamaño de partículas seleccionado: finas o gruesas.

Si el caso es el segundo, el proceso puede requerir que la mezcla permanezca combinada uniformemente durante la carga y descarga, por lo tanto se debe cuidar los ingredientes secos y su adición al proceso.

Ejemplo: para cemento, se debe descargar primero la cal y arcilla juntas algo antes de la siguiente molienda.

Fragilidad del material contenido

Si el material es frágil, un diseño inadecuado puede degradar el material, por ejemplo: los aglomerados de detergente romper durante la carga y descarga del recipiente, afectando la calidad del producto final, como es el caso de pastas y hojuelas de cereal, donde la degradación del producto por la carga y descarga pueden resultar en producto de desecho.

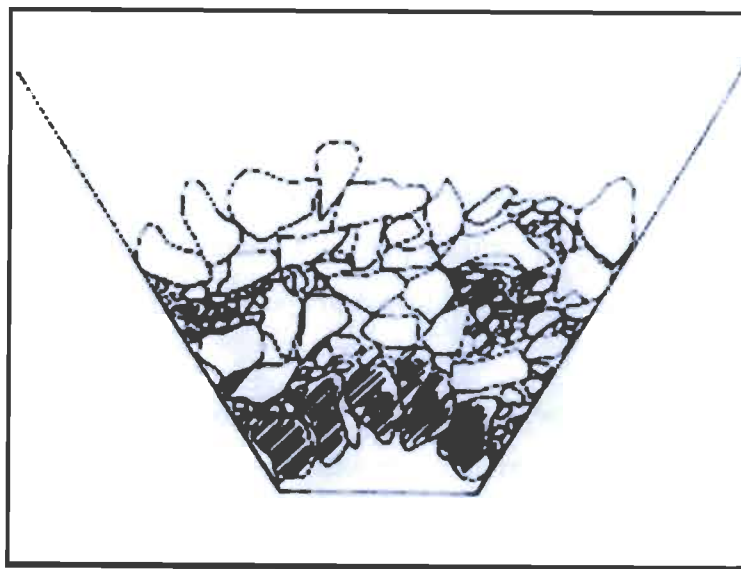


Figura 4. Figura que representa degradación de un producto y su aglomeración.

7.2 Material Base.

Una vez seleccionado un material base de acuerdo al material a almacenar, se requiere que se le realicen pruebas para identificar las propiedades críticas del material base como son: químicas, físicas, y mecánicas, estas pruebas generalmente se determinan y especifican en acuerdo con normas establecidas para cada tipo de material como la American Society for Testing and Materials (ASTM).

Además de pruebas referentes a propiedades del material existen otras y se necesita identificar y distinguir que tipos de datos proveen; datos cuantitativos como resistencia, compresibilidad, permeabilidad, tendencias de segregación, abrasión, fricción en las paredes, para desarrollar un diseño adecuado, o de calidad como datos relativos o valores absolutos, por ejemplo: ángulo de reposo, tiempo de flujo en embudo, compactación de radios generados cualitativamente. [2] [4]

Lo primero es seleccionar una muestra representativa del material bajo condiciones que igualen las peores condiciones y casos esperados para el material a ser manejado.

No siempre se puede obtener una muestra del material seleccionado por lo que se puede realizar con un grado o aproximación al grado del material base, probar el material piloto puede ayudar al menos a establecer una base para el diseño del recipiente.

En último caso si no se puede conseguir una muestra del material base, se puede obtener un rango de datos de las propiedades de éste; de otras pruebas que han sido conducidas, usar este método es mejor que hacer una decisión sin ninguna referencia.

Si se requieren mas de un material base se deben correr una serie de pruebas de cada grado o material, y los resultados mostraran cuales tienen propiedades extremas que puedan afectar el diseño del recipiente.

Guías basadas en códigos como el ASME Secc. VII Div.1 explican que la selección del material adecuado no es fácil debido a la gran gama de materiales existentes. [1]

Además de considerar las condiciones anteriores, se deben tomar en cuenta aspectos de costos y disponibilidad del material.

Comúnmente se pueden clasificar en los siguientes grupos [1].

1. Aceros al carbono: Son los más disponibles y económicos de los aceros, recomendables para la mayoría de los recipientes a presión donde no presente condiciones extremas de presión y/o temperatura.

2. Aceros de baja aleación: Son recomendados para condiciones de servicio mas específicas y un poco mas costosos que los aceros al carbono debido a los bajos porcentajes de elementos de aleación como níquel y cromo, tienen un mejor comportamiento en la resistencia mecánica y para rangos mas altos de temperatura que los aceros al carbono.

Para estos dos grupos es importante el control de la cantidad máxima permisible de elementos indeseables como azufre, fósforo y cobre, debido a su reacción de producir fragilidad y puntos de fusión muy bajos. Las cantidades usuales son 0.04% máximo de azufre y fósforo.

3. Aceros de alta aleación: Son llamados comúnmente aceros inoxidable, son más costosos que los anteriores debido a su alto contenido en elementos de aleación, lo que brinda alta resistencia a la corrosión.

Sin embargo son susceptibles al agrietamiento como resultado de la soldadura por la tendencia tan alta de endurecimiento creada por el calor de la soldadura, por lo que se debe tener mucha precaución por la dificultad de fabricación que presentan. Se requiere una estricta atención en los tratamientos de precalentamiento y post-calentamiento así como las mejores prácticas.

4. Materiales no ferrosos: Son recomendados para manejar sustancias con alto poder corrosivo para facilitar la limpieza en recipientes que procesan alimentos y condiciones de servicio extremas de tenacidad a baja temperatura. Esta clasificación no contiene hierro como su mayor constituyente, estos generalmente son: cobre, níquel, aluminio, titanio, etc. Se debe tener mucho cuidado con su composición para evitar fragilidad,

mezclas de materiales que produzcan contaminación y en algunos casos fusión incompleta en la raíz por la susceptibilidad de oxidación a altas temperaturas.

5. Hierros. Generalmente no son considerados para ser soldados en recipientes a presión, debido a sus extremas fases de fragilidad y agrietamiento que se forman en la zona afectada por el calor, sin embargo el código ASME permite soldaduras de hierros bajo ciertas condiciones estrictas.

Los materiales reciben diferentes designaciones de acuerdo al código, para el caso del código ASME es referente al grado de soldabilidad y son asignados con un Numero P.

7.3 Condiciones de servicio.

Al igual que en algunos puntos anteriores, los códigos no los contemplan abiertamente como este caso, no obstante es importante establecer la conducta de sus factores.

7.3.1 Diferencia de presión y temperatura.

El comportamiento de un material depende de los siguientes factores: presión y/o temperatura.

Es importante identificar la presión de gas del equipo en sus diferentes etapas, debido a que la variación de presión dentro del recipiente, puede afectar las propiedades del material.

La temperatura de operación del proceso es diferente a la temperatura dentro del recipiente, por lo que se requiere determinar las condiciones de temperatura, incluyendo máximo y mínimo de la temperatura ambiente, la cual puede afectar el comportamiento del material.

7.3.2 Consideraciones de seguridad y ambiente.

De acuerdo a las descripciones anteriores, existen materiales sujetos a explotar o quemarse, por ejemplo materiales como carbón o granos los cuales generan flamas o polvos de ignición, otros como el polietileno y polipropileno pueden ser volátiles.

Se debe usar toda la información para diseñar el recipiente con las características de protección contra explosiones o incendios.

Puntos a considerar: si el material al derramarse, o volatilizarse del recipiente puede dañar a los trabajadores o contaminar el ambiente, los contaminantes, gases atmosféricos, humedad y temperatura pueden afectar adversamente el material almacenado.

En los casos en los que el material es peligroso se debe: incluir respiraderos o puertas de explosión o de supresión, o decidir utilizar gases inertes en el recipiente.

En el año 2004 diversas asociaciones como la OSHA (Occupational Safety and Health Administration), se dedicaron a realizar estudios referentes a fallas catastróficas que involucren condiciones de servicio severas producidas por ambientes de sustancias químicas corrosivas y/o peligrosas, principalmente para brindar información sobre seguridad.

A pesar de que el material contenido en los recipientes es un factor decisivo en los incidentes de agrietamientos y fallas, no es tratado explícitamente en los códigos y no se le brinde la importancia que merece. [7]

Para una mejor comprensión y consideración sobre las condiciones de servicio de un recipiente se describen algunos casos de fallas con puntos como: el proceso, problema que presentan y causas del problema.

7.3.3 Amina.

Proceso: El proceso de la amina es usado para remover sulfuro de hidrogeno (H_2S) de los gases de la petroquímica como propano y butano, también es usado para la remoción de dióxido de carbono en algunos procesos, algunos términos genéricos son monoetanolamina (MEA), dietanolamina (DEA) y otros grupos de aminas, usados en refinerías, plantas de tratamientos de gas y químicas.

Problema: En 1984 un caso muy conocido fue el de una torre para absorber amina, la cual presento una explosión seguida de un incendio en una refinería de Chicago, causando la muerte de 17 personas y una serie de extensos daños materiales.

Detalles: Construcción: 18.8m de alto 2.6m de diámetro 22mm de espesor de las placas de tipo ASTM A516 Grado 70.

Después de puesto en servicio, equipos como este sufre ciclos térmicos, especialmente en la zona de salida y entrada de gases, por lo que obligatoriamente experimento severas reparaciones y modificaciones.

El resultado de este análisis arrojó los siguientes resultados: Se determinó que el recipiente sufrió Corrosión bajo esfuerzo y fragilidad por el hidrogeno.

El recorrido de la ruptura fue a través de un agrietamiento extensivo y adyacente en la sección que presentó reparación y produjo uniones soldadas como reemplazo de la sección original del recipiente.

Debido a estas reparaciones se formaron áreas con microestructura dura y dieron lugar a grietas, estas grietas preexistentes fácilmente promovieron el agrietamiento bajo esfuerzo por susceptibilidad al hidrogeno y crecieron a través de la pared del recipiente.

Cuando la profundidad de las grietas preexistentes con las longitudes mayores excedió el 90-95% del espesor de la pared y cerca de 800mm de longitud el poco ligamento restante del acero en la sección agrietada y rompió, y esta grieta accionó la fractura completa de la circunferencia del recipiente en los niveles de tensión operacional de 35MPa (10% de la resistencia del acero) este nivel tan bajo debido a que la resiliencia del recipiente a presión se redujo por la fragilidad del hidrógeno. [5]

Conclusión: La causa de la ruptura del recipiente se debió a las interacciones que sufrió por los ciclos térmicos ocurridos durante las reparaciones de soldadura y el ambiente con contenido de hidrogeno.

En este mismo año se encontró que en 294 plantas un 40% presento incidencia por agrietamiento.

Para el año de 1999 diversos estudios arrojaron los siguientes resultados: los procesos de operación de la amina generalmente son 38-98°C y por lo tanto los equipos de la planta son construidos de aceros al carbón, los espesores de pared en las plantas de amina generalmente son de 1 pulgada.

El agrietamiento generalmente ocurre en absorbedores, generadores y recipientes intercambiadores de calor, en al tuberías y equipos auxiliares.

Todas las grietas se presentan en o cerca de la soldadura, el agrietamiento ocurre predominantemente en recipientes que no fueron relevados de esfuerzos (No llevaron tratamientos post-calentamiento).

El agrietamiento se presenta en todos los recipientes de aminas, pero especialmente en los de unidades de monoetanolamina (MEA).

Estudios indican que la amina pura no produce el agrietamiento de los aceros al carbón, pero combinada con el dióxido de carbono provoca severos agrietamientos. [7]

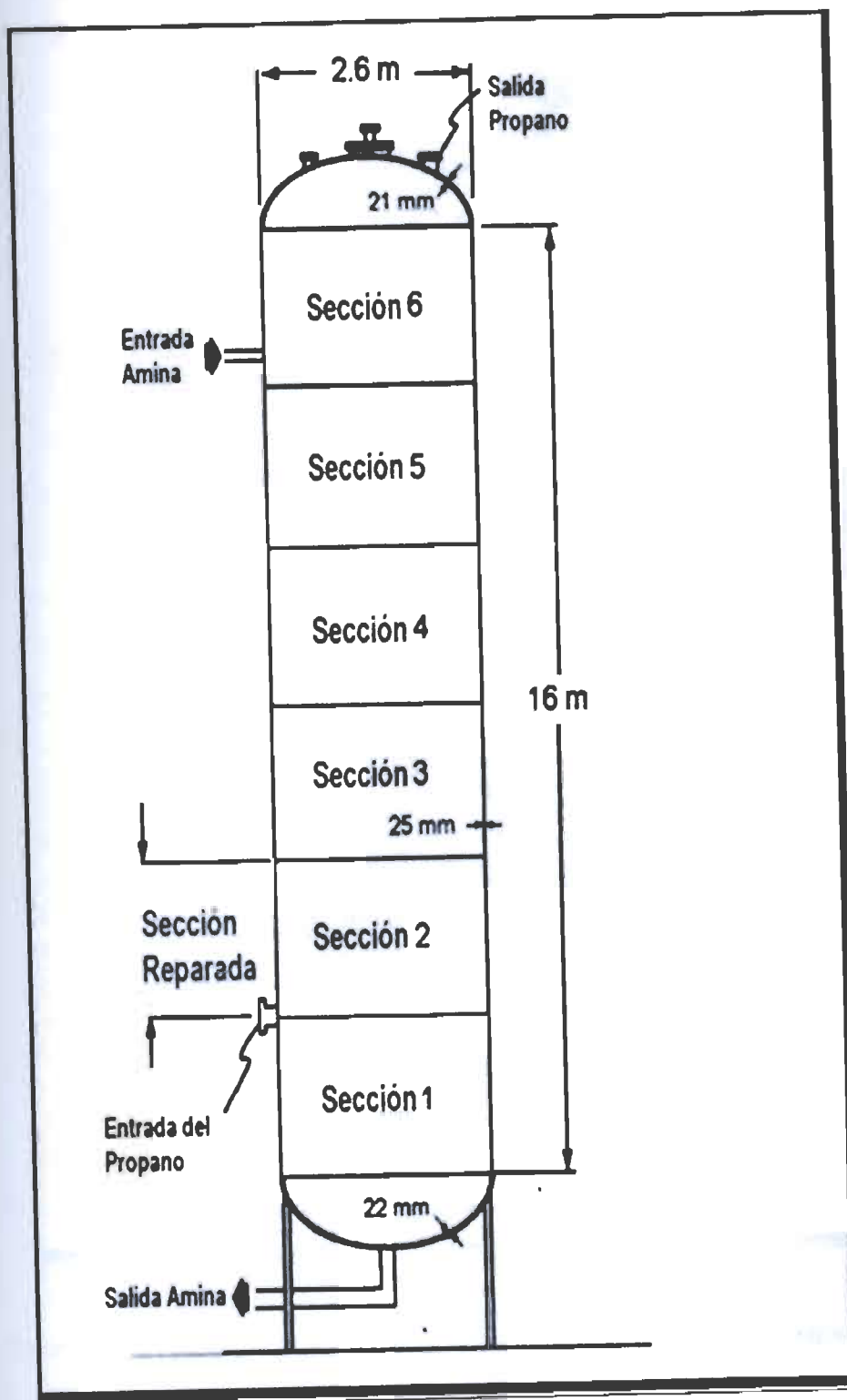


Figura 5. Esquema de del diseño para la torre de amina antes de la reparación.

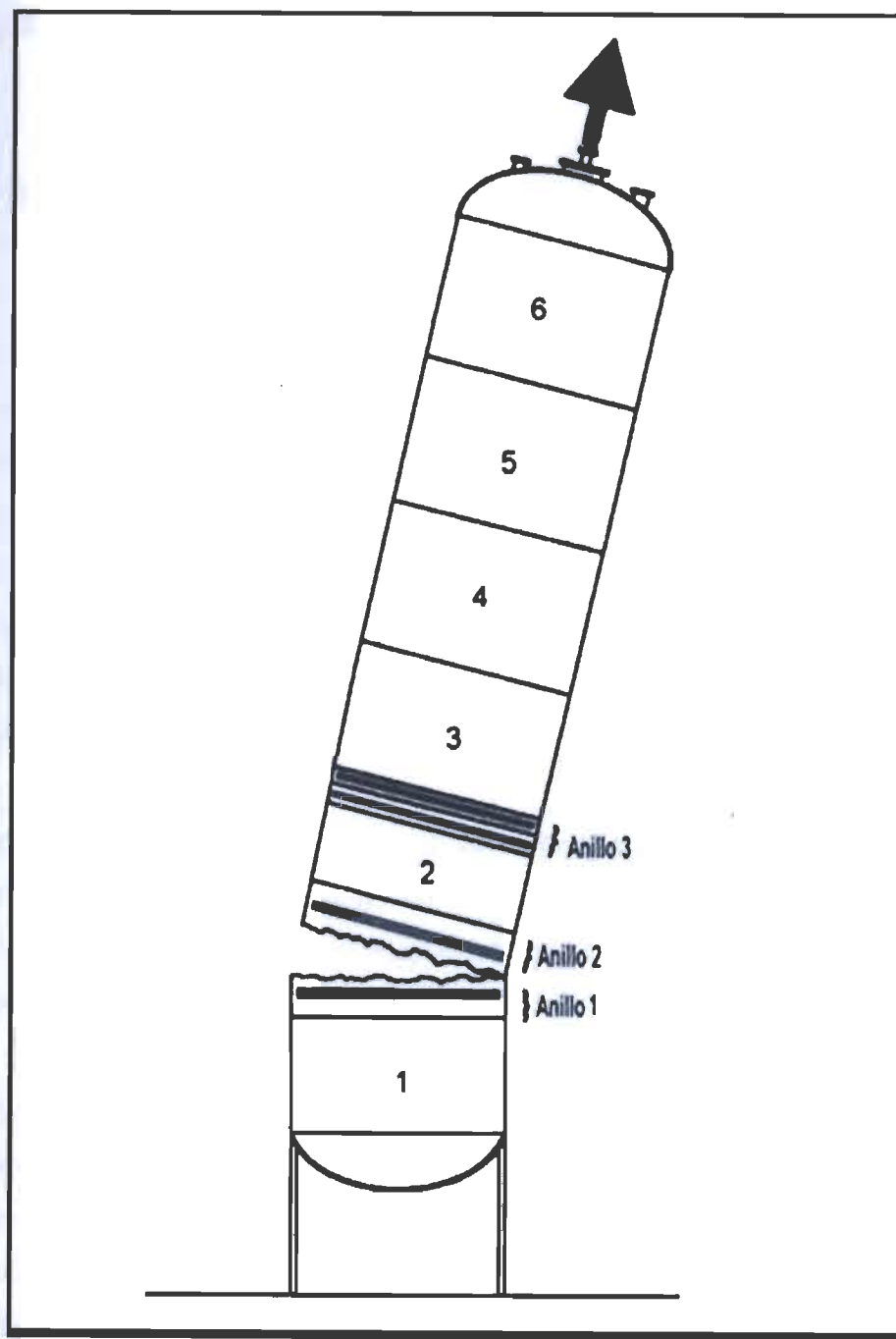


Figura 6. Esquema del modelo de avance de la fractura ocurrida en la sección reparada.

7.3.4 Sulfuro de hidrógeno húmedo.

Proceso: en el año de 1999 se presentaron estudios acerca del sulfuro de hidrógeno húmedo y se definió como sigue: es cualquier fluido que contiene agua y sulfuro de hidrogeno.

Problema: El hidrogeno es generado cuando el acero es expuesto en estas mezclas y puede entrar en el acero. El hidrogeno disuelto puede producir agrietamiento, ampollamiento y fragilidad, o todas.

Los efectos mas dañinos en ambientes para la generación de hidrogeno en el acero han sido reconocidos por mucho tiempo en las industrias petroquímicas.

Detalles: Recipientes para la licuación del gas del petróleo. LPG (Liquified petroleum gas), usualmente su forma es esférica con rangos de espesores de pared 20- 75mm (0.8- 3 pulgadas).

Conclusión: El agrietamiento generalmente se presenta en al zona afectada por el calor (HAZ) y en particular lo sensitivo del daño en función del incremento de hidrogeno en la dureza y resistencia de los aceros, es decir los daños y agrietamientos son mas propensos a ocurrir en Aceros de alta resistencia. [7]

7.3.5 Digestores de pulpa y papel.

Problema: Para el año de 1980 estos recipientes tenían un buen registro de reportes referentes a problemas de agrietamiento, hasta un solo reporte aislado donde ocurrió una ruptura repentina, en base a esto una inspección reveló que cerca del 65% de los recipientes revisados tenían algo de agrietamiento.

Proceso: En 1999 se detallo que este el proceso es usado en al industria de la pulpa y papel para reducir la pulpa en los procesos de elaboración de papel, la operación es hecha en una solución relativamente débil (poco porcentaje) de agua e hidróxido de sodio y sulfuro de sodio típicamente en rangos de temperatura de 110-140° C. [7]

Conclusión: Todas las grietas están asociadas con la soldadura, y los recipientes con relevados de esfuerzos fueron menos susceptibles.

7.3.6 Ciclos térmicos severos.

En el año del 2002 se encontró que uno de los grupos afectados fuertemente por ciclos térmicos severos eran los recipientes para la fabricación de coque de petróleo.

Proceso: son recipientes que contienen coque que sirve para producir sólidos de carbón como combustible en la producción de ánodos, electrodos, grafito o productos similares basados en carbón.

El coque de petróleo es producido por un procesamiento lento del coquizado en donde los residuos pesados del material base son calentados a altas temperaturas e introducidos dentro de un cilindro orientado verticalmente (tanques de coque), se procede a una segunda etapa para remover los vapores de los gases los cuales dejan residuos de hidrocarburos de alta densidad.

Estos residuos son designados como coque de petróleo, los cuales en otra etapa son enfriados y/o templados con agua para permitir su remoción, después se debe presurizar el recipiente y enfriarse un punto donde el producto no pueda producir ser su propia ignición cuando se expone al aire. [6]

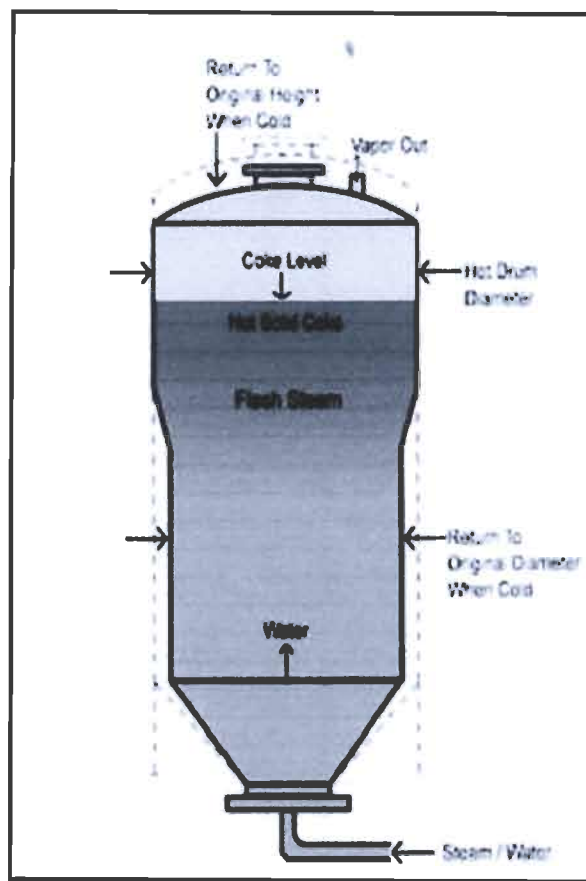


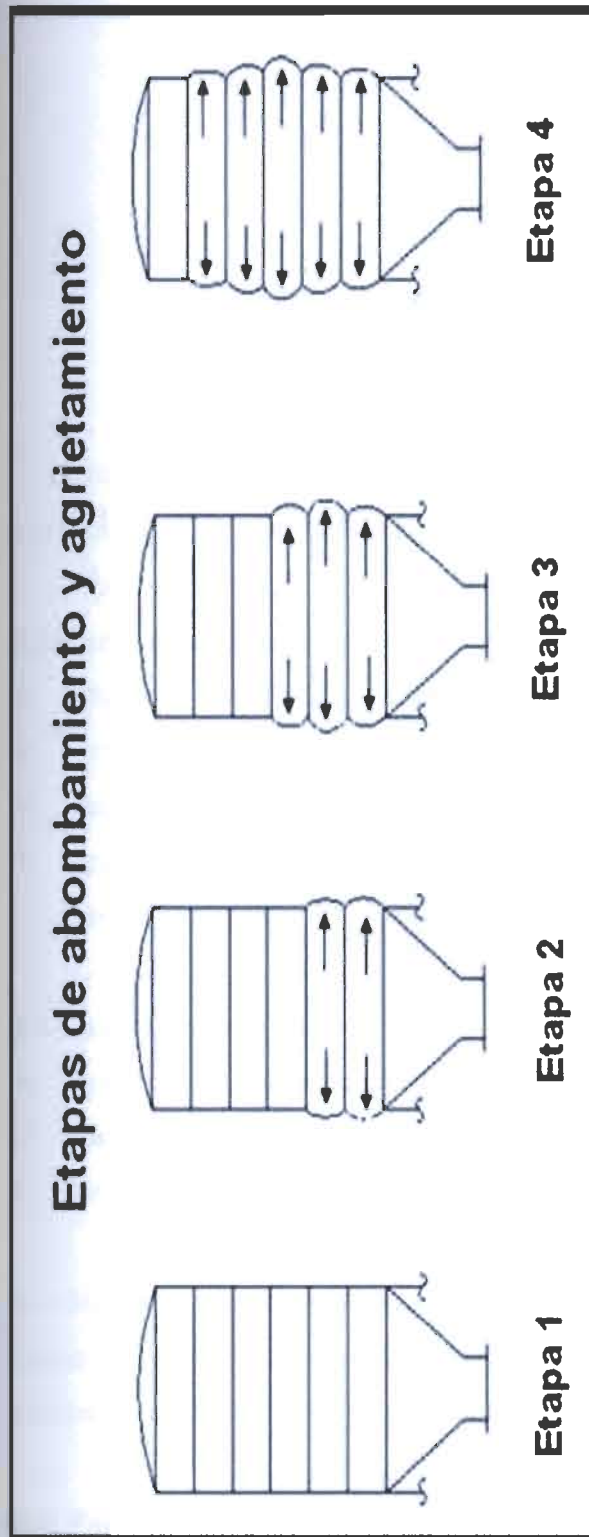
Figura 7. Esquema del proceso del coque.

Problema: Abombamiento y agrietamiento en la zona adyacente a la circunferencia de las uniones de soldadura.

Conclusión: Los problemas son causados principalmente por operaciones térmicas severas de ciclos de calentamiento y enfriamientos forzados, que aplican tensiones térmicas repetitivas.

Debido al número de ciclos térmicos y el incremento en la frecuencia en que estos ocurren, el abombamiento es más pronunciado y los agrietamientos inician. Provocando en una reducción de la confiabilidad y e importantes tiempos muertos para realizar las reparaciones o reemplazos de las partes afectadas.

Dependiendo del tipo de coque los ciclos de tiempos de procesamiento avanzan, por lo que para ciclos entre más cortos son severos e incrementan la distorsión y un agrietamiento más pronto. [6]



Etapa 1 .Esquema del estado normal del recipiente.
Etapa 2 .Abombamiento primario en la parte baja e inicio de grietas.
Etapa 3 .El abombamiento aumenta y avanza hacia los cordones superiores junto con el agrietamiento.
Etapa 4 .Abombamiento extremo, agrietamiento y la forma conocida como "globo constreñido".

Figura 8. Etapas de abombamiento y agrietamiento que sufre un recipiente expuesto a ciclos térmicos severos.

8.

DISEÑO GENERAL

Actualmente los códigos y guías basadas en ellos generalmente incluyen los siguientes puntos como básicos. [1]

8.1 Características generales de diseño.

- Altura de los Cilindros, diámetros y material de construcción.
- Forma de la tolva y material de construcción.
- Tamaño de entradas.
- Tipo de alimentadores y tamaño (incluyendo detalles para la activación de la entrada entera si es necesario).

8.2 Características opcionales.

- Tipo de Válvulas de descarga (resbale de la puerta, etc.) y tamaño.
- Insertos de la tolva flujo y tipo, localización, tamaño y material de construcción.
- Otros accesorios.

8.3 Diámetro máximo y altura.

Guías especiales como la de Purutyan y Pittenger (1999), describen los siguientes factores para determinar el diámetro y la altura. [2]

8.4 Factores.

Espacio. Un caso es la limitación del diámetro del recipiente en función al espacio disponible en la planta o el método de construcción a utilizar.



Figura 9. Limitación del diámetro en función al espacio disponible en la planta.

Transporte. El recipiente a ser fabricado por el proveedor, por regla no puede exceder 14 pies en diámetro para que su transportación sea en una sola pieza a su sitio, sin embargo esto es omitido u olvidado.

En muchos casos el querer ahorrar en embarque de una sola pieza acarrea más problemas.

Estructuras. La altura puede ser limitada por la estructura alrededor, o altura de la planta, es decir debe considerarse si una parte o componente se va a armar en planta, definir cual es limite de dimensiones para su manejo y transporte a campo o dentro del taller.

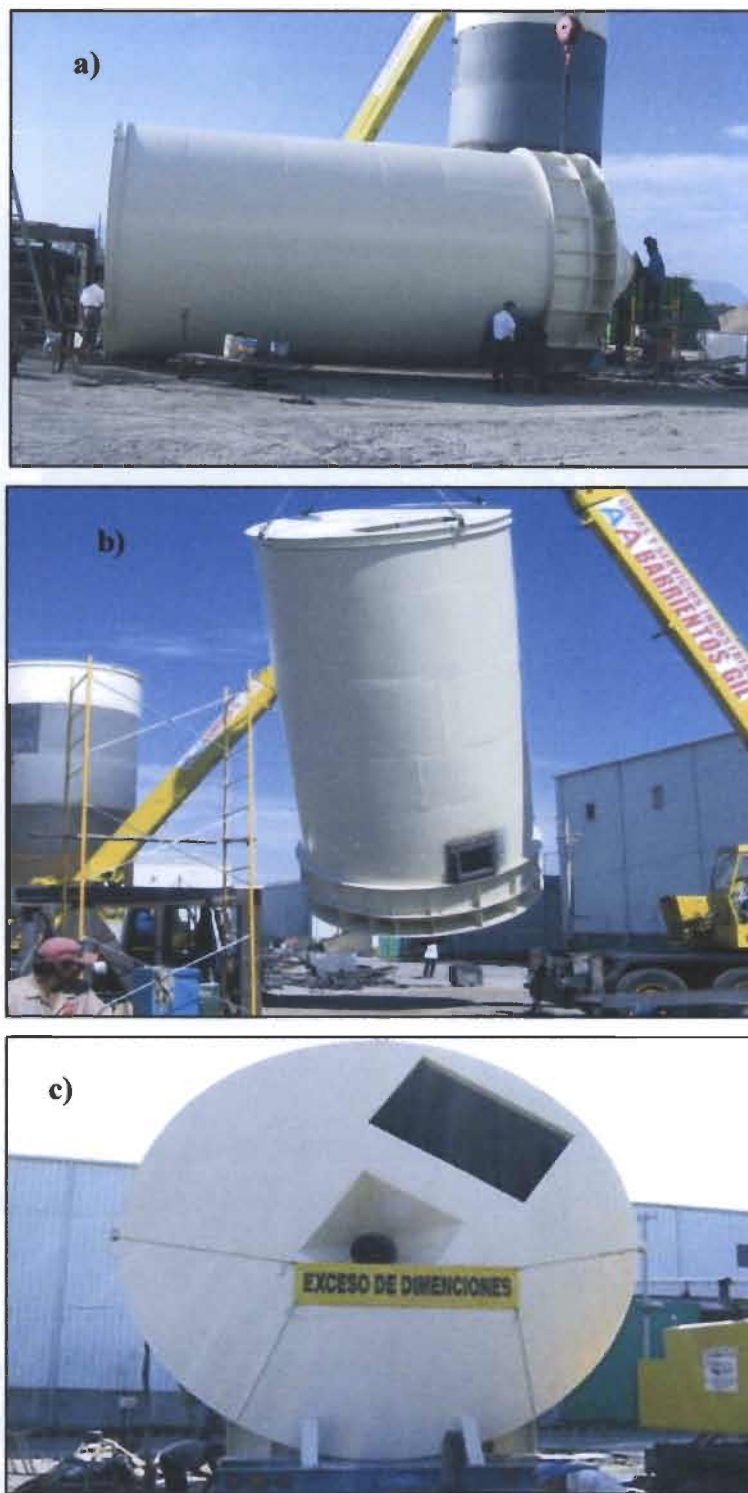


Figura 10. Fotografías que muestran: a) longitud del recipiente que también debe considerarse para el transporte, b) Dificultad de la grúa para colocar el recipiente en el transporte, c) Exceso de dimensiones del diámetro a la hora de transportarlo debido a la omisión de cálculos para el transporte.

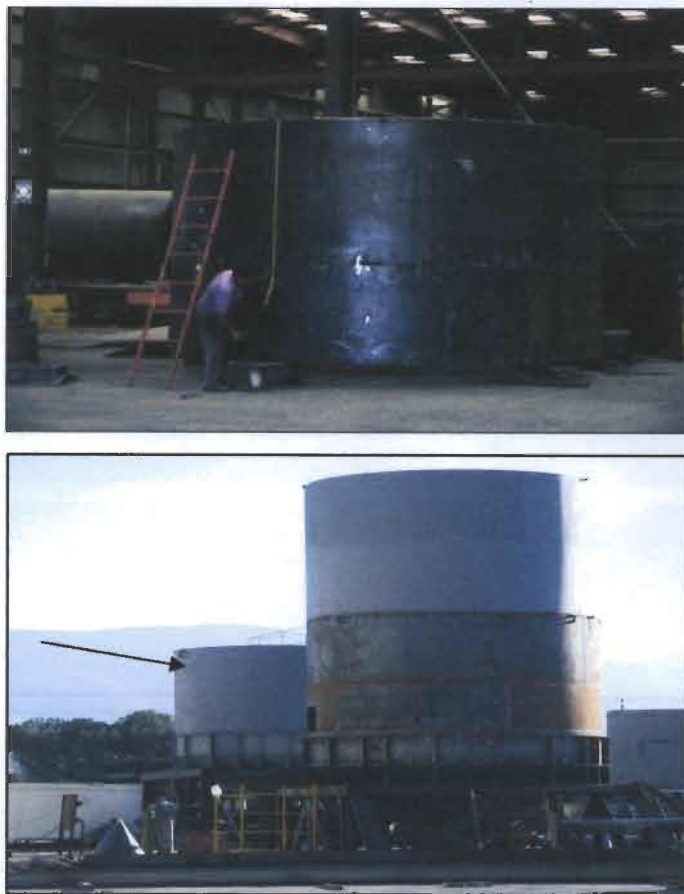


Figura 11. Medición de un componente para su transporte y futuro ensamble fuera de planta.

Condiciones sísmicas o cargas de viento.

La cantidad de equipos de proceso asociados que van a estar localizados sobre o cerca del recipiente.

Construcción en el sitio.

Cuando se requiere que el recipiente sea de una sola pieza y las dimensiones de la planta o taller limitan su montaje, es necesario considerar otros factores y limitantes como equipo requerido para el montaje (tamaño y movilidad de la grúa), condiciones del área del suelo (inclinación, tipo de suelo) y condiciones climatológicas.



Figura12. Fotografía que muestra montaje de un recipiente por medio de grúa fuera de la planta.

Otras Características. Características severas que afectan el patrón de flujo del material.

El tamaño de salida y tamaño de la tolva, espesor de la tolva, superficie del material de la tolva, alimentadores (localizados en al salida) y los requerimientos de válvulas, insertos de la tolva, ayudas de flujo.

9.

DETALLES DE DISEÑO

Para llegar a este punto se debió cumplir correctamente con todos los puntos anteriores, de lo contrario, solo se especularan aproximaciones en todos los aspectos por no tener las especificaciones correctas y se iniciara una cadena de errores junto con costos excesivos.

Los dibujos deben ser usados para fabricar el recipiente y en muchos casos para ofrecer una mejor oferta para la fabricación, en caso de promocionar la construcción del recipiente.

El diseño funcional esta incorporado propiamente dentro de los detalles del mismo, es decir, se debe comunicar todos los puntos del diseño funcional para los detalles de diseño y obtener la ingeniería adecuada. [2]

Es común que se descarten detalles aparentemente mínimos e insignificantes y que en las siguientes etapas producen errores enormes, y una vez presente la falla es difícil encontrar la causa por la sencillez del detalle omitido.

Ejemplo: Un diseño funcional puede especificar un tipo de material base con un grado o característica específica como lo es un acero inoxidable 304 (superficie de la tobera) 2B final (especificación de desbaste), pero si no se le comunica todos los detalles claramente el ingeniero puede interpretar esta especificación como un acero 304 simple para la superficie de la tolva, esto quiere decir que puede finalizar con una superficie fabricada de un desbaste final tipo numero 1, cuando es mucho mas friccionante que un numero 2B y causar problemas de flujo, y al poco tiempo de puesto en marcha obligatoriamente destacara el cambio de superficie por la calidad que presente el

producto almacenado por el importante cambio de flujo, lo que dará pie a una larga investigación para encontrar el error de diseño.

Los detalles de diseño pueden presentarse en diferentes esquemas, con tablas, notas, números con indicaciones, etc., lo importante es que se incluyan todos, un error frecuente es generalizar arreglos de los componentes.

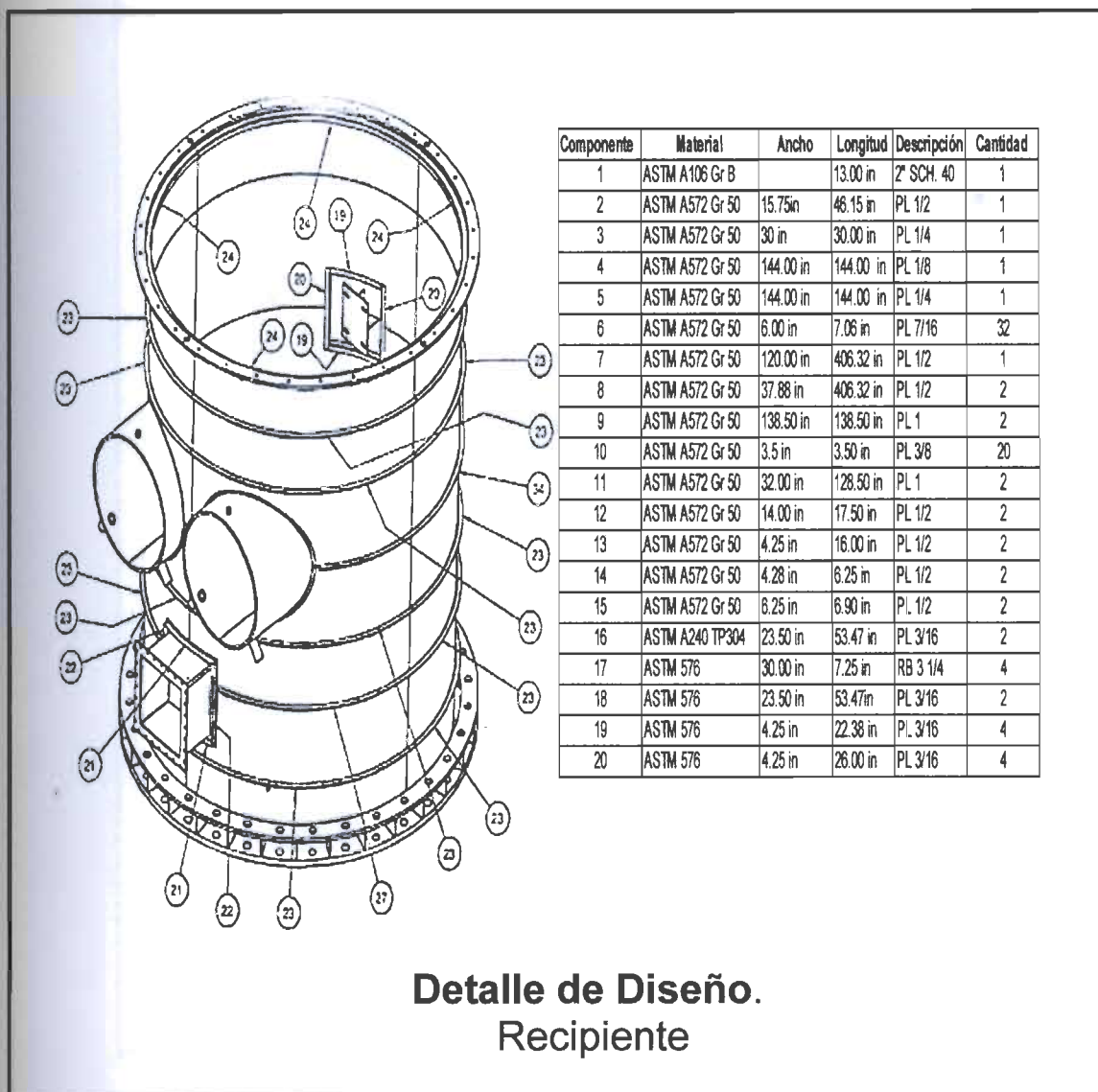


Figura 13. Ejemplo de detalles de diseño para un recipiente donde para el arreglo general presenta número de componente, material de fabricación, ancho, longitud y cantidades requeridas.

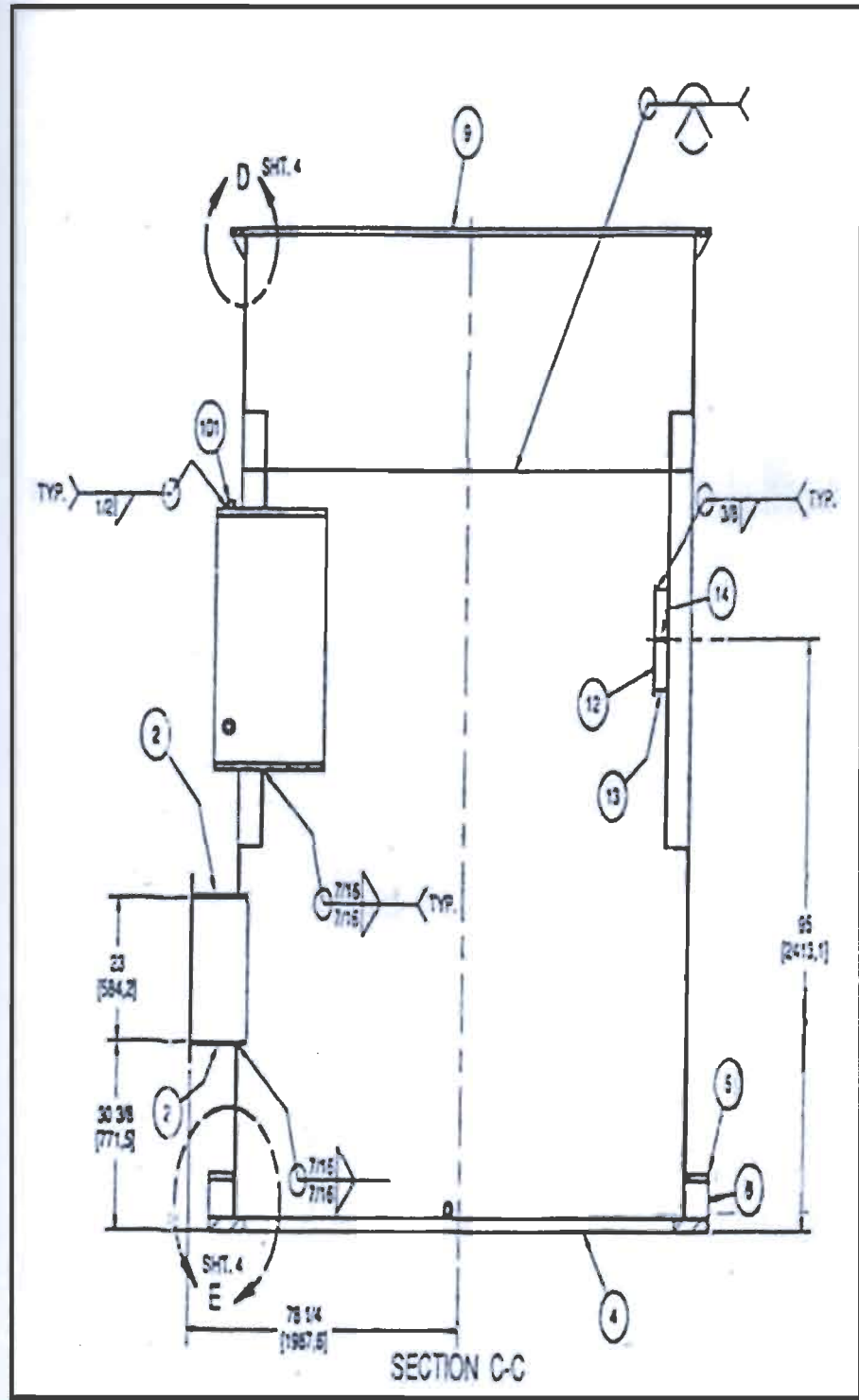


Figura 14. Una sección del arreglo general de la figura anterior para el detalle de diseño que incluye detalles de soldadura específicos por componente.

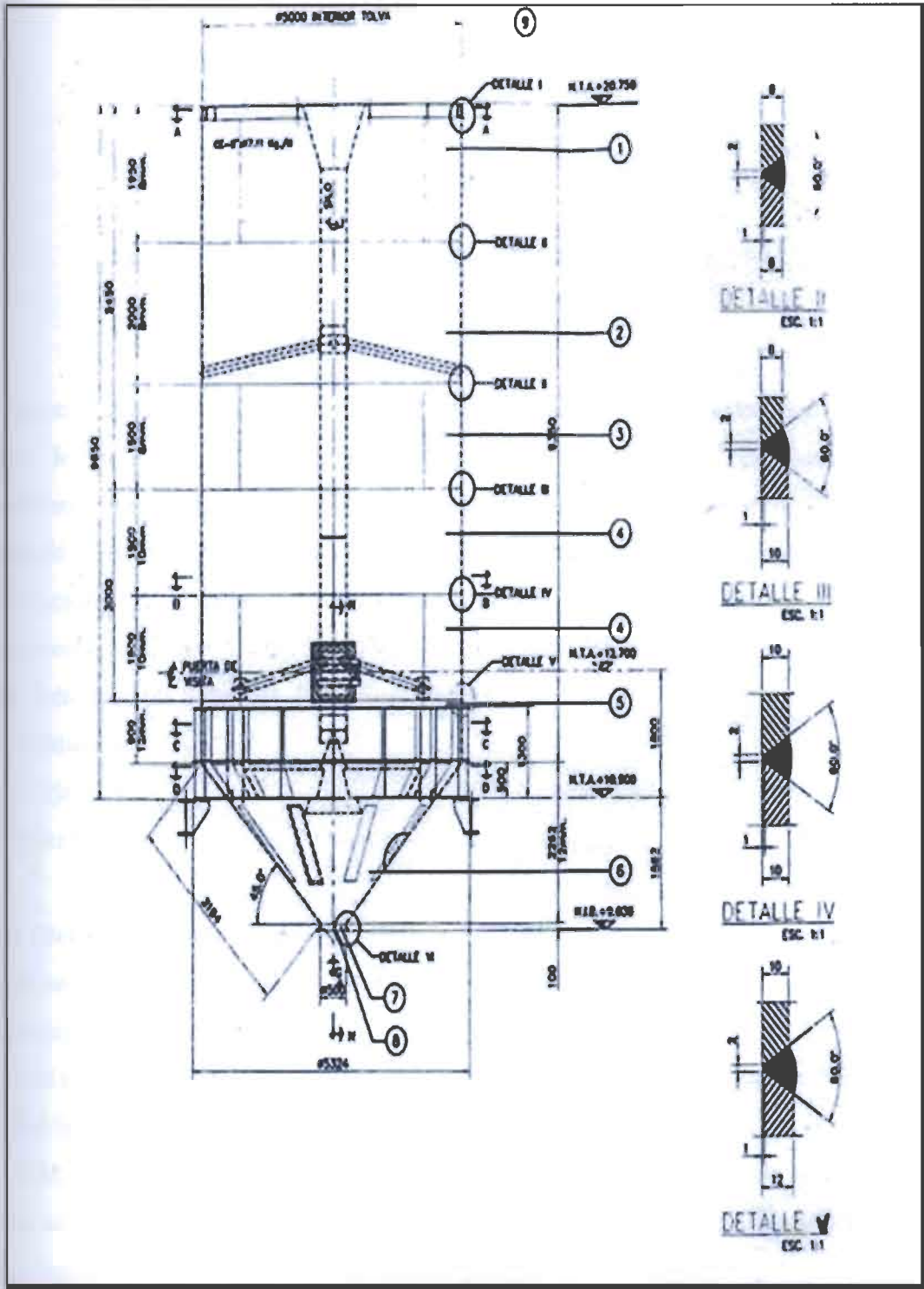


Figura 15. Diseño de detalles para otro tipo de recipiente tipo silo. A diferencia del primer diseño este esquema, erróneamente suprimió la especificación del material, e incluye detalles generales de soldadura en lugar de un desglose por sección o componente.

10.

FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DEL RECIPIENTE

Continuando con los autores de la guía de 6 pasos (1999), nos establecen que en esta etapa lo primero es seleccionar un método de fabricación, en base a ciertas consideraciones como el material de construcción, la superficie que se requiere cubrir, el costo de instalación y/o embarque, y que ventajas o desventajas brinda cada método de fabricación como vida útil del recipiente. [2]

De acuerdo al código ASME Secc. VIII Div.1 (2004). [1]

Los métodos más comunes de fabricación son:

- Soldadura
- Forja
- Brazing

10.1 Método de Soldadura.

De acuerdo al mismo código por el método de soldadura tipo Arco se restringe a los siguientes procesos:

- SMAW (Shield Metal Arc Welding)- Soldadura de electrodo revestido.
- SAW (Submerged Arc Welding)- Soldadura de arco Sumergido
- GMAW. (Gas Metal Arc Welding). Soldadura de arco con protección de gas.

Nota: el proceso FCAW (Flux Cored Arc Welding), Soldadura de electrodo tubular, es reconocido como una variedad del GMAW por lo tanto es aceptable.

- GTAW. (Gas Tungsten Arc Welding). Soldadura de electrodo de Tungsteno.
- PAW. (Plasma Arc Welding), Soldadura de Plasma
- EWG (Electro gas Welding), Soldadura de Electro gas.
- SW (Stud Welding). Soldadura de perno

Para los otros procesos de soldadura además de los de arco se permiten:

- EWB (electrón beam Welding). Soldadura por haz de electrones
- EWF (Flash Welding).
- EWS (Electroslag Welding) Soldadura por electro-escoria
- EWX. (Explosive Welding) Soldadura por explosión
- IW. (Induction Welding) Soldadura por Inducción
- FRW (Inertia and continuous drive friction welding)
- LBW (Laser Beam Welding)
- RW (Resistance Welding)

10.2 Selección del proceso de soldadura.

Una vez seleccionado el método de fabricación, es difícil decidir y acertar a la elección correcta del proceso de soldadura, que debe estar a cargo del diseño funcional, por ejemplo:

Si el recipiente solo es un ducto de aire de espesores delgados el proceso GMAW es una opción adecuada, en cambio si el recipiente es de espesores mayores y también presiones mayores se requieren procesos como SMAW o FCAW.

Una vez que se tienen una o varias elecciones es importante analizar otros puntos como: lugar de fabricación en campo o en planta, calidad de apariencia requerida, se requiere gas de respaldo y cual es el mas apropiado, facilidad que se tiene para proveer el material de aporte y gas, habilidades del personal, entre otras y que al final se determinaran en función de presupuesto y no necesariamente el ideal.

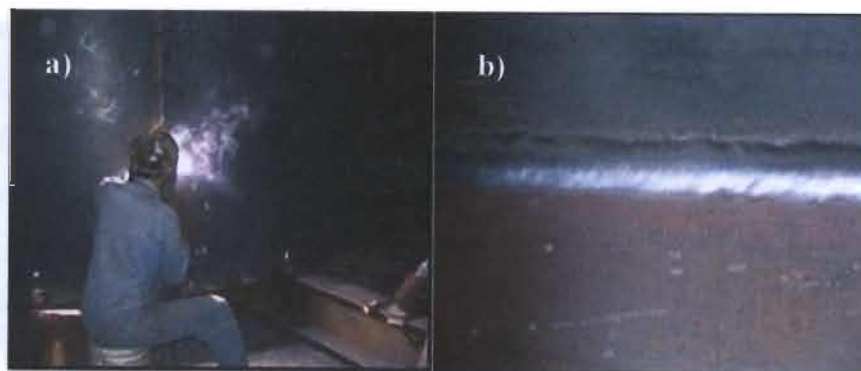


Figura 16. Soldador utilizando proceso SMAW y apariencia de un cordón de soldadura por el mismo proceso.



Figura 17. Aplicación de soldadura en campo.

Una vez seleccionado el proceso de soldadura se requiere cumplir con los estándares de soldadura, lo primero es seleccionar el código bajo el cual se guiarán, segundo cumplir con:

1. Procedimientos de soldadura. WPS
2. Registros de los procedimientos. PQR
3. Calificaciones del soldador. WPQ

Los procesos que requieren gas de respaldo, envuelven otro problema la selección del mismo, lo cual no es fácil por la diversidad de mezclas y características que brinda cada uno.

Por la variedad y problemática de los gases de respaldo diversos investigadores se han dedicado a establecer ventajas y desventajas de cada uno, principalmente para el proceso GMAW (2004) que es el que presenta diferentes modos de transferencia en función al gas seleccionado.

Básicamente establecen que la selección apropiada del gas de protección puede afectar drásticamente la energía de transferencia y la eficiencia de deposición del proceso GMAW, en especial para el modo corto circuito. [10]

Ejemplos:

El dióxido de carbono fue el primer gas de protección utilizado por su disponibilidad y costo. Resultados es la baja conductividad térmica, penetración estrecha y profunda, esto presenta problemas para los materiales delgados.

El argón tiene una baja conductividad térmica que produce un arco de constricción similar pero un perfil de penetración mas bajo que el dióxido de carbono. Mezcla de argón con dióxido de carbono produce altas velocidades de deposición con bajo chisporroteo, el cual es el ideal para todas las posiciones y materiales delgados.

La transferencia de rocío produce mayores velocidades de avance y velocidades de deposición por que es superior la estabilidad del arco y mayor la velocidad de goteo. Sin embargo el mayor calor de entrada se limita a soldar en posiciones planas.

Seleccionando el gas de protección optimo para la transferencia de rocío toma algunas consideraciones para entender la aplicación y efecto de cada componente del gas que va a contribuir para la eficiencia en deposición y costo, ambiente, y propiedades mecánicas.

Argón puro produce alto arcos de voltaje y subsiguiente mente mayores longitudes de arco, lo cual crea inestabilidad del arco y exceso de socavados en los bordes de las soldaduras. Por esta razón, del 5-20 % del dióxido de carbono es adicionado para crear una mezcla de argón –dióxido de carbono que estabiliza la transferencia de rocío.

En algunos casos 1 -5 % de oxígeno adicionado al argón para alcanzar una estabilidad superior del arco y mejorar el lazo (adhesión de soldadura) a los bordes.

Adiciones de oxígeno tienden a proveer mas ancho pero mas bajo perfiles de penetración comparados con las mezclas de dióxido de carbono, por sus propiedades de baja

ionización y alta conductividad térmica. Adiciones de oxígeno tienden a producir mejor tenacidad y resistencia por la ausencia de la retención de carbón asociada con las mezclas de dióxido de carbono.

En resumen: El desarrollo en el gas de protección ha guiado a diseñar gases de tres o cuatro componentes que ofrecen los mejores beneficios de cada uno y los porcentajes de los mismos serán en base a los requerimientos de cada caso.



Figura 18. Aplicación de soldadura por proceso GMAW.

10.3 Requerimientos de instalación.

Una vez seleccionado el método de fabricación se debe considerar ciertos requerimientos de fabricación de acuerdo a la guía de 6 pasos (1999). [2]

Área. Accesibilidad del lugar.

Tiempo de instalación. Esta limitado a una cantidad de tiempo de instalación.

Cuando este es el caso se puede realizar diseños para que la construcción sea en secciones. Ejemplo: diseñar un recipiente con una tolva de múltiples secciones puede eliminar el estar teniendo que mover las paredes, otros equipos, tuberías, y componentes

eléctricos en la planta y reducir el tiempo de instalación, produciendo que el costo total del proyecto puede ser reducido por el tiempo de instalación.

No debe olvidarse que para fabricación e instalación en secciones es necesario calcular la presión del material hacia las paredes del recipiente, esta depende de las propiedades del material base, patrón de flujo del material almacenado, y la geométrica del recipiente.

Se debe razonar cuidadosamente como agregar todos las partes como, puertas de acceso, agujeros de empuje, salidas de ayuda, sensores de nivel. Si se colocan mal pueden causar problemas de flujo. Para evitar esta situación, los dibujos de ingeniería deben ser revisados por el personal que especificó los requerimientos de operación.

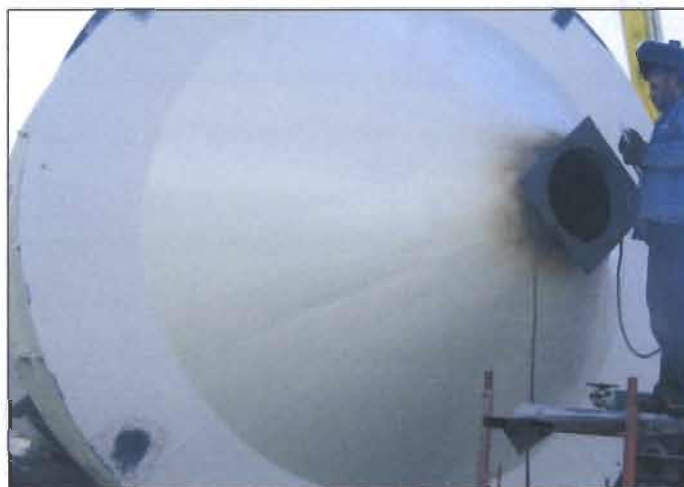


Figura 19. a) Armado del cono y base, b) instalación de entrada al cono c) armado del cono al cuerpo.

10.4 Fabricación.

Antes y durante la fabricación, se necesita asegurar que el fabricante interprete correctamente el diseño de detalles así como entender los diseños funcionales, de otra forma el fabricante puede cometer errores, como el aumentar o disminuir dimensiones.

Ejemplo: Un caso es el aumento leve en una brida, lo cual sería trivial para el fabricante, o hacer la brida más pequeña si esta cabe mejor en la salida.

Sin embargo el resultado va más allá que un simple ajuste, un aumento o disminución de una brida en un silo arrastra cambios en la velocidad de flujo que como se menciono anteriormente altera todo el sistema de producción del componente, calidad del producto y lo más importante costos extras, ya sea para reparación o nueva fabricación dependiendo de los “ajustes” hechos al recipiente en su totalidad.

Por eso se debe inspeccionar el recipiente antes de instalarse contra los detalles de diseño para asegurar que el recipiente cuenta con las especificaciones requeridas, no se debe omitir este paso ya que es más fácil arreglar estos problemas en esta etapa que después de instalado.



Figura 20. Fotografía que muestra error en las dimensiones de uno de los componentes para su ajuste con el resto del recipiente.

10.5 Recomendaciones.

Soldaduras de campo. Si el recipiente requiere soldadura de campo, las superficies deben ser cubiertas con paño contra incendios para prevenir chisporroteo de la soldadura y estropearlos.

Minimizar cualquier soldadura en la superficie inclinada, y soldaduras orientadas verticalmente y que sigan la dirección del flujo del material.

Recubrimientos. Algunas veces un recipiente prefabricado es embarcado con un recubrimiento protector. Antes de cargar el material dentro del recipiente, se debe remover el recubrimiento y restaurar la superficie a su condición original. Es común tener la falsa idea de que el flujo del material va a remover el recubrimiento y exponer la superficie bajo el recubrimiento. Si el recubrimiento tiene mas fricción que la superficie de la pared, el flujo no ocurrirá en las paredes por lo que el recubrimiento debe ser removido, pero una vez que se ha cargado el material dentro del recipiente, la única manera de remediar este problema es sacar la carga y ahora el problema real es descargar y/o limpiar las paredes.

Se puede tener un problema similar si se carga el recipiente con otro material diferente al designado.

11.

ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

Para evitar problemas en las últimas etapas del proyecto es necesario establecer programas de inspección en las diferentes etapas, con algunos de los siguientes puntos.

A). Estándares de soldadura.

Especificar Código.

Procedimientos de soldadura y especificaciones. WPS, PQR, WPQ.

B). Material para la fabricación.

Listado de materiales

Pruebas que se requieren para comprobar propiedades específicas.

Certificados de materiales.

C). Preparación del material.

Ordenes de compra.

Corte y forma de partes individuales.

Elaboración de hojas para etapa de corte que incluya lista de posibles operaciones como: corte es con guillotina, láser, plasma, manual, incluye ponchado, taladrado, dobléz y otras.

Especificación de operación para la fabricación de partes individuales.

Lista de requerimientos de material para el operador de esa área, con detalles de corte de acuerdo a orden o identificación del componente y tipo de material.

Utilización de registros para cada operación por individual.

Identificación de grupo de partes establecidos con números e identificación del cliente.

D). Fabricación.

Verificar ensamble antes de soldadura.

Utilizar registros de los dibujos y/o copias de la etapa de corte que se utilizaron para el ensamble.

Especificar proceso para puntear y que la aplicación de a soldadura sea en acuerdo con los dibujos de ensamble.

Inspección para verificar que las partes y componentes del ensamble estén completos.

Elaborar un reporte de inspección.

E). Soldadura.

Los dibujos de ensamble de soldadura se deben identificar con los procedimientos d soldadura especificados.

Verificar que la aplicación de soldadura sea de acuerdo a los dibujos de ensamble de soldadura.

Inspección con un registro completo de dimensiones.

Aplicación de pruebas no destructivas a los puntos especificados.

Realizar un reporte de inspección.

F). Limpieza.

Inspección final: Visual y dimensional para liberación.

Realizar reporte de inspección.

G). Otras verificaciones.

Pintura.

Preparación de la superficie.

Inspección visual.

Aplicación de recubrimientos primarios, secundarios y/o finales.

Inspección entre cada paso y medición d espesores.

Realizar reporte de inspección de pintura.

12.

PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

Dentro de las recomendaciones de seguridad como las de la OSHA (2004), la implementación de las pruebas no destructivas NDT (non destructive testing) en la inspección final, durante el proyecto, y durante su vida de servicio, resulta en un aseguramiento de la integridad estructural y seguridad del componente. [7]

Función: Se requiere detectar la discontinuidad, identificar la naturaleza de la misma y determinar su tamaño, esta clase de información es muy específica solamente en la naturaleza del defecto, el material y los detalles de las técnicas de la prueba, tratar de transferirla directamente a otras situaciones, no garantiza que sea igual de específica.

Se requiere que constantemente se validen procedimientos, equipo y personal, por lo que puede producirse confusión y problemas por la utilización de diversos métodos y técnicas, la aplicación redundante de pruebas independientes y repetitivas.

Finalmente es útil notar que la seguridad depende de la evaluación del defecto más largo que pudo perderse y no en el más pequeño encontrado.

La variedad de las mismas crece conforme aumentan los requisitos de inspección por lo que se pueden encontrar: simples y económicas, hasta las más sofisticadas.

Cabe destacar que las nuevas recomendaciones son combinaciones de varias pruebas.

Ejemplo:

Para los recipientes sometidos a condiciones de servicio severo es común recurrir a inspección visual, Ultrasonido sin embargo esto es impracticable para analizar al 100 % soldaduras que se encuentran intermedias o en la parte alta de un recipiente.

Por lo que han surgido otras técnicas como:

12.1 Inspección por láser.

La instalación de este tipo de láser permite que trabaje en un corto tiempo entre el vaciado y llenado del material y evita la espera de vaciar y parar proceso para realizar una inspección interna y permite determinar principalmente los siguientes puntos:

- Comparar el grado de deformación de las paredes de un recipiente a otro y determinar el estado de cada uno.
- Enfocar una inspección mas detallada en las soldaduras cercanas a las áreas deformadas.
- Comparar el cambio de deformaciones y predecir cuando un abombamiento es inaceptable.

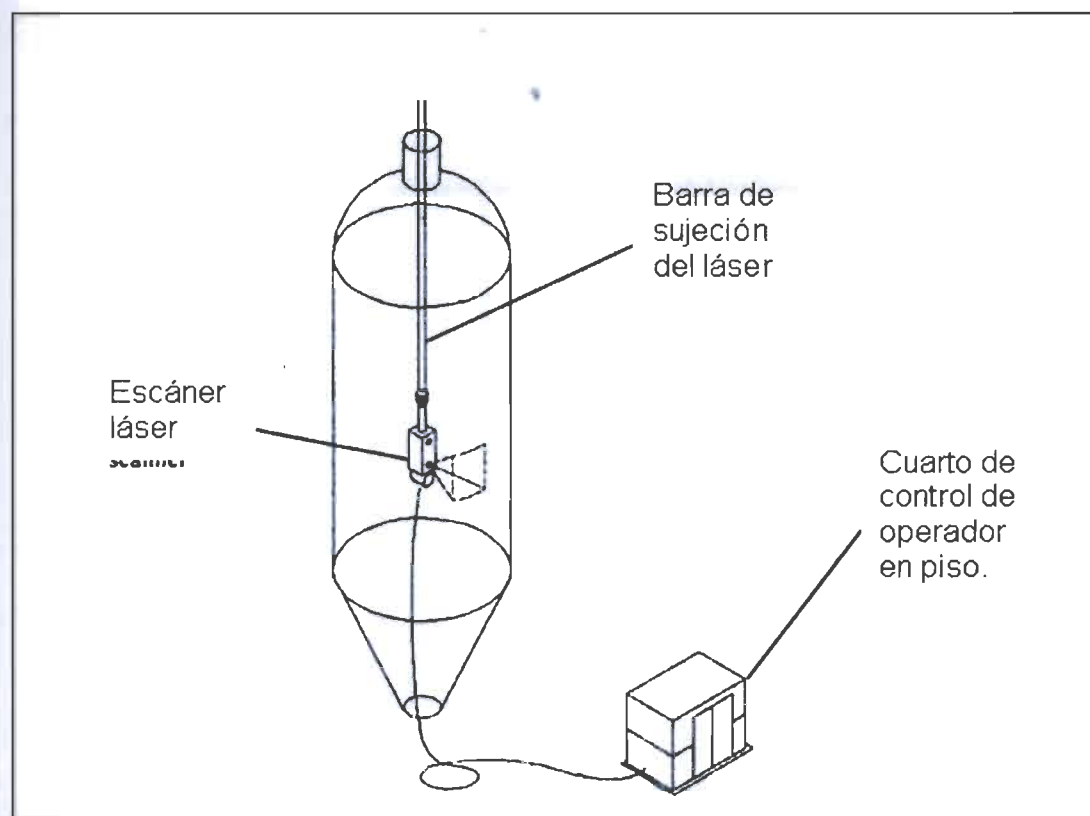


Figura 21. Esquema de la técnica de inspección por láser

12.2 Inspección con Cámara de video.

Esta técnica coincide con la anterior pero en lugar de un láser, incluye un video cámara a color con lentes de alta resolución que permita una vista detallada del interior que permite identificar grietas y defectos en la superficie, esta técnica depende de la limpieza del recipiente para su inspección y al igual que la técnica de láser evita paros de proceso para inspecciones internas. Otra ventaja es la impresión de la inspección.

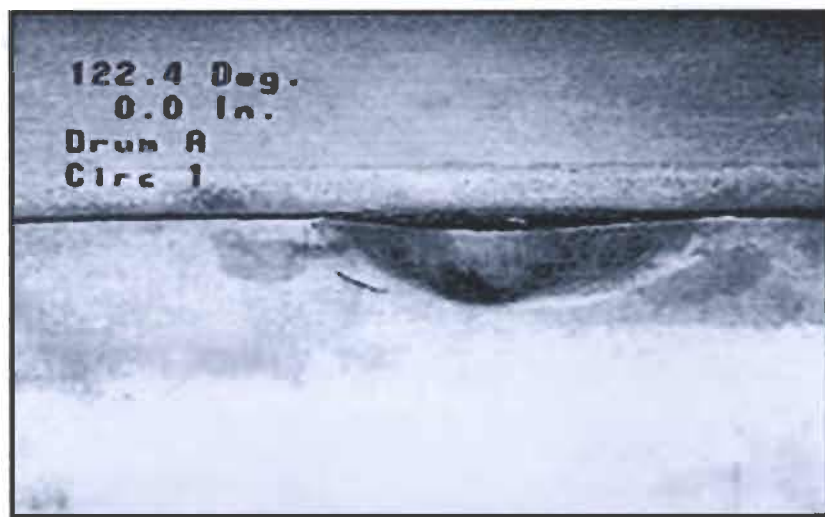


Figura 22. Imagen obtenida por la técnica de inspección de cámara de video, que muestra inicio de abombamiento en una sección de la pared.

13.

MANTENIMIENTO DEL RECIPIENTE.

Los siguientes puntos se desarrollaron en base a la guía de 6 pasos (1999). [2]

13.1 Carga del material.

Es normal que la carga del recipiente con los materiales producidos durante el arranque produzca problemas, por que a menudo el contenido de la mezcla es substancialmente diferente, y el tamaño de partículas, composición química y estructura superficial no van a dar los resultados exactos producidos en los ensayos de flujo del material.

13.2 Después de la instalación.

Se requiere de un ingeniero que maneje los diseños de detalle y funcionales y estar presente, se debe verificar que el arranque envuelve la carga del recipiente y la descarga del material se presente como fue requerido desde la salida.

13.3 Después del arranque.

Se requiere una inspección de rutina para prevenir problemas, como monitorear la linealidad, el recubrimiento, y factores que puedan producir problemas de flujo, para las paredes del recipiente la presencia de puntos pequeños causados por la vestidura y corrosión, especialmente alrededor de la interfase del cilindro y salidas. Esto puede ayudar enormemente a evitar problemas estructurales serios.

Inspeccionar la soldadura y la estructura de soporte para identificar cualquier deterioro que necesite reparación.

Inspecciones de rutina para las válvulas de relevación para prevenir la sobresaturación de recipiente, e inspecciones relacionadas con filtros de eliminación de polvo, juntas de alimentadores y sellos.

13.4 Cambios de carga.

Si se decide almacenar diferentes materiales en el recipiente, se debe estar seguro considerar mas que una densidad igual, considerar si el flujo del material es diferentes que las del material original, ya que el patrón de flujo a considerar a través del recipiente puede ser diferente e imponer tensiones diferentes y causar que secciones de la pared del recipiente que no están diseñadas para manejar altas tensiones resulten en una falla del recipiente.

14.

SOLUCIONES PARA EXTENDER LA VIDA DE LOS RECIPIENTES

En esta sección presento ejemplos sencillos y algunas soluciones para cada caso.

14.1 Caso 1: Ciclos de servicio severo.

Problema: Abombamiento y agrietamiento eventual en las soldaduras circunferenciales.

Solución 1. 1980. Reducir el tiempo del ciclo térmico. Lo mas lógico para evitar este problema es minimizar los tiempos de los ciclos térmicos para retrasar la velocidad de distorsión y aparición de grietas, sin embargo esta solución no es viable por que no es costeable debido por ejemplo en caso de los de coque a la calidad final del producto por la disminución de calor, además de la disminución en la productividad. [9] [6]

Solución 2. Cambio en los espesores del recipiente.

2000. Es común mas no lo ideal, que el diseño del recipiente para el curso de cada espesor del cascaron, presentan variabilidad linear, un valor mínimo en la parte alta del recipiente y el valor máximo en el fondo del recipiente, es típico que las reducciones sean escalonadas de un cascaron a otro, estas reducciones en el diseño se utilizan por la reducción de costos en el total del recipiente en función de peso- espesor, pero este "ahorro" da como resultado perfiles de soldadura compuestos o efecto de rigidez (Stiffening efect) y se encuentra siempre presente.

Algunas de las aproximaciones más comunes es mantener un espesor de cascaron uniforme a través del recipiente, específicamente para materiales mayores de 2 pulgadas de espesor.

A pesar de que esta propuesta tiene merito técnico no necesariamente es practica.

Por ejemplo el tratar de reducir la resistencia a la cedencia de la uniones mal hechas entre el metal base y el metal de soldadura es difícil junto con muchas de las variables envueltas y sin mencionar el costo, el cambio de espesor para un mismo diseño y especificando uniformemente el curso del cascarón a través del recipiente, aunque muestra algo de reducción a la tensión máxima producida por los ciclos térmicos, no reduce completamente el efecto de rigidez de las soldaduras circunferenciales y es también costoso. [9] [6]

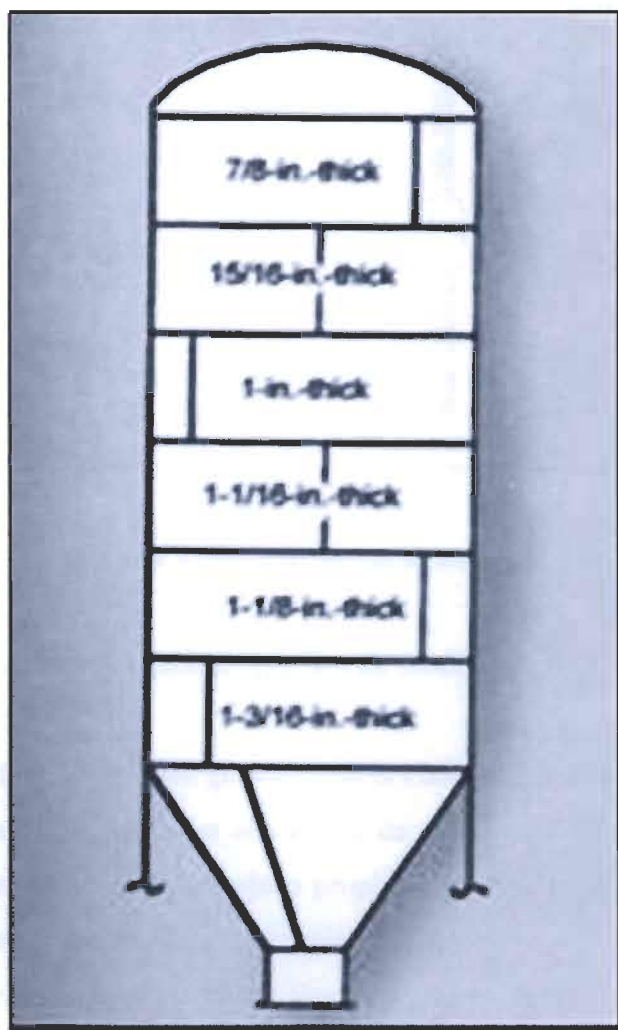


Figura 23. Esquema del diseño típico de un recipiente con diferentes espesores.

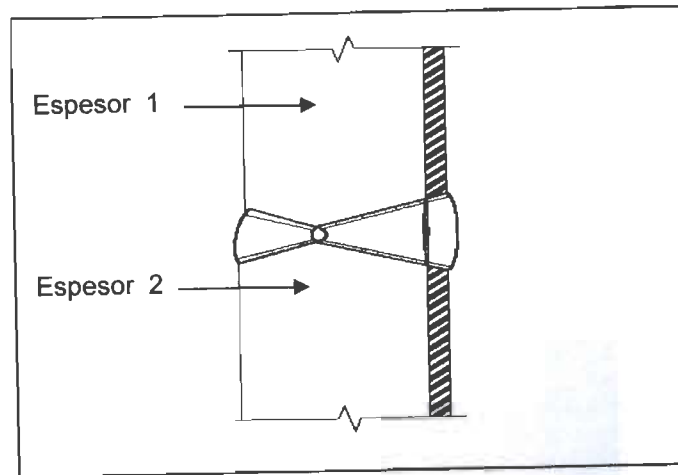


Figura 24. Esquema de perfiles de soldadura.

Solución 3. El desbaste de la mezcla de perfiles de soldadura.

2000. El desbaste reduce los efectos geométricos del iniciador de la tensión cerca de las uniones de soldadura, puede extender el servicio de vida de las uniones de soldadura y ser rentable si esta especificado y manejado propiamente; Sin embargo las reparaciones de las uniones de soldadura eventualmente serán inevitables.

Mientras la tensión causada por los ciclos térmicos, puede temporalmente ser acortado poniendo en ejecución alguna de estas soluciones, ninguna ha sido efectiva para prevenir la distorsión completamente. [9] [6]

Solución 4. Placas verticales.

2002- 2004. Esta tecnología que implementa el uso de placas verticales, no solo reduce abombamientos y agrietamientos si no también aumenta el tiempo de vida productiva y reduce los costos de mantenimiento.

Uno es el hecho del efecto de rigidez resultado de las soldaduras circunferenciales, que son las guías para la distorsión y agrietamiento, en esta propuesta, disminuye el uso de soldaduras circunferenciales por las soldaduras longitudinales para hacer los cascarones donde aparentemente no son afectadas por los ciclos térmicos excepto donde estas soldaduras se intersecan en la circunferencia.

Dependiendo de las limitaciones de tamaño de las placas arriba de 5 soldaduras circunferenciales pueden ser eliminadas del recipiente, resultando en un cascaron cilíndrico que puede asegurar mas ciclos térmicos severos. El concepto es aplicable no solamente a nuevas construcciones, si no también para aplicaciones de reparación, donde las secciones del cono y la cabeza son reducidas. [9] [6]

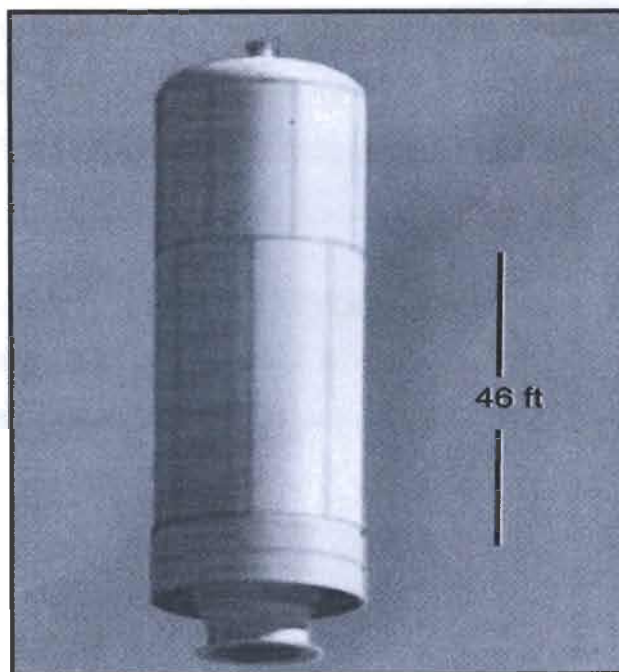


Figura 25. Diseño de un recipiente con placas verticales.

14.2 Caso 2. Condiciones de servicio de ambientes químicos.

Problema: Agrietamiento en o cerca de la soldadura, principalmente en equipos como absorbedores, generadores y recipientes intercambiadores de calor, en al tuberías y equipos auxiliares.

Solución 1. Relevado de esfuerzos.

1999. Los Relevados de esfuerzos parecen ser procesos adecuados para la fabricación de nuevos recipientes, pero también son eficaces para recipientes viejos después de ser sometidos a reparaciones, es dudoso en parte por que es pequeño, y grietas indetectables pueden estar presentes. [7] [86]

Solución 2.

1999. Utilizar aceros de menor resistencia para los nuevos recipientes. Al igual que en el caso anterior se requieren mayores estudios para corroborar que el cambio de material realmente es costeable. [7] [8]

Solución 3. Programas de inspección y verificaciones periódicas.

1999. Para recipientes con más de 5 años en servicio, con pruebas no destructivas para sondear el estado de la soldadura, lo más recomendable es ultrasonido (UT) y Partículas magnéticas fluorescentes (WFMT). [9] [6]

Solución 4.

2005. Recomendación más común para cualquier componente sometido a condiciones de corrosión excesiva: Uso de recubrimientos, los cuales se presentan en grandes variedades y precios, o también la protección anódica. [9] [6]

15.

CONCLUSIONES

El factor determinante para el desarrollo de cualquier proyecto es el *costo*, ya que en base a este se produce toda la selección y avance del mismo.

Por lo que el correcto desarrollo sin errores en el proceso para el diseño y fabricación del recipiente a presión dependerá de la inversión monetaria que se emplee para el mismo.

Los puntos mas comunes que conducen fácilmente a errores y un fracaso seguro son los siguientes:

1. Omitir las consideraciones anteriores para el desarrollo de un recipiente a presión.
2. Minimizar costos en las diferentes etapas del proyecto.
 - Cotización
 - Selección del material

A). Etapa inicial o cotización.

Un error común y grave es cotizar el proyecto ahorrando costos de manera que se limiten consideraciones como las mencionadas anteriormente, y en la mayoría de los casos por ganar un contrato, que a la larga solo incluirá un aumento en el precio de la cotización inicial y perdida de confianza del cliente.

En muchos casos es debido a que el encargado de las cotizaciones no conoce todos los aspectos que envuelven las etapas para el desarrollo del proyecto: como son especificaciones de materiales, pinturas, soldadura, pruebas no destructivas, entre otros y solo se limitan a cotizaciones sobre valor (pesos) /peso (kilos).

Por lo que la clave esta en cotizar proyectos en acuerdo con los aspectos anteriores para que en el avance no se disminuya la calidad en algunos aspectos para obtener un balance y no variar el costo inicial.

Un ejemplo es utilizar materiales con las especificaciones mínimas requeridas que no en todos los casos es funcional y que puede entorpecer todo un avance como seria utilizar material base y de aporte adecuado, pero una pintura de baja calidad y finalmente obtener un acabado de bajo nivel, y arruinar la calidad y trabajo de las etapas anteriores.

B). Desarrollo del Diseño.

Se pueden tener todos los datos completos del diseño funcional pero al plasmarlos en la ingeniería de detalles se omiten datos importantes o se generalizan, para supuestamente ahorrar tiempo y costo en el desglose de componentes, o querer minimizar planos en arreglos y detalles generales, lo cual puede arrastrar errores en las siguientes etapas por falta de detalles.

Como el omitir cotas mínimas de corte para una sola pieza, que tal vez se va a fabricar más de una vez o un detalle de soldadura que cambie de una pieza a otra, lo que produciría retrabajo o fabricar de nuevo.

C). Fabricación.

Equipos, la falta de inversión en los mismos, lo que produce gastos en mantenimiento de equipos obsoletos que solo retrasan el desarrollo y producen malos acabados como rolandoras y maquinas de corte entre otras, que implican nuevamente retrabajos y fabricación.

D). Personal.

- No capacitado
- Malas practicas

Fabricación

A pesar de tener los diseños de ingeniería y detalles correctamente, el error frecuente es contratar personal no capacitado también para una aparente disminución de costos, sin embargo a la larga esto representa costos adicionales en retrabajos, reparaciones e incluso fabricación de nuevos componentes, capacitación y/o calificación del personal.

Malas Prácticas del personal

Producto de una falta de capacitación y/o entrenamiento, no cumplir y /o seguir un plan de aseguramiento de calidad que incluya todas las etapas del proceso.

Algunas de las más comunes son:

- Diseño. Interpretación incorrecta de planos
- Corte del material. Mal trazado y no verificar dimensiones como cuadratura de los cuerpos, desarrollo en los trazos para contemplar perímetro total, falta de excedente para el rolado, mala preparación de biseles, entre otros.
- Armado y fabricación.

Exceso de uso de rigidizadores y anclas de armado para unión o ajuste, mala separación entre placas, excesos de golpes de arco, mala operación de desprendimiento de rigidizadores de armado, mala reparación de daño al metal base, no utilizar plantillas, no verificar trazos contra plantillas, manejo inadecuado del material de aporte y/o de equipos, falta de equipos para maniobrar y el uso de herramientas y/o equipos inadecuados.

E). Comunicación.

Otro punto importante es la falta de comunicación, por que se puede contar con todos los aspectos anteriores adecuados (personal, diseños, equipo y material), pero la información entre los diferentes niveles de operación no se transmite correctamente, ya sea por que se pierden detalles o simplemente no se comunican por completo, y son estos detalles los que se maximizan al final en errores.

F). Limitarse al desarrollo de nuevas tecnologías en diseño y fabricación.

G). Falta de conocimiento y/o aplicación en inspección y mantenimiento preventivo.

16.

BIBLIOGRAFÍA

1. Casting Guidebook to ASME Section VIII Div.1 Fourth Edition.

Ball Bruce E. and Carter Will J.

2005.

2. Adjusting the boiler code.

Canonico Domenic A.

1999

3. Coke Drum life Improvement – a combined approach.

Clark Rick D., Rutt Daryl K. and CIA Inspection

2002

4. How to optimize Mild Steel GMAW.

Green Richard

2004

5. Herramientas para el diseño de recipientes a presión.

Leiva Loaiza David

2005

6. Pressure Vessel.

Occupational Safety and Health Administration. (OSHA)

1999

7. Six steps to designing a storage Vessel that really Works.
Purutyán Herman, Brian H.Pittenger and Dr. Jhon Pittenger.
November 1999.

8. Diseño de un silo cilíndrico para el almacenamiento de productos granulares.
Ravenet Regales, Juan Ignacio
2004

9. Analysis of the catastrophic Rupture of a pressure Vessel.
Siewert Tom
1999

10. Vertical Plate Technology extends the life of coke drums.
Stewart Coby.
2004