



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN**

**"DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL MEDIANTE LA
INSPECCIÓN DE PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS DE UN
TANQUE CILÍNDRICO ATMOSFÉRICO DE 500 MBLS
QUE ALMACENA CRUDO EN DOS BOCAS TABASCO"**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO
ÁREA MECÁNICA

P R E S E N T A :
RICARDO GARCÍA ORTIZ

ASESOR:
ING. JAVIER NAVA PÉREZ

MÉXICO

2007





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Con cariño, respeto y admiración a los seres tan maravillosos que me dieron la vida.

Emilio Garcia Ramírez

y

Maria Ortiz Santiago.

De quienes quedare agradecido toda la vida, por haberme dado la oportunidad de hacer realidad una de mis metas, por haberme brindado su apoyo incondicional y hacer de mi lo que ahora soy. Les dedico este libro en agradecimiento a su sacrificio, paciencia, amor, esfuerzo y confianza.

GRACIAS

A mis hermanas y sobrinos que me han brindado su apoyo y han creído en mí sin ninguna reserva.

Alejandra.

Ana Rosa.

Brayan.

Kevin.

Ricardo.

Y que han estado conmigo siempre, en las buenas y en las malas. A todos ellos que han sido un soporte muy importante durante toda mi vida.

GRACIAS



Agradezco a todos los profesores que me ayudaron y guiaron en la formación durante la estancia en la Universidad, pero en especial al asesor de esta tesis el Ing. Javier Nava Pérez.

GRACIAS

Y a todos mis amigos de la Universidad agradezco el apoyo que me brindaron y les deseo mucha suerte en la vida y muchas.....

GRACIAS



INDICE

Capítulo I	Pag.
I.- Antecedentes.....	1
I.1.- Breve reseña histórica.....	1
I.2.- Tipos de Tanques de Almacenamiento.....	2
I.2.1.- Tipos de Techos.....	4
I.2.1.1.- Techo Fijo.....	4
I.2.1.1.1.- Techos Soportados.....	5
I.2.1.1.2.- Techos Autosoportados.....	6
I.2.1.2.- Los Techos Flotantes.....	7
I.3.- Materiales Recomendados para Tanques Atmosféricos.....	8
I.3.1.- Placas.....	9
I.3.2.- Láminas.....	14
I.3.3.- Materiales para la Soldadura.....	14
I.3.4.- Tuberías y Bidas.....	16
I.3.5.- Tornillos.....	20
I.3.6.- Perfiles Estructurales.....	21
I.4.- Diseños de las Juntas Soldadas.....	22
I.4.1.- Soldadura en las Juntas Verticales del Cuerpo.....	23
I.4.2.- Soldadura en las Juntas Horizontales del Cuerpo.....	23
I.4.3.- Soldadura del Fondo.....	24
I.4.4.- Soldadura de las Juntas de la Placa Anular del Fondo.....	24
I.4.5.- Soldaduras de las Juntas del Cuerpo-Fondo.....	24
I.4.6.- Soldaduras de Juntas del Techo y Perfil de Coronamiento.....	25
I.5.- Diseño de Boquillas en los Tanques de Almacenamiento.....	25
I.5.1.- Entradas Hombre.....	25
I.5.2.- Venteos.....	26
I.5.3.- Drenes y Sumideros.....	26
I.5.4.- Escaleras y Plataformas.....	26
I.5.4.1.- Requerimientos para Plataformas y Pasillos Especificado por API 650.....	26
I.5.4.2.- Requerimientos para Escaleras Especificado por API 650.....	27
I.6.- Diseño y Calculo de Tanques de Almacenamiento.....	27
I.6.1.- Diseño del fondo.....	28
I.6.2.- Diseño y calculo del cuerpo (envolvente).....	29
I.6.2.1.- Cálculo de espesores del cuerpo (envolvente) por el método de un pie....	31
I.6.3.- Diseño y calculo de techos.....	31
I.6.3.1.- Diseño y cálculo de techos cónicos Autosoportados.....	32
I.6.3.2.- Diseño y cálculo de techos tipo domo y sombrilla Autosoportados.....	32
I.6.3.3.- Diseño y cálculo de techos cónicos soportados.....	33
I.6.3.4.- Diseño de techos flotantes cubiertos.....	34



CAPITULO II

II.- Formas de Corrosión.....	35
II.1.- Ambientes de corrosión.....	36
II.1.1.- Ambientes atmosféricos.....	36
II.1.1.1.- La temperatura.....	37
II.1.1.2.- Las atmósferas industriales.....	37
II.1.1.3.- Las atmósferas marinas.....	37
II.1.1.4.- Las atmósferas rurales.....	38
II.1.1.5.- Las atmósferas áridas.....	38
II.1.1.6.- Las atmósferas tropicales.....	38
II.1.2.- Ambientes subterráneos.....	38
II.1.2.1.- Características físicas del suelo.....	39
II.1.2.2.- Características químicas del suelo.....	39
II.1.2.3.- El contenido de humedad.....	39
II.1.2.4.- La resistividad eléctrica.....	39
II.1.2.5.- La aireación.....	40
II.1.2.6.- Bacterias.....	40
II.1.3.- Ambientes líquidos.....	40
II.1.3.1.- La configuración física del sistema.....	41
II.1.3.2.- La composición química del líquido.....	41
II.1.3.3.- Caudal (velocidad del fluido).....	41
II.1.3.4.- La temperatura.....	42
II.1.3.5.- La presión.....	42
II.1.3.6.- Organismos biológicos.....	42
II.1.4.- Ambientes de temperatura elevada.....	42
II.1.4.1.- Oxidación a alta temperatura.....	42
II.1.4.2.- La reducción de alta temperatura.....	43
II.2.- Formas de Corrosión.....	43
II.2.1.- Ataque General de la Corrosión.....	44
II.2.1.1.- Reconocimiento.....	44
II.2.1.2.- El mecanismo.....	45
II.2.1.3.- Velocidad de la corrosión.....	45
II.2.1.4.- Previsibilidad y medida.....	45
II.2.1.5.- Control del ataque general de la corrosión.....	46
II.2.2.- Corrosión localizada.....	46
II.2.2.1.- Corrosión por Picaduras.....	47
II.2.2.1.1.- El mecanismo.....	47
II.2.2.1.2.- Velocidad de las picaduras.....	47
II.2.2.1.3.- La medida y previsibilidad.....	48
II.2.2.1.4.- El control de la corrosión por picaduras.....	49
II.2.2.1.5.- La selección de los materiales.....	49
II.2.2.1.6.- La modificación del ambiente.....	49
II.2.2.1.7.- Capas protectoras.....	49



II.2.2.1.8.- Las técnicas electroquímicas.....	50
II.2.2.1.9.- Diseño.....	50
II.2.2.2.- Corrosión por hendiduras.....	50
II.2.2.2.1.- El mecanismo.....	50
II.2.2.2.2.- El funcionamiento de los metales y las aleaciones.....	52
II.2.2.2.3.- Control de la corrosión por hendiduras.....	52
II.2.2.2.4.- La selección de los materiales.....	53
II.2.2.2.5.- El diseño.....	53
II.2.2.2.6.- La protección catódica.....	53
II.2.3.- Corrosión galvánica.....	53
II.2.3.1.- Serie galvánica.....	54
II.2.3.2.- La velocidad de la corrosión galvánica.....	54
II.2.3.3.- La diferencia de potencial.....	55
II.2.3.4.- La naturaleza del ambiente.....	55
II.2.3.5.- Polarización.....	55
II.2.3.6.- Efectos espaciales: Área, Distancia, y efectos geométricos.....	55
II.2.3.6.1.- Área de los efectos.....	56
II.2.3.6.2.- Efectos de la distancia.....	56
II.2.3.6.3.- Los efectos geométricos.....	56
II.2.3.7.- Previsibilidad del Ataque galvánico.....	56
II.2.3.8.- El control del ataque galvánico.....	57
II.2.3.9.- Diseño.....	57
II.2.3.10.- Selección de materiales.....	57
II.2.3.11.- El aislamiento eléctrico.....	57
II.2.4.- Agrietamiento ambiental.....	58
II.2.4.1.- Mecanismo.....	58
II.2.4.2.- Reconocimiento del agrietamiento ambiental.....	58
II.2.4.3.- Factores que controlan las grietas.....	58
II.2.4.4.- Tipos de grietas ambientales.....	59
II.2.4.4.1.- Agrietamiento por corrosión bajo tensión (SCC).....	59
II.2.4.4.1.1.- Mecanismo.....	59
II.2.4.4.2.- Agrietamiento inducido por hidrogeno (HIC).....	60
II.2.4.4.2.1.- Mecanismo.....	60
II.2.4.5.- Corrosión por fatiga.....	60
II.2.5.- Corrosión por flujo.....	61
II.2.5.1.- Corrosión por erosión.....	61
II.2.5.2.- Corrosión por cavitación.....	62
II.2.5.2.1.- Corrosión por cavitación - Representación de metales y sus aleaciones.....	62
II.2.5.2.2.- Control de corrosión por flujo.....	62
II.2.5.2.3.- Diseño.....	63
II.2.5.2.4.- Selección de materiales.....	63
II.2.5.2.5.- Modificación del ambiente.....	63
II.2.5.2.6.- Capas protectoras.....	63
II.2.5.2.7.- Protección catódica.....	63



II .2.6.- Corrosión Intergranular.....	64
II .2.6.1.- Reconocimiento.....	65
II .2.6.2.- Mecanismo.....	65
II .2.6.3.- Corrosión intergranular de aceros inoxidables.....	65
II .2.6.4.- Sensibilización general.....	65
II .2.6.5.- Deterioro de la soldadura.....	66
II .2.6.6.- El control de la corrosión intergranular.....	66
II .2.6.7.- Selección de materiales.....	66
II .2.6.8.- Diseño.....	66
II .2.6.9.- Utilización de procedimientos de soldadura apropiados.....	66
II .2.6.10.- Tratamiento térmico.....	66

CAPITULO III

III.- Inspección de tanques de almacenamiento de productos derivados de petróleo.....	67
III.1 Periodos de Inspección.....	68
III.1.1 Periodos para la Inspección Externa.....	69
III.1.2 Periodos para la Inspección Interna.....	69
III.2 Desarrollo de los trabajos de inspección visual interna y externa.....	69
III.2.1 Definición y descripción del método.....	69
III.2.2 Pruebas visuales directas y remotas.....	70
III.2.3 Aplicaciones y Herramientas para la Inspección Visual.....	70
III.2.3.1 Lentes.....	71
III.2.3.2 Iluminación.....	71
III.2.3.3 Calibradores y herramientas.....	72
III.2.3.4 Endoscopios (Boroscopios).....	72
III.2.4 Ventajas de la inspección visual.....	73
III.2.5 Limitaciones de la inspección visual.....	73
III.3 Medición de espesores de pared con equipo ultrasónico.....	73
III.3.1 Descripción y definición del método.....	74
III.4 Localización de las mediciones.....	75
III.4.1 Localización de mediciones en placas del cuerpo.....	76
III.4.2 Localización de mediciones en placas del fondo.....	76
III.4.3 Localización de mediciones en placas del techo, boyas y pontón.....	77
III.4.4 Localización de mediciones en placas de los anillos rigidizantes.....	77
III.4.5 Localización de mediciones en cuellos de boquillas y registros de hombre.....	77
III.4.6 Localización de mediciones en puertas de limpieza.....	78
III.5 Inspección con líquidos penetrantes a uniones soldadas.....	78
III.5.1 Definición y descripción del método.....	78
III.5.2. El proceso de líquidos penetrantes.....	82
III.5.2.1. Preparación de la superficie.....	82
III.5.2.1.1 Métodos de limpieza.....	82



III.5.2.2. Aplicación del penetrante.....	83
III.5.2.2.1 Tiempo de Penetración.....	84
III.5.2.3. Remoción del exceso de Penetrante.....	84
III.5.2.4 Aplicación del Revelador.....	84
III.5.2.5 Inspección.....	84
III.5.2.6 Limpieza final.....	85
III.5.3 Ventajas de los líquidos penetrantes.....	85
III.5.4 Limitaciones de los líquidos penetrantes.....	85
III.6 Inspección con Partículas magnéticas.....	86
III.6.1 Definición y descripción del método.....	86
III.6.2. Secuencia de la inspección con Partículas Magnéticas.....	87
III.6.2.1. Limpieza.....	87
III.6.2.2. Magnetización de la Pieza.....	87
III.6.2.3. Corriente de magnetización.....	88
III.6.2.4. Aplicación de las partículas.....	88
III.6.2.5. Desmagnetización.....	89
III.6.3 Ventajas de las partículas magnéticas.....	89
III.6.4 Limitaciones de las partículas magnéticas.....	90
III.7 Inspección por ultrasonido.....	90
III.7.1 Procedimiento.....	90
III.7.2 Ventajas de la Inspección por Ultrasonido.....	91
III.7.3 Limitaciones de la Inspección por Ultrasonido.....	92
III.8 Inspección de Peaking y Bandung.....	92
III.8.1 Inspección por Peaking:.....	92
III.8.2 Banding.....	93
III.9 Inspección con Cámara de vacío.....	99
III.9.1 Equipo y materiales.....	99
III.9.1.1 Equipo:.....	99
III.9.2 Personal.....	99
III.9.3 Preparativos para la inspección.....	100
III.9.4 Reportes.....	100

CAPITULO IV

IV.- Determinación de la vida útil de un tanque de almacenamiento atmosférico, que utiliza una empresa mexicana ubicado en dos bocas tabasco.

IV.1 Reporte Técnico.....	102
IV.2 Realización de la Inspección visual.....	103
IV.3 Inspección del fondo.....	108
IV.4 Inspección del cuerpo por Peaking y Bandung.....	110
IV.5 Inspección del techo flotante.....	113
IV.6 Inspección de boquillas, puertas de limpieza y registros.....	115



<i>IV.7 Inspección de tuberías de entrada y salida del producto, así como de su soportería, mediante la medición de espesores.....</i>	<i>116</i>
<i>IV.8 Replicas metalográficas y prueba de dureza.....</i>	<i>117</i>
<i>IV.9 Análisis.....</i>	<i>118</i>
<i>IV.10 Conclusiones.....</i>	<i>120</i>
Anexos.....	130
Glosario.....	136
Referencia bibliografica.....	141



Introducción

Para las épocas venideras, la relación entre los recursos naturales y el ser humano, se harán tan complejas y eficientes que la sociedad estará estrechamente ligada a la tecnología a tal magnitud, que las áreas de ingeniería serán los pilares de las comunidades por la prontitud de solución en todas las actividades del quehacer humano.

*En la industria petrolera, petroquímica y otras industrias son utilizados distintos tipos de tanques con grandes dimensiones para almacenar una gran variedad de productos como son: **crudo y sus derivados, butano, propano, GLP, solventes, agua, etc.**, esto hace necesario el construir, inspeccionar, reparar, modificar y reconstruir aplicando las recientes tecnologías disponibles en México.*

*En el diseño para proveer a la industria petrolera con tanques seguros y razonablemente económicos para su uso en el almacenamiento de **petróleo, productos del petróleo y otros líquidos comúnmente manejados y almacenados por varias ramas de la industria.***

*En este trabajo se evaluará un tanque de almacenamiento atmosférico para determinar su vida útil estimada (**VUE**), en base a la velocidad de corrosión que presente, este monitoreo se realizara por medio de la medición de espesores de pared de todas las placas del tanque como se describe en el capítulo III. Así mismo obtendremos su fecha de próxima medición de espesores (**FPME**) y la fecha de retiro probable (**FRP**) con la finalidad de mantener la integridad de los tanques cilíndricos atmosféricos, en los cuatro capítulos se muestra una forma concisa y fácil para lograrlo, a continuación se realiza un resumen de cada uno de los capítulos a tratar .*

Primer capítulo. *Se exponen los diferentes tipos de tanques de almacenamiento, los tipos de techos y las características de los materiales a utilizar en la construcción de tanques y las estructuras del mismo. Sustentado en la norma **API 650** (American Petroleum Institute), donde se apoya para cada ramo que interviene en el proceso de diseño.*

Segundo capítulo. *Este capítulo esta dedicado a las diversas formas de corrosión que existen, con la descripción de cada una de ellas. Entendiendo que el ambiente y los factores que afectan la corrosión son importantes para la comprensión de la misma. Este capítulo se sustenta en **Basic Corrosión Course (Nace Internacional)***

Tercer capítulo. *En este se exponen los diversos métodos de inspección no destructivos que se pueden emplear con la finalidad de garantizar la buena operación y la integridad mecánica de los tanques de almacenamiento para que puedan permanecer en servicio. Sustentado en la norma **API 653, ASME Sección V y ASTM.***



Cuarto capítulo. *En este se dará un informe técnico detallado de las inspecciones realizadas al tanque de almacenamiento ubicado en dos bocas tabasco y de acuerdo con los resultados obtenidos y formas descritas en este documento se pueda garantizar la buena operación del tanque y la integridad mecánica del mismo así como determinar los posibles paros y/o incluso la puesta fuera de servicio del tanque para realizar las reparaciones y/o modificaciones del tanque de almacenamiento.*

OBJETIVO

Este trabajo radica en la aplicación de la norma API 653 para mantener la integridad de tanques cilíndricos atmosféricos. Y de alguna forma presentar aspectos del procedimiento teórico-práctico que se aplica al proporcionar orientación en la inspección, reparación, modificación y reconstrucción de los tanques de almacenamiento de acero soldados utilizados en las industrias del petróleo y químicas.



CAPITULO I ANTECEDENTES



CAPITULO I ANTECEDENTES.

Los aspectos que involucran la realización de cualquier proyecto de la ingeniería, tiene sus fundamentos en normas, códigos y estándares que a través de su desarrollo han sido ya justificadas por la experiencia en esa área en particular.

En el caso de los tanques de almacenamiento de combustibles que son utilizados en la industria, las más utilizadas son las que edita el American Petroleum Institute, **API** (Instituto Americano del Petróleo). Y se interrelacionan con algunas; como la American Society of Mechanical Engineers **ASME** (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos), American Society of Testing Materials **ASTM** (Sociedad Americana para Pruebas de Materiales) y American Society for Nondestructive Testing **ASNT** (Sociedad Americana para Pruebas No Destructivas).

En este capítulo se tratara de dar un contexto general de los aspectos mas relevantes que se pueden considerar, para la construcción de un tanque cilíndrico atmosférico que almacena productos derivados del petróleo, apegándose a la norma **API 650** la cual nos refiere al diseño de tanques de acero soldados para almacenamiento de petróleo.

I.1 Breve reseña histórica.

El origen del Instituto Americano del Petróleo se remonta hasta antes de la primera guerra mundial, cuando el congreso y la industria doméstica del petróleo y gas natural trabajaron juntos en un esfuerzo de guerra. En ese momento la industria incluyo a las compañías creadas en 1911 después de que la impusiera la disolución de las compañías estándares de petróleo y las independientes. (Los estándares que pertenecían a la familia Rokefeler Y las independientes que eran compañías extranjeras). Estas compañías no tenían experiencia trabajando juntas, pero ellas acordaron hacerlo con el gobierno para asegurar el vital suministro de petróleo empleado para las fuerzas armadas.

El comité nacional de servicio de petróleo para la guerra, el cual vigilaba este esfuerzo, fue inicialmente formado por la cámara de comercio y subsecuentemente paso a ser casi un cuerpo gubernamental.

Después de la guerra, momento en que comenzó la creación de una asociación nacional que pudiera representar a toda la industria en los años de la posguerra. El esfuerzo de la industria por suministrar el combustible durante la primera guerra mundial no solo resalto la importancia de la industria para el país si no también la obligación para el público, como lo muestra un documento original que dice:

- Fomentar el comercio extranjero y nacional de productos petroleros.
- Promover el interés de la industria petrolera en todas ramas.
- Promover el progreso común de estos asociados y el estudio de las artes ligadas con el petróleo y la industria de gas natural.



Las oficinas **API** fueron establecidas en la ciudad de New York y la organización enfoca su esfuerzo en varias áreas específicas.

1.2 Tipos de Tanques de Almacenamiento.

Definir el termino **tanques atmosféricos** se refiere a tanques de almacenamiento cilíndricos verticales de acero, que trabajan a una presión aproximadamente igual a la atmosférica y sujetos a una carga igual a la presión hidrostática del liquido.

Los tanques se clasifican de diversas formas dependiendo del propósito para la cual la clasificación esta hecha, además forman parte de distintas operaciones en la industria, tales como:

- *producción*
- *tratamiento*
- *transporte*
- *refinación*
- *distribución*
- *reservas.*

Estos se pueden clasificar de acuerdo al método empleado para unir las placas de acero que forman el cuerpo (envolvente) del tanque. Así se mencionaran como, atornillados, riveteados (remachados) o soldados.

Los tanques de almacenamiento, se clasifican en:

1.- Cilíndricos Horizontales.

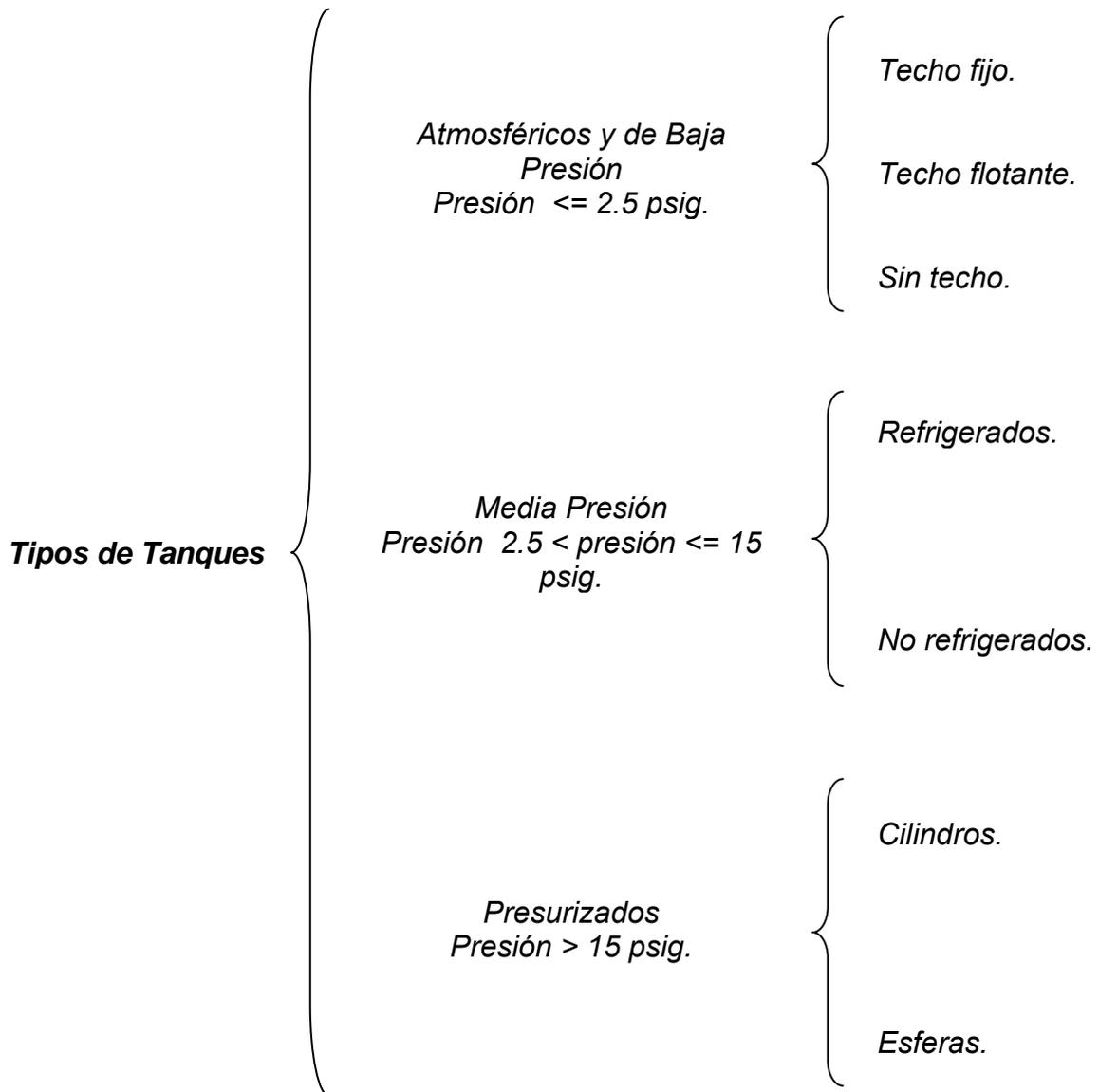
2.- Cilíndricos Verticales de Fondo Plano.

Los Tanques Cilíndricos Horizontales, generalmente son de volúmenes relativamente bajos, debido a que presentan problemas por fallas de corte y flexión. Por lo general, **se usan para almacenar volúmenes pequeños.**

Los Tanques Cilíndricos Verticales de Fondo Plano **nos permiten almacenar grandes cantidades volumétricas** con un costo bajo. Con la limitante que solo se pueden usar a presión atmosférica o presiones internas relativamente pequeñas.



Estos tipos de tanques se clasifican de la siguiente forma



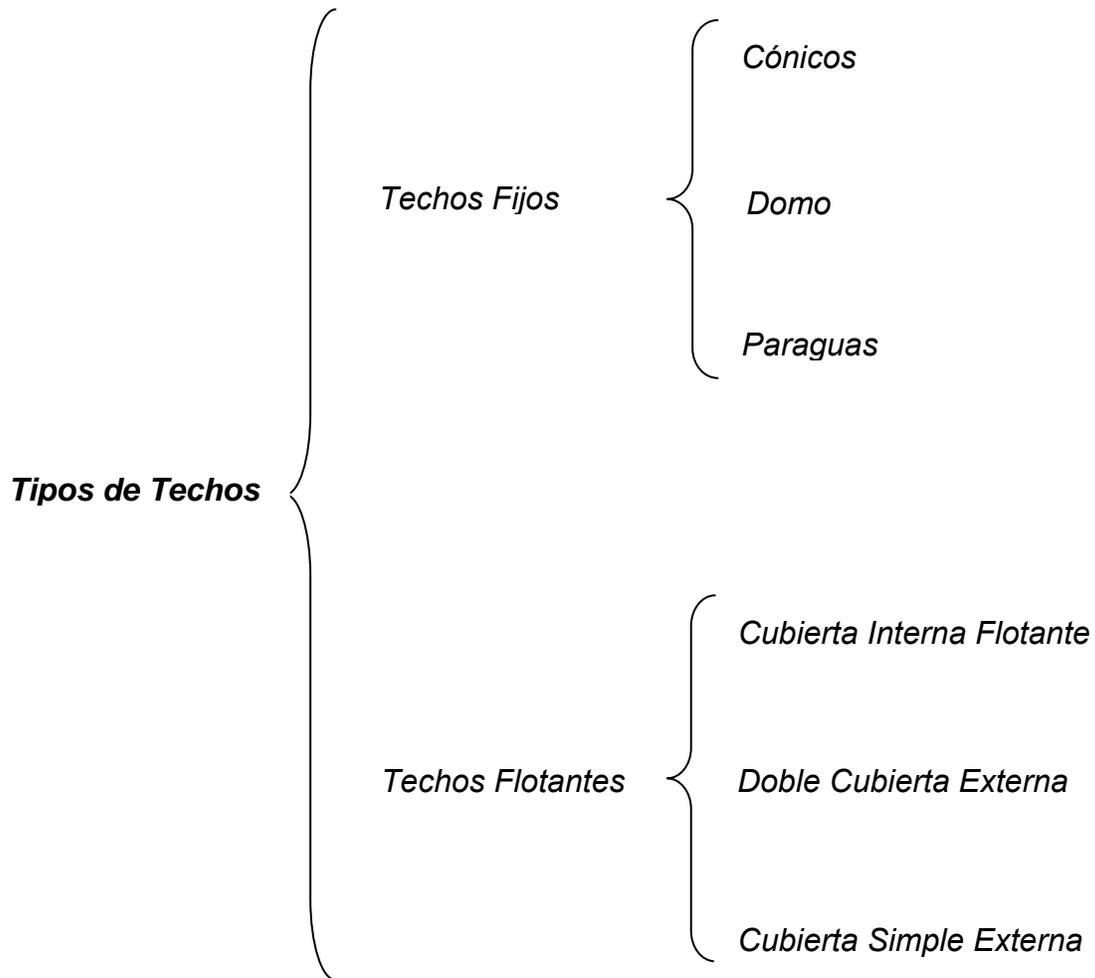
También se clasifican de acuerdo a la clase de materia que contendrá. En la industria petrolera se utilizan tanques de almacenamiento de diferentes tipos y tamaños, de acuerdo a la función que desempeñan, se agrupan en varias clases que son:

- Tanques cilíndricos verticales de techo fijo.
- Tanques cilíndricos verticales de techo flotante.
- Tanques cilíndricos horizontales atmosféricos.
- Tanques esféricos y semiesféricos.
- Tanques cilíndricos horizontales a presión.
- Tanques refrigeradores.



I.2.1 Tipos de Techos.

De acuerdo al estándar **API 650**, clasificaremos los tanques de acuerdo al tipo de techo, lo que nos proporcionará el servicio recomendable para éstos.



I.2.1.1. Techo Fijo.

Se emplean para contener productos **no volátiles o de bajo contenido de ligeros (no inflamables)** como son: **agua, diesel, asfalto, petróleo crudo, etc.** Debido a que al disminuir la columna del fluido, se va generando una cámara de aire que facilita la evaporación del fluido, lo que es altamente peligroso. Dentro de los techos fijos tenemos:

- *Techos soportados.*
- *Techos autosoportados.*



El techo cónico es una cubierta con la forma y superficie de un cono recto. El techo tipo domo es un casquete esférico y el tipo sombrilla, es un polígono regular curvado por el eje vertical.

I.2.1.1.1 Techos Soportados.

Los techos **soportados cónicos** se usan generalmente para tanques de gran diámetro, los cuales consisten en un cono formado a partir de placas soldadas a traslape, soportadas por una estructura, compuesta de columnas, traveses y largueros. Las traveses formarán polígonos regulares múltiples de cinco y en cada arista de estos se colocará una columna. Los polígonos compuestos por traveses se encargarán de soportar los largueros. El techo cónico es como el que se muestra en la figura I.1

Las juntas de las placas del techo estarán soldadas a traslape por la parte superior con un filete continuo a lo largo de la unión, la cual tendrá un ancho igual al espesor de las placas. La soldadura del techo, con el perfil de coronamiento, se efectuará mediante un filete continuo de 4.76 mm. (3/16 pulg.) o menor si la especifica el usuario.

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

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

Las columnas para soportar la estructura del techo se seleccionan a partir de perfiles estructurales, o puede usarse tubería de acero. Cuando se usa tubería de acero, debe proveerse ésta de drenes y venteos; la base de la misma será provista de topes soldados al fondo para prevenir desplazamientos laterales. Las uniones de la estructura deben estar debidamente ensambladas mediante tornillos, remaches o soldadura, para evitar que las uniones puedan tener movimientos no deseados.



Figura I.1



I.2.1.1.2 Techos Autosoportados.

Los techos **autosoportados** ya sean tipo **cónico, domo y paraguas**, tienen la característica de estar apoyados únicamente en su periferia, calculados y diseñados para que su forma geométrica, en combinación con el espesor mínimo requerido, absorban la carga generada por su propio peso mas las cargas vivas, a diferencia de los techos soportados que contarán con una estructura que admita dichas cargas. Independientemente de la forma o el método de soporte, los techos son diseñados para soportar una carga viva de por lo menos, 1.76 Kg. / cm^2 (25 lb. / pie^2), más la carga muerta ocasionada por el mismo.

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 18,288 mm. (60 pies), pero es recomendable fabricar estos en un diámetro máximo de 12,192 mm. (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. Para este tipo de techos, se recomienda un espesor de 4.76 mm. (3/16 pulg.) a 9.52 mm. (3/8 pulg.), y en base a estos espesores se obtiene la pendiente más conveniente, dentro de las limitantes especificadas con anterioridad, estos con la finalidad de que el techo no sea demasiado pesado y a su vez presente dificultad para su fabricación.

Los techos tipo **domo** se caracterizan por ser un casquete esférico el cual está formado por placas soldadas a traslape o a tope. Este tipo de tapas son poco usuales debido a que tienen un proceso de fabricación muy laborioso ya que cada placa y segmento tienen que formarse con el radio de abombado, incrementado de esta manera su costo y complejidad. La figura I.2 muestra un tanque de almacenamiento de techo tipo domo.

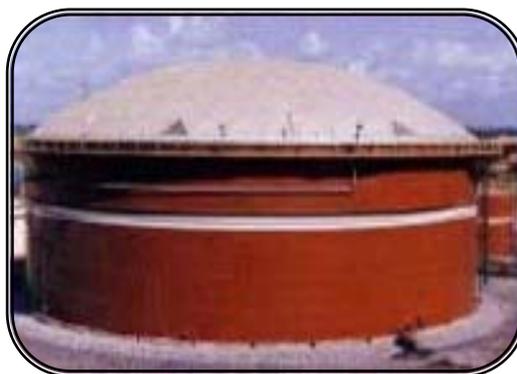


Figura I.2



Los techos de tipo **sombrilla** son una variedad del tipo domo el cual solo conserva el abombado sobre el eje vertical ya que sobre el eje circunferencial tiene semejanza con el tipo cónico. Las tapas por lo general se fabrican a partir de gajos para facilitar el abombado de las placas.

I.2.1.2. Los Techos Flotantes

El techo flotante se emplea para almacenar productos con alto contenido de volátiles como son: **alcohol, gasolinas y combustibles en general.**

Este tipo de techo fue desarrollado para reducir o anular la cámara de aire, o espacio libre entre el espejo del líquido y el techo, además de proporcionar un medio aislante para la superficie del líquido, reducir la velocidad de transferencia de calor al producto almacenado durante los periodos en que la temperatura ambiental es alta, evitando así la formación de gases (su evaporación), y consecuentemente, la contaminación del ambiente y, al mismo tiempo se reducen los riesgos al almacenar productos inflamables.

Se pueden construir dos tipos de techos flotantes, los cubiertos que son aquellos que no están en contacto directo con la radiación solar y precipitaciones pluviales, debido a que el tanque cuenta con un techo fijo, que protege al flotante; y los techos flotantes externos, los cuales se denominan así porque no cuentan con un techo fijo, por lo que este se encontrará en contacto con el medio ambiente.

Los requerimientos de techos flotantes son limitados sólo por factores que afectan la seguridad, durabilidad y que están involucrados dentro de la calidad y la seguridad.

Los tipos de techos flotantes son clasificados y descritos a continuación:

- a) Techos metálicos tipo charola, los cuales están en contacto con el líquido y tienen un anillo perimetral.
- b) Techos metálicos de contención, los cuales están en contacto con el líquido y tiene abierta la parte superior de contención.
- c) Techos metálicos de pontón, los cuales están en contacto con el líquido y tienen cerrado el pontón.
- d) Techos metálicos de doble cubierta, los cuales están en contacto con el líquido.
- e) Techos metálicos en flotación, los cuales tienen la cubierta sobre el líquido
- f) Techos metálicos tipo sándwich, los cuales tienen una superficie revestida de malla tipo panal y están en contacto con el líquido.



g) Techo plástico tipo sándwich, los cuales tienen una superficie revestida con un panel líquido y están en contacto con el líquido.

Los **techos flotantes internos** y los accesorios deben estar diseñados y contruidos para permitir que el techo opere normalmente sin atención manual. Los techos flotantes serán diseñados y contruidos para flotar en una posición horizontal, capaces de soportar una carga viva de hombres. Todos los cálculos serán basados en un peso específico de 0.7. Estos criterios pueden ser modificados de mutuo acuerdo entre fabricantes y usuario. La figura 1.3 muestra un tanque de almacenamiento de techo tipo flotante.



Figura 1.3

Los **techos flotantes externos** El diseño del techo y de sus accesorios, deberán permitir al primero llegar al límite superior del nivel del líquido y bajar hasta el nivel inferior del líquido sin dañar el cuerpo del tanque, la tapa o cualquier otro accesorio. El techo debe operar con manejo manual, utilizando la pared del cuerpo del tanque para soportar los empaques del techo en el punto más alto del nivel.

Debe proveerse el tanque de dispositivos de alarma que indique al personal que se ha sobrepasado el nivel superior de llenado de líquido, a menos que el tanque esté diseñado para contener una altura de columna de fluido igual al límite superior del tanque. El usuario debe indicar un arreglo apropiado a sus necesidades con el fin de proveer salidas de emergencia del líquido para evitar daños en el tanque.

1.3 Materiales Recomendados para Tanques Atmosféricos.

Para el mejor diseño, cálculo y manufactura de tanques de almacenamiento es importante seleccionar el material adecuado dentro de la variedad de aceros que existen en el mercado.



Al hablar de materiales se pretende establecer que son todos aquellos componentes que son utilizados en la fabricación de tanques de almacenamiento atmosféricos entre estos se pueden mencionar básicamente: placas, láminas, perfiles, electrodos, tornillería, bridas, tubos, cuellos de boquillas, etc.

1.3.1 Placas

Todas las placas empleadas en la fabricación de tanques de almacenamiento atmosféricos deberán corresponder a las siguientes especificaciones del **ASTM** última edición A-7, A-283 grado C, A-36, A-283 grado D, las anteriores especificaciones serán para espesores de hasta 19 mm. (3/4"); arriba de dicho espesor se usará únicamente A-283 grado C y A-36. La denominación **placa** es únicamente para materiales con espesores de 4.8 mm (3/16") o más. De acuerdo con las normas **ASTM** el proceso de fabricación de las placas que sean empleadas en la construcción de tanques de almacenamiento atmosféricos deberá ser únicamente por horno eléctrico, hogar abierto y oxígeno básico.

A-36. Esta especificación se refiere a aceros al carbono y cubre la fabricación de placas, láminas y barras de calidad estructural para ser usadas en remaches, pernos, estructuras soldadas y el procedimiento de soldadura deberá estar de acuerdo al tipo de servicio. Sólo para espesores iguales o menores de 38 mm. (1 1/2 pulg.). Este material es aceptable y usado en los perfiles, ya sean comerciales o ensamblados de los elementos estructurales del tanque.

Las tablas 1.1 y 1.2 muestran los requisitos químicos y los esfuerzos a la tensión respectiva para esta especificación.

REQUISITOS QUIMICOS										
PRODUCTO	LAMINAS	PLACAS					BARRAS			
ESPESOR mm	Todos	Hasta 19	19 a 38	38 a 64	64 a 102	Mas de 102	Hasta 19	19 a 38	38 a 102	Mas de 102
CARBONO MAXIMO %	0.26	0.25	0.26	0.27	0.29	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
MAGNESIO MAXIMO. %	-	0.80 a 1.20		0.85 a 1.20		-	0.60 a 0.90			
FOSFORO MAXIMO %	0.04									
AZUFRE MAXIMO %	0.05									
SILICIO %	0.40 máx.		0.15 a 0.40			0.40 máx.				

Tabla 1.1



REQUISITOS DE ESFUERZO A LA TENSION Y PUNTO DE CEDENCIA			
	PLACAS	LAMINAS	B A R R A S
RESISTENCIA A LA TENSION (Kg. / cm ²)	4077 a 5624		
PUNTO DE CEDENCIA MINIMO (Kg. / cm ²)	2531		

Tabla I.2

A-283. Esta especificación cubre cuatro grados de este material; y para el fin perseguido se utiliza el grado C y D, es un acero al carbono de calidad estructural para aplicaciones múltiples que se requiere usar en temperaturas en un rango de 302.15 °K a 616.15 °K (-29 °C a 343 °C). Las tablas I.3 y I.4 muestran los requisitos químicos y de esfuerzos a tensión respectivamente para esta especificación. El grado C es utilizado para espesores iguales o menores a 25 mm. (1 pulg.). Este material es el más socorrido, porque se puede emplear tanto para perfiles estructurales como para la pared, techo, fondo y accesorios del tanque.

REQUISITOS QUIMICOS		
	GRADO "C"	GRADO "D"
CARBONO MAXIMO %	0.24	0.27
FOSFORO MAXIMO %	0.035	
MANGANESO MAXIMO %	0.90	
AZUFRE MAXIMO %	0.04	

Tabla I.3

REQUISITOS DE ESFUERZO A LA TENSION Y PUNTO DE CEDENCIA		
	GRADO "C"	GRADO "D"
RESISTENCIA A LA TENSION (Kg./cm ²)	3867 a 5273	4218 a 5624
PUNTO DE CEDENCIA (Kg./cm ²)	2109	2320

Tabla I.4

A-285. Esta especificación se refiere a un acero muy dúctil, fácil de conformar y maquilar es también de los aceros mas económicos y de mayor existencia en el mercado, es comúnmente usado para la fabricación de envolventes, las cuales se encuentran operando en un rango de temperatura de 18 °C a 423 °C.



Las especificaciones amparan placas de acero al carbono de baja y media resistencia a la tensión, debido a que cubre tres grados A, B y C para el objetivo se hace referencia al grado C, ya que es de un valor mayor a la tensión. El grado C es para espesores iguales o menores de 25.4 mm. (1 pulg.). Es el material recomendable para la construcción del tanque (cuerpo, fondo, techo y accesorios principales), el cual no es recomendable para elementos estructurales debido a que tiene un costo relativamente alto comparado con los anteriores. Los requisitos son mostrados en las tablas I.5 y I.6.

REQUISITOS QUIMICOS COMPOCISION EN %	
ELEMENTO	GRADO "C"
CARBONO MÁXIMO	0.28
MANGANESO MÁXIMO	0.90
FÓSFORO MÁXIMO	0.035
AZUFRE MÁXIMO	0.035

Tabla I.5

REQUISITOS DE ESFUERZO A LA TENSIÓN Y PUNTO DE CEDENCIA MINIMO	
	GRADO "C"
RESISTENCIA A LA TENSION (Kg. / cm ²)	3867 a 5273
PUNTO DE CEDENCIA MINIMO (Kg. / cm ²)	2109

Tabla I.6

Cuando se tengan condiciones de servicio muy severas y se justifique el uso de un mejor material, se puede utilizar cualquier material que se especifica a continuación.

A-516. Esta especificación cubre placas de acero al carbono con grados 55, 60, 65 y 70 pero lo mas importante para fines del tanque atmosférico es el grado 70, debido a la mejor resistencia y es ideal para temperaturas criogénicas de rango -45 °C a 15 °C los requisitos químicos y del esfuerzo de tensión se muestran en las tablas I.7 y I.8.

REQUISITOS DE ESFUERZO A LA TENSION DEL ACERO A-516 GRADO 70	
RESISTENCIA A LA TENSION (Kg. / cm ²)	4921 a 6327
PUNTO DE CEDENCIA MINIMO (Kg. / cm ²)	2671
ESPEJOR MAXIMO (mm.)	205

Tabla I.7



REQUERIMIENTOS QUIMICOS DEL ACERO A-516 GRADO 70	
CARBONO MAXIMO	COMPOCISION %
Hasta 13 mm. de espesor y menores	0.27
De 13 mm. a 51 mm. de espesor	0.28
De 51 mm. a 102 mm. de espesor	0.30
De 102 mm. a 203 mm. de espesor	0.31
De 203 mm. de espesor y mas	0.31
MANGANESO.	COMPOCISION %
Hasta 13 mm. de espesor y menores	0.85 a 1.20
Más de 13 mm. de espesor	0.85 a 1.20
	COMPOCISION %
FOSFORO MÁXIMO	0.035
AZUFRE MÁXIMO	0.035
SILICIO	0.15 a 0.40

Tabla I.8

A-537. Esta especificación cubre tres clases de este material, las clases I, II y III son placas con tratamiento térmico. La clase I cubre las placas normalizadas, y las clases II y III las templadas; en la fabricación de recipientes a presión y tanques de almacenamiento atmosférico, se utiliza la clase I, cubriendo con los requisitos señalados en las tablas I.9 y I.10.

REQUISITOS DE ESFUERZO A LA TENSION Y PUNTO DE CEDENCIA MINIMO		
ESPESOR (mm.)	RESISTENCIA A LA TENSION (Kg. / cm²)	PUNTO DE CEDENCIA MINIMO (Kg. / cm²)
De 64 y menores	4921 a 6327	3515
64 a 102	4570 a 5976	3164

Tabla I.9



REQUISITOS QUIMICOS		
ELEMENTOS	ESPESOR (mm.)	COMPOCISION %
CARBONO MAXIMO	Todos	0.24
MANGANESO	De 38 y menor	0.64 a 1.46
	Mayor de 38	0.92 a 1.72
FOSFORO MAXIMO	Todos	0.035
AZUFRE MAXIMO	Todos	0.035
SILICIO	Todos	0.13 a 0.55
COBRE MAXIMO	Todos	0.38
NIQUEL MAXIMO	Todos	0.28
CROMO MAXIMO	Todos	0.29
MOLIBDENO MAXIMO	Todos	0.09

Tabla I.10

A-662. Estas especificaciones cubren placas de acero al carbono-manganeso-silicio y esta enfocado a la construcción de recipientes a presión y tanques de almacenamiento que operan a bajas temperaturas, existen tres grados A, B y C, el grado mas usual en el caso de tanques cilíndricos atmosféricos es el B. Los espesores máximos de placas en la práctica están limitados hasta 2" para usarse en la fabricación de recipientes. En las tablas I.11 y I.12 muestran sus requisitos.

REQUISITOS QUIMICOS PARA EL GRADO B	
CARBONO MAXIMO %	0.22
MANGANESO %	0.79 a 1.62
FOSFORO MÁXIMO %	0.035
AZUFRE MAXIMO %	0.035
SILICIO %	0.13 a 0.45

Tabla I.11

REQUISITOS DEL ESFUERZO A LATENSION DEL GRADO B	
RESISTENCIA A LA TENSION (Kg. / cm ²)	4570 a 5976
PUNTO DE CEDENCIA MINIMO (Kg. / cm ²)	2812

Tabla I.12



I.3.2 Láminas

Las láminas para la construcción de tanques atmosféricos deben corresponder a las especificaciones del ASTM A-245 grado C. La denominación **lámina** es únicamente para materiales con espesores menores de 4.8 mm (3 / 16"). La A-570 que es de uso general es una lamina de acero al carbono rodada en caliente y se encuentra disponible hasta espesores de 6 mm esta lamina solo puede ser fabricada por cualquiera de los procesos de hogar abierto, horno eléctrico u oxígeno básico y con las características que señala la tabla I.13 y I.14.

REQUERIMIENTOS QUIMICOS		
ELEMENTOS	GRADOS	
	30, 33, 36 y 40	45 y 50
CARBONO MAXIMO %	0.25	0.25
MANGANESO MAXIMO %	0.90	0.35
FOSFORO MAXIMO %	0.04	0.04
SULFURO MAXIMO %	0.05	0.05
COBRE MINIMO* %	0.20	0.20

Tabla I.13

REQUISITOS DE ESFUERZO A LA TENSIÓN						
GRADO	30	33	36	40	45	50
RESISTENCIA A LA TENSIÓN (Kg. / cm ²)	3445	3657	3530	3868	4220	4571
PUNTO DE CEDENCIA MINIMO (Kg. / cm ²)	2110	2320	2532	2813	3165	3516

Tabla I.14

I.3.3 Materiales para la Soldadura.

Existe una gran variedad de **electrodos** para soldadura y se clasifican de la siguiente forma **E- XX WZ**, para el caso de aceros al carbono y aceros aleados.

Donde:

XX, representa la resistencia a la tensión.



W, representa la posición de la soldadura, cuando **W** es **1** se puede soldar en todas las posiciones, cuando es **2** solo se podrá soldar en posiciones horizontales ascendentes y cuando es **3** solo se podrá soldar en posición plana para soldaduras en filete.

Z, representa el tipo de recubrimiento del electrodo.

En los casos de acero al carbono la **AWS** American Welding Society (Sociedad Americana de Soldadura), para tanques de almacenamiento recomienda las series **E-60XX** y **E-70XX** para aceros de bajo carbono y aceros a medio carbono existe la posibilidad de utilizar ambos en un mismo material.

La tabla I.15 muestra el tipo de recubrimiento así como el tipo de corriente eléctrica para los electrodos usualmente usados para la fabricación de recipientes a presión y atmosféricos.

CLAVE	RECUBRIMIENTO	TIPO DE CORRIENTE ELECTICA
E-6010	Alta celulosa sódica	C.D con polaridad invertida
E-6011	Alta celulosa pótasica	C.A o C.D con polaridad invertida
E-6012	Alto titanio sódico	C.A o C.D sin cambio de polaridad
E-6013	Alto titanio potásico	C.A o C.D con cualquier polaridad
E-6020	Alto oxido de hierro	C.A o C.D sin cambio de polaridad
E-6027	Polvo y oxido de hierro	C.A o C.D
E-7014	Polvo de hierro y titanio	C.A o C.D con cualquier polaridad
E-7015	Sodio al bajo hidrogeno	C.A o C.D con polaridad invertida
E-7016	Potasio al bajo hidrogeno	C.A o C.D con polaridad invertida
E-7018	Polvo de hierro bajo hidrogeno	C.A o C.D con polaridad invertida
E-7024	Polvo de hierro titanio	C.A o C.D con cualquier polaridad
E-7028	Polvo de hierro bajo hidrogeno	C.A o C.D con polaridad invertida

Tabla I.15

De entre los electrodos mas utilizados por los fabricantes se encuentran los electrodos **E-6010** y **E-7018**. Cuando se requiere soldar aceros aleados se puede utilizar los siguientes electrodos

1.5 Cr. – 0.5 Mo	E-8015	E-8016	E-8018
2.5 Cr. – 1 Mo	E-9015	E-9016	E-9018



I.3.4 Tuberías y Bridas.

Las tuberías empleadas en los tanques atmosféricos deben de corresponder a las especificaciones del **API estándar 5L** o de la **ASTM A-53** excepto cuando la tubería esta destinada a fines estructurales se utilizara API estándar 5L grado B o API estándar 5L X, a menos que se indique otra cosa en las especificaciones particulares.

Las bridas forjadas deben de llenar las especificaciones del ASTM A-181 grado 1. A continuación en las tablas I.16 y I.17 se muestran los requerimientos.

MATERIALES	NUMERO DE ESPECIFICACIONES	GRADO ASTM	RESISTENCIA A LA TENSION	PUNTO DE CEDENCIA	TIPO
			MINIMO (Kg./cm ²)		
ACEROS AL CARBONO	A-53	A	3378	2109	TUBULAR
		B	4218	2460	
	A-105	-	4921	2531	FORJADO
	A-106	A	3378	2109	TUBULAR
		B	4318	2531	
		C	4921	2109	
	A-134	-	-	-	TUBULAR
	A-139	A	3378	2109	TUBULAR
		B	4218	2460	
	A-155	-	-	-	TUBULAR
	A-515	55	3867	2109	PLACA
		60	4218	2250	
	A-516	65	4570	2460	PLACA
		70	4921	2672	
A-333	6	4218	2460	TUBULAR	

Tabla I.16



MATERIALES	N U M E R O D E E S P E C I F I C A C I O N E S	GRADO ASTM	RESISTENCIA A LA TENSION	PUNTO DE CEDENCIA	TIPO
			MINIMO (Kg./ cm ²)		
ACEROS ALEADOS	A-53	F1	4921	2812	FORJADO
		F5	4921	2812	
		F9	5976	3867	
		F12	4921	2812	
		F22	4921	3164	
	A-333	3	4570	2460	TUBULAR
		4	4218		
		P1	3867	2109	
		P2			
	A-335	P5	4218	2109	TUBULAR
		P5B			
	A-335	P5C	4218	2109	TUBULAR
		P7			
		P11			
		P12			
		P15			
		P22			
	A-350	LF3	4921	4921	FORJADO

Tabla I.17

Las cedulas de cuellos de boquillas se determinan tomando en cuenta la presión y esta será normalmente de 10.5 Kg. / cm², la corrosión permisible y el diámetro del tubo.

La tabla I.18 muestra los valores que son utilizados para la presión mencionada.



CLASE 150 lb / in ² (10.5 Kg. / cm ²)						
0		3.2		6.4		CORROSION PERMISIBLE
CEDULA	D.I	CEDULA	D.I	CEDULA	D.I	D. NOMINAL
80	24	-	-	-	-	1"
	38	160	34	XX-H	28	1- ½"
	49		43		38	2"
	59		54		45	2- ½"
	74		67		58	3"
	97	120	92	160	87	4"
	146	-	-	120	140	6"
	194			100	189	8"
	248			100	237	10"
X-H	208	-	-	80	289	12"
	330			60	325	14"
	381				373	16"
	432			40	429	18"
	483				478	20"
	584				575	24"

Tabla I.18

Las bridas son de la clase del tipo deslizable (**Slip-On**) y tapa ciega (**Blind**) cuando se requiere tapar una boquilla, para una presión de 10.5 Kg. / cm². Existen otros tipos de bridas que se seleccionan de acuerdo al servicio, y estas son bridas roscadas (**Threaded**), cuello soldable (**Welding Neck**), a traslape (**Lap-Join**) y están en existencia para presiones muy altas, ver la figura I.4.



**Brida de Cuello Soldable
(Welding- Neck)**



**Brida Deslizable
(Slip-On)**



**Brida Roscada
(Threaded)**



**Brida traslapada
(Lap-Join)**



**Brida ciega
(Blind)**

Figura I.4 Tipos de bridas



1.3.5 Tornillos

Existe una gran variedad de especificaciones para tornillos, de alta resistencia de aceros inoxidable y de aceros al carbono, y la más usualmente trabajada para este tipo de proyectos es la especificación A-307 para tornillería de acero al carbono.

Esta especificación cubre dos grados, el grado A que corresponde a tornillos de uso general y el grado B se refiere a tornillos que se utilizan en juntas de tubería y sus diámetros de 6 mm. y 102 mm. El acero para la fabricación de estos tornillos deberá ser obtenido por el proceso de hogar abierto, oxígeno básico y horno eléctrico para observar sus características vea la tabla 1.19, 1.20 y 1.21.

REQUERIMIENTOS QUIMICOS DEL ACERO PARA LA FABRICACION DE TORNILLOS.		
TORNILLOS	GRADO A	GRADO B
CARBONO MAXIMO %	0.29	0.29
FOSFORO MÁXIMO %	0.06	0.04
AZUFRE MÀXIMO %	0.15	0.05
MANGANESO MAXIMO %	0.90	0.90

Tabla 1.19

REQUERIMIENTOS DE DUREZA PARA TORNILLOS					
DUREZA		BRINELL		ROCKWELL B	
TAMAÑO	GRADO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO
TODOS	A	121	241	69	100
	B		212		95

Tabla 1.20

DIAMETRO		HILOS POR PULGADA	ÁREA EN ESFUERZO (cm ²)	GRADOS A Y B MINIMO	GRADO B MAXIMO
mm.	in.				
6	¼	20	0.20	862	1442
8	5/16	18	0.33	1406	2377
10	¾	16	0.50	2109	3515
11	7/16	14	0.69	2880	4822
13	½	13	0.92	3852	6436

**Continuación de la tabla anterior**

15	9/16	12	1.17	4990	8255
16	5/8	11	1.46	6146	10251
19	3/4	10	2.15	9095	15150
22	7/8	9	2.98	12565	20956
25	1	8	3.21	16488	27488
28	1 1/8	7	4.92	20775	34609
32	1 1/4		6.25	26376	43953
35	1 3/8	6	7.45	57810	52390
38	1 1/2		9.06	38238	63730
44	1 3/4	5	12.26	51710	86182
51	2	4.5	16.13	68039	113398
57	2 1/4		20.97	88450	147418
64	2 1/2	4	25.81	108862	181437
69	2 3/4	4	31.81	134173	223621
76	3		38.52	162477	270795
82	3 1/4		45.81	193230	322050
89	3 1/2		53.74	226705	377842
95	3 3/4		62.26	261541	438170
102	4		71.48	301548	502280

Tabla I.21**I.3.6 Perfiles Estructurales.**

Los perfiles de acero estructural como son vigas, canales, ángulos, etc. Deben de cumplir con los requerimientos de las especificaciones A-36 y A-131. Las especificaciones A-131, se refieren a acero estructural para placas, laminas y perfiles.

Los grados de estas especificaciones son once de los cuales solo tres son para perfiles estructurales y de los cuales se anexan sus características en las tablas 1.22 y 1.23.



REQUERIMIENTOS QUIMICOS %		
ELEMENTO	"GRADO"	
	A	AH32, AH36
CARBONO MAXIMO	0.23	0.18
MANGANESO MAXIMO	2.5 X C	0.90-1.60
FOSFORO MAXIMO	0.05	0.04
AZUFRE MAXIMO	-	
SILICIO	0.50	0.10-0.50
NIQUEL MAXIMO	0.02	0.40
CROMO MAXIMO	0.02	0.25
MOLIBDENO MAXIMO	0.02	0.08
COBRE MAXIMO	0.02	0.35
COLUMBIO MAXIMO	-	0.05
VANADIO MAXIMO	-	0.10

Tabla I.22

REQUERIMIENTOS DE TENSION (Kg. / cm ²)		
GRADO	RESISTENCIA A LA TENSION	PUNTO DE CEDENCIA MINIMO
A	4078-4992	2390
AH32	4780-5976	3199
AH36	4992-6328	3586

Tabla I.23

GRADO A. Acero estructural al carbono resistencia media.

GRADO AH32 y AH36. Acero estructural aleado por alta resistencia.

I.4 Diseños de las Juntas Soldadas.

La soldadura se define como la unión localizada de dos piezas de metal conseguida mediante la aplicación de calor, con o sin fusión, con o sin adición de material de relleno y con y sin aplicación de metal.

El estándar **API 650**, se auxilia del Código **ASME sección IX** y en **AWS** para dar los lineamientos que han de seguirse en la unión y/o soldado de materiales.



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

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

Todas las soldaduras serán aplicadas mediante el proceso de arco eléctrico sumergido, arco con gas inerte o electrodos recubiertos. Estos procesos pueden ser manuales o automáticos.

En cualquiera de los dos casos, deberán tener penetración completa, eliminando la escoria dejada al aplicar un cordón de soldadura antes de aplicar sobre éste el siguiente cordón.

El tanque deberá ser diseñado de tal forma que todos los cordones de soldadura sean verticales, horizontales y paralelos, para el cuerpo y fondo, en el caso del techo, podrán ser radiales y/o circunferenciales.

I.4.1. Soldadura en las Juntas Verticales del Cuerpo.

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

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

I.4.2. Soldadura en las Juntas Horizontales del Cuerpo.

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

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



I.4.3 Soldadura del Fondo.

Soldadura a traslape.

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

Soldadura a Tope.

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

I.4.4 Soldadura de las Juntas de la Placa Anular del Fondo.

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

I.4.5 Soldaduras de las Juntas del Cuerpo-Fondo

Para espesores de placa del fondo o de placas anulares que sean de 12.7 mm. (1/2 pulg.) o menores son incluir corrosión, la unión entre el fondo y el canto de las placas del cuerpo tendrá que ser hecha con un filete continuo de soldadura que descansa de ambos lados de la placa del cuerpo (Ver Figura 1.4). El tamaño de cada cordón, sin tomar en cuenta la corrosión permisible, no será mayor que 12.7mm. (1/2") y no menor que el espesor nominal de la más delgada de las placas a unir.

Para placas anulares de un espesor mayor de 12.7 mm. (1/2 pulg), la junta soldada deberá ser de una dimensión tal que la pierna del filete o la profundidad del bisel más la pierna del filete de una soldadura combinada sean del mismo espesor que la placa anular. El filete entre cuerpo y fondo para materiales en los grupos IV, IVA, V ó VI debe realizarse con un mínimo de dos cordones de soldadura



1.4.6 Soldaduras de Juntas del Techo y Perfil de Coronamiento.

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

Las secciones que conformen el perfil de coronamiento para techos autosoportados estarán unidas por cordones de soldadura que tengan penetración y fusión completa. Como una opción del fabricante para techos autosoportados, del tipo domo y sombrilla, las placas perimetrales del techo podrán tener un dobléz horizontal, a fin de que descansen las placas en el perfil de coronamiento.

1.5 Diseño de Boquillas en los Tanques de Almacenamiento.

Todos los tanques de almacenamiento deberán estar provistos de boquillas, las que a continuación se enlistan como las mínimas requeridas que deberán ser instaladas en los tanques de almacenamiento.

- 1.- Entrada (s) de producto (s).*
- 2.- Salida (s) de producto (s).*
- 3.- Drene (con o sin sumidero).*
- 4.- Venteo (s).*
- 5.- Entrada (s) de hombre.*
- 6.- Conexiones para indicador y/o control de nivel.*

Todas las boquillas de 76 mm (3 pulg.) de diámetro y mayores deberán contar con una placa de refuerzo, con el fin de absorber la concentración de esfuerzos debidos a la perforación hecha al tanque y/o a los esfuerzos producidos por la carga que presenta la línea de la boquilla en cuestión.

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

1.5.1 Entradas Hombre

Los tanques de almacenamiento contarán, por lo menos con una entrada hombre en el cuerpo o en el techo con la finalidad de poder realizar limpieza, revisiones o reparaciones en el interior del tanque. Las entradas hombre contarán con una placa de refuerzo, la cual tendrá dos barrenos de 6.3 mm. de diámetro con cuerda NPT para prueba, quedando éstos sobre las líneas de centro verticales u horizontales y abiertos a la atmósfera.



I.5.2 Venteos.

Los tanques de almacenamiento contarán con una boquilla exclusiva para venteo, la que tendrá que ser diseñada y calculada, con la finalidad de que dentro del tanque no se genere presión interna al ser llenado o vaciado, el cual debe colocarse de ser posible, en la parte más alta del tanque.

I.5.3 Drenes y Sumideros.

Los tanques de almacenamiento también deberán contar con una boquilla por lo menos para el drenado de lodos, la cual podrá estar al ras del fondo, dirigidas a un sumidero o por debajo del tanque.

Los sumideros y conexiones en el fondo tendrán particular atención para el relleno y compactación del suelo para prevenir asentamientos irregulares del tanque, así como para las conexiones y soportes, que tendrán que ser calculadas para confirmar la resistencia del arreglo contra las cargas estáticas y dinámicas, así como de flexión y esfuerzos permisibles. Las conexiones y arreglos mostrados pueden variar para llevar a cabo la utilidad y servicio de los mismos, por lo que el usuario aprobará dichos arreglos que el fabricante proporcionará.

I.5.4 Escaleras y Plataformas.

Las escaleras, plataformas y barandales tienen la finalidad de situar al personal que así lo requiera en una zona del tanque que necesite de constante mantenimiento o supervisión, generalmente sobre el techo donde se localizan diversas boquillas y la entrada hombre, además de brindar protección y seguridad al personal.

I.5.4.1 Requerimientos para Plataformas y Pasillos Especificado por API 650.

- 1.- Todos los componentes deberán ser metálicos.
- 2.- El ancho mínimo del piso será de 610 mm. (24 pulg.).
- 3.- Todo el piso deberá ser de material antiderrapante.
- 4.- La altura del barandal a partir del piso será de 1,067 mm. (42 pulg.).
- 5.- La altura mínima del rodapié será de 76 mm. (3 pulg.).
- 6.- El máximo espacio entre el suelo y la parte inferior del espesor de la placa del pasillo será de 6.35 mm. (1/4 pulg.) .
- 7.- La altura del barandal central será aproximadamente la mitad de la distancia desde lo alto del pasillo a la parte superior del barandal.
- 8.- La distancia máxima entre los postes del barandal deberá ser de 1168 mm. (46 pulg.).
- 9.- La estructura completa tendrá que ser capaz de soportar una carga viva concentrada de 453 Kg. (1,000 lb), aplicada en cualquier dirección y en cualquier punto del barandal.



- 10.- Los pasamanos estarán en ambos lados de la plataforma, y estarán interrumpidos donde sea necesario para un acceso.
- 11.- Cualquier espacio mayor de 152 mm. (6 pulg.) entre el tanque y la plataforma deberá tener piso.
- 12.- Los corredores de los tanques que se extienden de un lado al otro del suelo o a otra estructura deberán estar soportados de tal manera que tenga un movimiento relativo libre de las estructuras unidas por los corredores; ésta puede estar acompañada por una firme atadura del corredor a los tanques, además del uso de una junta corrediza o de dilatación en el puente de contacto entre el corredor y el otro tanque (este método permite que en caso de que un tanque sufra ruptura o algún movimiento brusco, el otro no resulte dañado).

1.5.4.2 Requerimientos para Escaleras Especificado por API 650.

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

1.6 Diseño y Calculo de Tanques de Almacenamiento

Para el diseño y cálculo de tanques de almacenamiento, el usuario deberá proporcionar los datos y la información necesaria para llevar a cabo el proyecto. La información mínima requerida (condiciones de operación y de diseño) es: volumen, temperatura, peso específico del líquido, corrosión permisible, velocidad del viento, coeficientes sísmicos de la zona, etc. Dado que es el que conoce con exactitud las características tanto del fluido que desea almacenar y el lugar donde se ha de instalar dicho tanque.

Así también el usuario establecerá la magnitud y dirección de las cargas externas que pudieran ocasionar deformaciones en el tanque, con el fin de diseñar los elementos



involucrados con este. El **sobre espesor por corrosión** que especificará el usuario se incluirá en cuerpo, fondo, techo y estructura, y **sólo se agrega al final del cálculo de cada uno de los elementos del tanque**, debido a que la agresividad química no es lo mismo para el fluido en estado líquido o gaseoso y en algunos casos hasta para los lodos.

I.6.1 Diseño del fondo

El diseño del fondo de los tanques de almacenamiento depende de las siguientes consideraciones:

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

Los fondos de tanques de almacenamiento cilíndricos verticales son generalmente fabricados de placas de acero con un espesor menor al usado en el cuerpo. Esto es posible para el fondo, porque se encuentra soportado por una base de concreto, arena o asfalto, los cuales soportarán el peso de la columna del producto; además, la función del fondo es lograr la hermeticidad para que el producto no se filtre por la base.

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

El fondo tendrá que ser de un diámetro mayor que el diámetro exterior del tanque, por lo menos, 51 mm. (2 pulg.) más en el ancho del filete de soldadura de la unión entre cuerpo y el fondo. Las placas con las que se habilite el fondo deberán tener preferentemente un ancho de 1,829 mm. (72 pulg) con una longitud comercial.

El cuerpo del tanque puede estar soportado directamente por el fondo o por una placa anular. Generalmente los fondos se forman con placas traslapadas, esto se hace con el fin de absorber las deformaciones sufridas por el fondo si las placas fueran soldadas a tope.

Cuando se requiere el uso de la placa anular, ésta deberá tener un ancho radial (en cm.) de acuerdo a lo que indique la fórmula siguiente, pero no menor de 610 mm. (24 pulg.) entre el interior del tanque y cualquier cordón de soldadura.

$$A = \frac{215t_b}{(HG)^{0.5}} \quad \text{.....Formula para calcular el ancho radial de la placa anular}$$



Donde:

A = Es el ancho radial en (cm.)

t_b = Espesor de la placa anular (cm.)

H = Nivel máximo de diseño del líquido (cm.)

G = Densidad relativa del líquido a almacenar (en ningún caso menor de 1).

El espesor de la placa anular no será menor al listado en la tabla I.24 más la corrosión permisible especificada.

ESPESOR MÍNIMO (mm.) DEL PRIMER ANILLO DEL CUERPO	ESFUERZO CALCULADO PARA PRUEBA HIDROSTÁTICA EN EL PRIMER ANILLO DEL CUERPO (Kg. / cm ²).			
	<1989	<2109	<2320	<2530
$t \leq 19.05$	6.35		7.14	8.73
$19.05 < t \leq 25.4$	6.35	7.14	9.52	11.11
$25.4 < t \leq 31.75$	6.35	8.73	11.91	14.28
$31.75 < t \leq 38.10$	7.93	11.11	14.28	17.46
$38.10 < t \leq 44.45$	8.73	12.7	15.87	19.05

Tabla I.24

Los espesores especificados en la tabla son los indicados y están basados en una cimentación que proporcione un soporte uniforme debajo de toda la placa anular. La cimentación debe estar bien compactada para evitar esfuerzos adicionales en la placa anular.

Será conveniente utilizar las placas más largas disponibles en el mercado para construir el fondo, ya que resultan ser las más económicas, cuyas dimensiones son; 1,829 mm. ó 2,438 mm. (6 ú 8 pies) de ancho por 6,096 mm. o 9,144 mm. (20 ó 30 pies) de largo.

I.6.2 Diseño y calculo del cuerpo (envolvente).

El espesor de la pared del cuerpo requerido para resistir la carga hidrostática será mayor que el calculado por condiciones de diseño o por condiciones de prueba hidrostática, pero en ningún caso será menor a lo que se muestra en la tabla I.25.

DIÁMETRO NOMINAL DEL TANQUE	ESPESOR NOMINAL DE LA PLACA
Menores de 15.24 m.(50 pies)	4.76 mm. (3/16")
De 15.24 m.(50 pies) a 36.5 m.(120 pies)	6.35 mm. (1/4")
De 36.57 m.(120 pies) a 60.96 m. (200 pies)	7.94 mm. (5/16")
Mayores de 60.96 m.(200 pies)	9.55 mm. (3/8")

Tabla I.25



El espesor de la pared por condición de diseño, se calcula con base al nivel del líquido, tomando la densidad relativa del fluido establecido. **El espesor por condiciones de prueba hidrostática** se obtiene considerando el mismo nivel de diseño, pero ahora utilizando la densidad relativa del agua. Cuando sea posible, el tanque podrá ser llenado con agua para la prueba hidrostática, pero si esto no es posible y el cálculo del espesor por condiciones de prueba hidrostática es mayor que el calculado por condiciones de diseño, deberá usarse el obtenido por condiciones de prueba hidrostática.

El esfuerzo máximo permisible de diseño (**S_d**) y de prueba hidrostática (**S_t**), se muestra en la tabla 3-2, recomendado por el estándar **API 650** en el diseño de tanques de almacenamiento.

Table 3-2—Permissible Plate Materials and Allowable Stresses

Plate Specification	Grade	Minimum Yield Strength MPa (psi)	Minimum Tensile Strength MPa (psi)	Product Design Stress S_d MPa (psi)	Hydrostatic Test Stress S_t MPa (psi)
ASTM Specifications					
A 283M (A 283)	C (C)	205 (30,000)	380 (55,000)	137 (20,000)	154 (22,500)
A 285M (A 285)	C (C)	205 (30,000)	380 (55,000)	137 (20,000)	154 (22,500)
A 131M (A 131)	A, B, CS (A, B, CS)	235 (34,000)	400 (58,000)	157 (22,700)	171 (24,900)
A 36M (A 36)	—	250 (36,000)	400 (58,000)	160 (23,200)	171 (24,900)
A 131M (A 131)	EH 36 (EH 36)	360 (51,000)	490 ^a (71,000 ^a)	196 (28,400)	210 (30,400)
A 573M (A 573)	400 (58)	220 (32,000)	400 (58,000)	147 (21,300)	165 (24,000)
A 573M (A 573)	450 (65)	240 (35,000)	450 (65,000)	160 (23,300)	180 (26,300)
A 573M (A 573)	485 (70)	290 (42,000)	485 ^a (70,000 ^a)	193 (28,000)	208 (30,000)
A 516M (A 516)	380 (55)	205 (30,000)	380 (55,000)	137 (20,000)	154 (22,500)
A 516M (A 516)	415 (60)	220 (32,000)	415 (60,000)	147 (21,300)	165 (24,000)
A 516M (A 516)	450 (65)	240 (35,000)	450 (65,000)	160 (23,300)	180 (26,300)
A 516M (A 516)	485 (70)	260 (38,000)	485 (70,000)	173 (25,300)	195 (28,500)
A 662M (A 662)	B (B)	275 (40,000)	450 (65,000)	180 (26,000)	193 (27,900)
A 662M (A 662)	C (C)	295 (43,000)	485 ^a (70,000 ^a)	194 (28,000)	208 (30,000)
A 537M (A 537)	1 (1)	345 (50,000)	485 ^a (70,000 ^a)	194 (28,000)	208 (30,000)
A 537M (A 537)	2 (2)	415 (60,000)	550 ^a (80,000 ^a)	220 (32,000)	236 (34,300)
A 633M (A 633)	C, D (C, D)	345 (50,000)	485 ^a (70,000 ^a)	194 (28,000)	208 (30,000)
A 678M (A 678)	A (A)	345 (50,000)	485 ^a (70,000 ^a)	194 (28,000)	208 (30,000)
A 678M (A 678)	B (B)	415 (60,000)	550 ^a (80,000 ^a)	220 (32,000)	236 (34,300)
A 737M (A 737)	B (B)	345 (50,000)	485 ^a (70,000 ^a)	194 (28,000)	208 (30,000)
A 841M (A 841)	Class 1 (Class 1)	345 (50,000)	485 ^a (70,000 ^a)	194 (28,000)	208 (30,000)
A 841M (A 841)	Class 2 (Class 2)	415 (60,000)	550 ^a (80,000 ^a)	220 (32,000)	236 (34,300)
CSA Specifications					
G40.21	260W (38W)	260 (38,000)	410 (60,000)	164 (24,000)	176 (25,700)
G40.21	300W (44W)	300 (44,000)	450 (65,000)	180 (26,000)	193 (27,900)
G40.21	350WT (50WT)	350 (50,000)	480 ^a (70,000 ^a)	192 (28,000)	206 (30,000)
G40.21	350W (50W)	350 (50,000)	450 (65,000)	180 (26,000)	193 (27,900)



1.6.2.1 Cálculo de espesores del cuerpo (envolvente) por el método de un pie

Con este método se calcula el espesor requerido de la pared del tanque, por condiciones de diseño y de prueba hidrostática, considerando una sección transversal ubicada a 304.8 mm. (1 pie) por debajo de la unión de cada anillo. Este método sólo es aplicable en tanques con un diámetro igual o menor a 60,960 mm. (200 pies).

El requerimiento mínimo de espesor en placas para la envolvente debe ser mas grande que los valores calculados por las formulas I.1 o I.2. Pero nunca menor que el recomendado por API 650 ver en 3.6.1.1 y a continuación se incluye. En la tabla I.25.

Formulas para calcular el espesor en el cuerpo (envolvente). Por el método de un pie.

$$t_d = \frac{4.9D(H - 0.3)G}{S_d} + CA \dots\dots\dots I.1$$

$$t_t = \frac{4.9D(H - 0.3)}{S_t} \dots\dots\dots I.2$$

Donde:

t_d = Espesores por condiciones de diseño de la envolvente (mm.).

t_t = Espesor por prueba hidrostática en la envolvente (mm.).

D = Diámetro nominal del tanque (m.).*

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

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

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

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

CA = Corrosión permisible (mm.).

S_d = Esfuerzo permisible por condiciones de diseño (MPa) o (Kg. /cm²). Dependiendo del material a utilizar.

S_t = Esfuerzo permisible por condiciones de prueba hidrostática (MPa) o (Kg. /cm²).

1.6.3 Diseño y calculo de techos

Las placas del techo tendrán un espesor mínimo nominal de 4.7 mm. (3/16 pulg.) o lámina calibre 7.



Un espesor mayor puede ser requerido para el caso de techos autoportados; la corrosión permisible puede ser incluida al espesor calculado a menos que el usuario especifique su exclusión, lo que es válido también a los techos soportados.

Todos los miembros estructurales internos y externos de techos soportados tendrán un espesor mínimo nominal de 4.32 mm. (0.17 pulg.) en cualquier componente de estos. La inclusión de corrosión de la corrosión permisible será acordada entre el usuario y el fabricante.

1.6.3.1 Diseño y cálculo de techos cónicos Autoportados

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.).

$$T_t = \frac{D}{4800 \text{Sen} \theta}$$

Donde:

T_t = Espesor mínimo requerido (cm.).

D = Diámetro medio del tanque (cm.).

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

Este espesor será incrementado en la siguiente relación cuando la suma de las cargas muertas más las cargas vivas excedan 220 Kg. /m (45 lb. / pie), más cualquier corrosión permisible.

$$\sqrt{\frac{C_m + C_v}{220}}$$

Donde:

C_m = Carga muerta (Kg. /m²).

C_v = Carga viva (Kg /m²).

Para este tipo de techos, se recomienda un espesor de 4.76 mm. (3/16 pulg.) o 9.52 mm. (3/8 pulg.), y en base a estos espesores se obtiene la pendiente más conveniente, dentro de las limitantes especificadas con anterioridad, estos con la finalidad de que el techo no sea demasiado pesado y a su vez presente dificultad para su fabricación.

1.6.3.2 Diseño y cálculo de techos tipo domo y sombrilla Autoportados

Este tipo de tapas deberán estar diseñadas bajo los siguientes requerimientos:

$$t_r = \frac{r_r}{2400}$$



Donde:

t_t = Espesor mínimo requerido (cm.) no menor de 4.76 mm. (3/16 pulg.), no mayor de 12.7 mm. (1/2 pulg.).

D = Diámetro nominal del cuerpo del tanque (cm.).

r_r = Radio de abombado del techo (cm.) radio mínimo $r_r = 0.8 D$ (a menos que el usuario especifique otro radio), radio máximo $r_r = 1.2 D$

Cuando la suma de las cargas muertas más las cargas vivas exceda 220 Kg. /cm² (45 lb. / pie²), el espesor mínimo deberá ser incrementado en la relación mencionada más cualquier corrosión permisible, usando el mismo procedimiento que para techos cónicos autosoportados.

1.6.3.3 Diseño y cálculo de techos cónicos soportados

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

Esfuerzo Máximo de Tensión.

- a) Para placas roladas en su sección neta, 1,406 Kg /cm² (20,000 lb /pulg²).
- b) Para soldadura con penetración completa en áreas de placa delgada, 1266 Kg /cm² (18000 lb / pulg²).

Esfuerzo Máximo de Compresión.

- a) Para acero rolado, donde se previene la flexión lateral, 1,406 Kg/cm² (20,000 lb/pulg²).
- b) Para soldadura con penetración completa en áreas de placa delgada 1,406 Kg/cm² (20,000 lb / pulg²).

Esfuerzo Máximo Producido por Flexión

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

b) Para tensión y compresión en fibras extremas de miembros asimétricos, donde el miembro es soportado lateralmente en intervalos no mayores de 13 veces el ancho de



la viga compuesta de compresión, no deberá exceder un esfuerzo de $1,406 \text{ Kg/cm}^2$ ($20,000 \text{ lb / pul}^2$).

c) Para tensión en fibras extremas de otros miembros rolados, miembros estructurales y traveses, no excederán de un esfuerzo de $1,406 \text{ Kg /cm}^2$ ($20,000 \text{ lb / pulg}^2$).

Esfuerzo Máximo de Corte

a) Para soldaduras de filetes, tapones, ranuras, penetración parcial, el esfuerzo permitido en el área de la garganta será como máximo de 956 Kg/cm^2 ($13,600 \text{ lb/pulg}^2$).

b) En el área del espesor de alma de vigas y traveses donde el peralte del alma de la viga no sea mayor de 60 veces el espesor de esta o cuando el alma es adecuadamente reforzada, el esfuerzo no debe exceder de 914 Kg /cm^2 ($13,000 \text{ lb / pulg}^2$).

1.6.3.4 Diseño de techos flotantes cubiertos.

Los requerimientos de techos flotantes son limitados sólo por factores que afectan la seguridad, durabilidad y que están involucrados dentro de la calidad y la seguridad. El material de fabricación para el techo esta regido por la compatibilidad con el líquido contenido en el tanque.

Los materiales considerados podrán ser:

Acero al carbón, aluminio conforme a los requerimientos de la sección dos del ANSI/ASME B96.1, acero inoxidable (ASTM A-240 acero austenítico); el impermeabilizante y cubierta plástica no deben tener un espesor mayor de 0.100 de pulgada de acuerdo a **ASTM E84**.

El espacio entre la periferia exterior del techo y el tanque, así como columnas, escaleras, niveles, será sellado por un dispositivo flexible que logre el cierre en la superficie mencionada. Antes de seleccionar el material del sello, debe considerarse la temperatura ambiente, la temperatura de diseño la permeabilidad, la resistencia a la abrasión, decoloración, endurecimiento, resquebrajamiento y otros factores de compatibilidad. El sello podrá ser de espuma flexible contenida en un envoltorio, como poliuretano cubierto con uretano, o de tipo elástico, como goma extruida o sintética.

En el caso de que el sello sea una zapata metálica en contacto con el cuerpo del tanque, tendrá que estar galvanizada si ésta es de acero al carbón con un espesor mínimo nominal del calibre 16 y G90 de revestimiento. Los sellos periféricos se diseñan con una desviación de $\pm 102 \text{ mm}$ (4 pulg) entre el techo y el cuerpo.



CAPITULO II FORMAS DE CORROSIÓN



CAPITULO II. CORROSIÓN.

El deterioro de líneas de tubería, válvulas, bombas y equipo asociado debido al fenómeno de la corrosión externa, es un caso que requiere de una atención inmediata para muchas instalaciones. En un tiempo, la corrosión fue aceptada como inevitable en muchos medios ambientes y a menudo se especificaba un **sobre-espesor** para la tubería metálica y placas con la finalidad de extender su vida útil. Desde un punto de vista práctico, **la picadura mas profunda** es la que determina **la vida útil** de un equipo.

Se entiende por **corrosión** la deterioración y desintegración gradual de los materiales debida a la reacción química ó electroquímica con el medio que lo rodea, produciendo el consiguiente deterioro en sus propiedades tanto físicas como químicas. La característica fundamental de este fenómeno, es que sólo ocurre en presencia de un electrolito, ocasionando regiones plenamente identificadas, llamadas anódicas y catódicas: una reacción de oxidación es una reacción anódica, en la cual los electrones son liberados dirigiéndose a otras regiones catódicas. En la región anódica se producirá la disolución del metal (corrosión) y, consecuentemente en la región catódica la inmunidad del metal. El mecanismo de la corrosión es la celda electroquímica clásica como se muestra en la figura II.1. La celda electroquímica requiere cuatro factores que deben estar presentes como:

- El **ánodo** el lugar donde se pierde el metal y los electrones se producen.
- El **cátodo** donde los electrones producidos en el ánodo se consumen.
- La **trayectoria metálica o flujo de electrón** la cuál conduce electrones de los sitios anódicos a los sitios catódicos
- El **electrolito** el cuál proporciona los reactivos para las reacciones catódicas y permite el flujo de iones.

Para que ocurra la corrosión todos estos componentes deben estar presentes y activos.

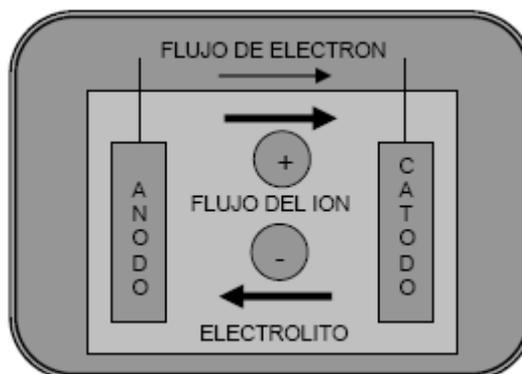


Figura II.1. Celda electroquímica.



Entendiendo que el ambiente y los factores que afectan la corrosión son importantes en la comprensión de la corrosión. Entender el ambiente nos ayuda a determinar que factores contribuyen a la actividad de la corrosión y muchas veces a la identificación de métodos apropiados para el control de la corrosión.

II.1 AMBIENTES DE CORROSION

*Los ambientes que afectan la corrosión se clasifican típicamente en cuatro tipos importantes: **atmosférico, subterráneo, líquido, y de temperatura elevada**. Cada ambiente tiene características que pueden variar considerablemente con el tiempo y pueden afectar la corrosión de materiales de diversas maneras.*

II.1.1 Ambientes Atmosféricos

Las exposiciones naturales atmosféricas se clasifican en cuatro tipos con objeto de entender su efecto en la corrosión. Se asume que todas estas atmósferas están principalmente compuestas de una mezcla de oxígeno (cerca de 20 %) y de nitrógeno (cerca de 78 %). Mientras que el oxígeno presente en atmósferas naturales es importante en la corrosión atmosférica. Como son materiales en la atmósfera que varían considerablemente y que debe ser identificados correctamente para entender la corrosión atmosférica.

Estos materiales incluyen:

- *Sólidos*
- *Líquidos*
- *Gases.*

*Un ejemplo de los **sólidos** que afectan la corrosión atmosférica es la sal presente en la mayoría de los ambientes marinos.*

*El mejor ejemplo de un **líquido** que afecta la corrosión es el agua. Pues veremos, la corrosión ocurre en una velocidad mucho más rápido cuando las superficies están húmedas que cuando están libres de agua líquida. La humedad puede también ser benéfica para la remoción de los contaminantes corrosivos de las superficies. Mientras que la lluvia es bastante eficaz en esta limpieza, la niebla o el rocío son menos eficaces, porque aumentan el tiempo de humedad. La humedad de la lluvia o del rocío se puede acumular en hendiduras u otras áreas que atrapan y retienen el agua. Esto crea las condiciones húmedas por períodos muy largos. Los efectos de la niebla y del rocío son controlados por la humedad relativa del ambiente. La humedad relativa es una medida del contenido de agua real de la atmósfera comparada a la cantidad máxima de vapor de agua que se puede llevar a cabo en una temperatura específica.*



Los **gases** que pueden afectar la corrosión incluyen los óxidos de nitrógeno y de sulfuro, los cuáles están presentes en la lluvia ácida corrosiva que tiene parte convertida de nuestra sociedad industrializada. Estos gases pueden también disolverse en el rocío y la niebla para crear condiciones más agresivas que en la lluvia ácida, mientras que tienden a quedar orientados en la superficie y concentrados preferentemente.

II.1.1.1 La temperatura

La temperatura en la atmósfera afecta a la corrosión. Aunque las velocidades de la corrosión aumentan normalmente con el aumento de temperatura, las temperaturas más altas pueden tener el efecto benéfico de promover una superficie seca, y por lo tanto disminuye el tiempo de humedad. En el caso de la corrosión del acero, los efectos benéficos de temperaturas elevadas en la reducción de tiempos de la humedad prevalecen generalmente sobre los efectos potencialmente nocivos de la temperatura creciente.

II.1.1.2 Las atmósferas industriales

Las atmósferas industriales se caracterizan por tener altos niveles de gases corrosivos tales como el dióxido de sulfuro, óxidos de nitrógeno, y monóxido de carbono, los cuales puede crear un ambiente seriamente corrosivo. Muchos de estos gases son solubles en agua y cuando están combinados con agua en el ambiente natural el agua llega a ser ácida.

El tizne y otros sólidos son también frecuentes en las atmósferas industriales. Estos sólidos pueden ser corrosivos por sí mismos, o pueden cubrir simplemente superficies con una capa de material que pueda retener el agua y mantener las superficies mojadas por períodos muy largos.

II.1.1.3 Las atmósferas marinas

Las atmósferas marinas se caracterizan por tener altos niveles de cloruros y de sales de mar. Estas sales se disuelven en el rocío del mar y pueden ser llevadas muchas millas hacia dentro por los vientos.

Mientras que la sal ordinaria (cloruro de sodio) es el componente primario de la sal del mar, otras sales tienen efectos corrosivos importantes. Algunos de los compuestos de la sal de mar, por ejemplo el cloruro de magnesio, son higroscópicos. Los materiales higroscópicos tienden a absorber el agua.

Los cloruros en la sal de mar son particularmente agresivos hacia muchos materiales. Algunos materiales como aleaciones de aluminio y aceros inoxidable, generalmente son resistentes a la corrosión en la mayoría de las atmósferas. Estos cloruros son también particularmente agresivos porque los cloruros del metal tienden a ser solubles.



II.1.1.4 Las atmósferas rurales

Las atmósferas rurales no contienen los productos químicos encontrados en las atmósferas industriales o la sal del mar que caracterizan a las atmósferas marinas. Sin embargo, pueden contener polvos agresivos y gases. El polvo puede ser orgánico o inorgánico.

Una amplia variedad de productos químicos inorgánicos se utilizan en actividades de cultivo. Estos productos los incluyen los fertilizantes, herbicidas, insecticidas, y fungicidas. Muchos de estos productos químicos son corrosivos y algunos son higroscópicos.

Los materiales orgánicos los incluyen los residuos del abono y de la cosecha. El abono es generalmente ácido. El Amoníaco, del abono o de los fertilizantes, puede también ser agresivo.

II.1.1.5 Las atmósferas áridas pueden también ser rurales. *En ambientes áridos, hay poca precipitación, pero en algunas localizaciones la humedad relativa puede ser alta y la condensación puede ocurrir. La temperatura ambiente alta, la luz del sol intensa, y la arena conducida por viento es común en atmósferas áridas y pueden ser factores significativos en la corrosión de los materiales.*

II.1.1.6 Las atmósferas tropicales

Las atmósferas tropicales se caracterizan por una humedad relativa elevada y luz de sol intensa. Hay períodos largos durante la noche en que ocurre la condensación. En áreas protegidas, esta condensación puede persistir por períodos largos. Además, los organismos vivos tales como hongos y líquenes pueden crecer en superficies y estos organismos, además de prolongar la época de humedad, pueden excretar materiales corrosivos.

II.1.2. Ambientes Subterráneos

Los ambientes corrosivos subterráneos tienen una gama muy amplia. El ambiente subterráneo será descrito en términos de las características del suelo. El suelo será considerado cualquier material sólido que cubre una estructura y puede consistir en arena, légamo, arcilla, marga, rocas, o una mezcla de estos componentes. El ambiente corrosivo depende de las características químicas del suelo, su contenido de agua, su resistencia eléctrica, la cantidad de aireación, y la presencia (o ausencia) de bacterias.

Un factor importante en la corrosividad del suelo es que el ambiente puede variar mucho en distancias grandes o pequeñas. Los ambientes subterráneos pueden también variar con el tiempo. Las condiciones redondas del curso del suelo se deben considerar durante el diseño de estructuras subterráneas.



Donde una estructura subterránea entra en contacto con una roca, el área local entre la roca y la estructura tienen características perceptiblemente diversas de la superficie circundante en contacto. La mayoría de las estructuras bajo tierra se entierran en suelos irregulares y el control, o carencia de este de rellenar, puede tener un gran efecto en el ambiente corrosivo subterráneo. Entre más uniforme sea el ambiente, la corrosión menos agresiva será.

II.1.2.1 Características físicas del suelo

Las características físicas del suelo que afectan la corrosión se relacionan sobre todo con el tamaño y la distribución de grano, y retención y aireación de la humedad. En un suelo que contiene una distribución desigual de tamaños de partículas o de rocas grandes, los diferentes elementos de la corrosión del ambiente pueden ser creados.

II.1.2.2 Características químicas del suelo.

El suelo tiene una amplia variedad de características químicas. Las características químicas importantes incluyen el pH (acidez o alcalinidad) y la presencia de sales solubles en agua.

El pH tiene un gran efecto en la corrosión de muchos materiales; sin embargo, el efecto no es uniforme. La Alcalinidad moderada (alto pH, 8-10) no es agresiva hacia el acero pero puede ser muy agresiva hacia el aluminio.

Las sales, en presencia de humedad, tienen dos efectos. Uno es proporcionar los iones corrosivos que pueden entrar directamente en la reacción de la corrosión o afectar la formación de películas protectoras en la superficie de la estructura enterrada.

El segundo es aumentar la conductividad eléctrica del suelo. Los cloruros y los sulfatos son particularmente dañinos a través de sus interacciones químicas directas. Cualquier sal disuelta aumentará la conductividad eléctrica del suelo.

II.1.2.3 El contenido de humedad.

El contenido de humedad de los suelos puede variar a partir de 1% al 2% (o menos en ambientes áridos) a las condiciones saturadas en pantanos, lodazales, o localizaciones debajo del agua. La humedad tiene dos efectos primarios: primero, proporciona el electrolito necesario para la corrosión. Y en segundo lugar, afecta la conductividad del suelo.

II.1.2.4 La resistividad eléctrica

La resistividad eléctrica es diferente de resistencia eléctrica: la resistividad es una propiedad del material, mientras que la resistencia depende de la resistividad eléctrica



del material junto con la longitud y el área representativa del material que está llevando la corriente. La resistividad eléctrica es también una medida indirecta de dos características importantes del suelo, contenido de humedad y niveles disueltos de sal. Cuanto más baja es la resistencia, más alta es la conductividad.

La resistividad del suelo es afectada por otros factores, tales como la compactación y el tipo de suelo. La resistividad del suelo y el contenido de humedad pueden variar considerablemente con el tiempo. Las variaciones estacionales en la resistencia del suelo se deben considerar en el diseño de estructuras subterráneas.

II.1.2.5 La aireación

La cantidad de oxígeno disponible en el suelo afecta el índice de la corrosión de muchos materiales. Lo más común es que entre más aireación, aumentan los índices de corrosión de aceros. Sin embargo, la aireación baja puede causar el ataque acelerado de algunos materiales, por ejemplo los aceros inoxidable. Cuando no hay oxígeno libre (condiciones anaerobias), los suelos pueden llegar a ser muy agresivos con la acción de bacterias anaerobias.

II.1.2.6 Bacterias

Las bacterias están presentes en la mayoría de los suelos. La mayoría de las bacterias que viven bajo condiciones aerobias (buena aireación) no causan la corrosión acelerada. Sin embargo, las bacterias que viven bajo condiciones anaerobias pueden producir los subproductos químicos que afectan demasiado a la corrosión, y algunos pueden incluso actuar como despolarizadores catódicos. Un tipo particularmente agresivo de bacterias de suelo es la bacteria de reducción de sulfato, las cuáles producen los sulfuros como residuos. Cuando éstas son activas, los sulfuros que producen pueden causar una corrosión muy rápida al acero.

II.1.3. Ambientes Líquidos

La inmersión en líquidos se presenta en una amplia variedad de ambientes corrosivos. Los líquidos pueden ser cualquiera como aguas naturales, aguas tratadas, o líquidos áspersos de un proceso químico. El agua se considera un componente común en algunos ambientes corrosivos. Tales líquidos son designados como líquidos acuosos. Los líquidos no acuosos, por ejemplo los alcoholes, acetona, etc., puede causar el deterioro de otros materiales, por ejemplo los plásticos o los elastómeros.

Las superficies externas de un sistema se pueden exponer a la inmersión en ambientes líquidos naturales. Los cascos sumergidos de barcos, submarinos y plataformas son ejemplos de tales exposiciones. El líquido en este caso es agua de mar, agua dulce, o una combinación de las dos, la cuál se llama agua salobre. El agua de mar, con su alto contenido de sales corrosivas y de resistencia baja, puede ser particularmente corrosiva.



La actividad biológica en el agua de mar contamina, los grandes organismos que se acumulan en superficies expuestas por períodos muy largos y los organismos microscópicos forman rápidamente una capa delgada de fango o baba secretada por los organismos en superficies inmersas en agua de mar, afectan a la corrosión.

Los líquidos de proceso pueden variar el agua desmineralizada relativamente anticorrosiva a las mezclas químicas fuertemente agresivas en una planta química. En sistemas cerrados, algunos líquidos de proceso se pueden desairear para controlar la corrosión. El control adicional de la corrosión en líquidos de proceso es posible con el control cuidadoso de la composición y de la temperatura líquida. Además, la adición intencional de los productos químicos (inhibidores) se puede utilizar para controlar la corrosión.

Otros factores que tienen efectos significativos en las superficies internas de los sistemas que llevan o que almacenan líquidos son **la configuración física del sistema, la composición química del líquido, la velocidad del flujo del líquido, la presencia de sólidos en el sistema, la temperatura del líquido, la presión del líquido, y la presencia de organismos biológicos.**

II.1.3.1 La configuración física del sistema

La configuración física del sistema puede afectar muchos factores relacionados con la corrosión. Las superficies se pueden exponer a los líquidos y a los vapores. Los tanques y los recipientes se pueden o no diseñar para drenar totalmente. El flujo en el sistema puede ser sin grumos, liso o turbulento.

II.1.3.2 La composición química del líquido

La composición química del líquido depende del uso. Las sustancias disueltas pueden incluir gases disueltos, por ejemplo el oxígeno y el bióxido de carbono, eso afecta la corrosión de algunos materiales.

II.1.3.3 Caudal (velocidad del fluido)

El caudal puede afectar la corrosión de dos maneras. El incremento de flujo puede aumentar la disponibilidad de reactivos en el proceso de la corrosión, particularmente la disponibilidad de los despolarizadores catódicos tales como el oxígeno. Las altas velocidades de corriente también llevan los productos anódicos más solubles de la reacción que se acumularían y retardarían de otra manera la reacción de la corrosión.

La segunda manera son las altas velocidades de corriente que pueden afectar la corrosión por remover la película insoluble del producto de la corrosión necesaria para la resistencia a la corrosión de muchos metales en ambientes líquidos. La corrosión de los tubos de cobre de un intercambiador de calor con una velocidad alta del fluido es un ejemplo del retiro de las capas protectoras del producto de la corrosión.



II.1.3.4 La temperatura

El efecto de la temperatura en la corrosión en líquidos es complejo. En la mayoría de los casos, la temperatura se incrementa a causa de las velocidades más altas de la corrosión aumentando las velocidades de la difusión que afectan los iones en el líquido mientras que pasan a través de las capas superficiales. En otros casos, la solubilidad menor de gases con el aumento de la temperatura puede reducir las velocidades de la corrosión en temperaturas más altas. Otros efectos de la temperatura pueden incluir el escalamiento de la deposición de los compuestos solubles que han reducido solubilidad en temperaturas más altas, o la eliminación de las escalas que tienen una solubilidad más alta en temperaturas más bajas.

II.1.3.5 La presión

La presión por sí misma tiene poco efecto directo en la corrosión. Sin embargo, la presión puede aumentar la solubilidad de gases en líquidos.

II.1.3.6 Organismos biológicos

Los organismos biológicos, particularmente microorganismos, crecen en una variedad asombrosa de ambientes. Estos organismos afectan la corrosión de dos maneras básicas.

La primera es por la producción de compuestos corrosivos o por el consumo de los compuestos que inhiben la corrosión (recubrimientos). La segunda es por la formación de una capa fina pero firmemente adherente en superficies sumergidas. Esta capa afecta el transporte de materiales. La presencia de organismos biológicos aumenta casi siempre la velocidad de corrosión.

*La corrosión afectada por la presencia de microorganismos se llama **Corrosión Microbiológica Influenciada (MIC)**. La presencia de microorganismos puede causar un aumento en la corrosión. Estos organismos pueden crecer siempre que las condiciones sean correctas. Crecerán a menudo durante períodos del flujo bajo o estático. Cuando los sistemas son probados a presión para detectar fugas llenándolos con agua antes de que sean puestos en servicio, y el agua de la prueba se deja en el sistema, el ataque a partir de la MIC puede ocurrir.*

II.1.4. Ambientes de Temperatura Elevada

Se consideran altas temperaturas por ser condiciones arriba de 650 °C (1200 °F). En estas temperaturas, el agua líquida se requiere nada más para la oxidación/reducción.

II.1.4.1 Oxidación a alta temperatura

Como en otras formas de oxidación, la oxidación a alta temperatura implica lo siguiente:



- Los electrones son perdidos
- La carga se convierte en una más positiva
- El oxígeno no está presente necesariamente

En atmósferas oxidantes, la formación de un revestimiento estable de óxido en las superficies del metal se requiere generalmente para la buena resistencia a la corrosión a alta temperatura. Las exposiciones a temperaturas arriba de las temperaturas de la estabilidad de estas películas de óxido pueden causar corrosión muy rápida.

Para el buen funcionamiento de alta temperatura de servicio, los materiales deben tener películas de óxido con las siguientes características:

- Estabilidad física (no deben derretirse)
- Baja volatilidad (no deben estar en ebullición)
- Mantenimiento de buena integridad mecánica (no deben agrietarse)
- Adherencia del substrato (no se debe de caer)
- Crecimiento cinético lento (no permiten la corrosión rápida)

El sulfuro y oxígeno pueden causar oxidación en las temperaturas elevadas. La reacción con el sulfuro, llamada sulfidización (reacción del azufre con el medio), puede ser mucho más destructiva que la oxidación por el oxígeno. Las películas del sulfuro tienden a agrietarse.

Algunos materiales, como el óxido de vanadio y el sulfato de sodio, se derriten en temperaturas elevadas, y el material derretido puede causar el ataque rápido de los metales tales como el acero. Las sales fundidas, particularmente cloruros, pueden interferir con la formación de escamas con las características deseables y puede causar ataque rápido en las temperaturas elevadas.

II.1.4.2 La reducción de alta temperatura

Los daños pueden también ocurrir en la reducción de las atmósferas, donde reduciendo los gases tales como hidrógeno (H_2), monóxido de carbono (CO), bióxido de carbono (CO_2), o el sulfuro de hidrógeno (H_2S) están presentes. La presencia del sulfuro puede aumentar la cantidad de corrosión bajo la reducción de condiciones. En muchos casos, el daño es interno al metal y puede no ser obvio de cambios de peso o de tamaño o de la formación de escamas externas.

II.2 FORMAS DE CORROSIÓN

Discutiremos los mecanismos específicos que resultan en estos tipos, las velocidades de ataque y maneras de medir y pronosticar cada forma de ataque, ejemplos de las combinaciones típicas del ambiente del metal dando por resultado cada forma, y métodos que pueden ser utilizados para controlar cada tipo.



Solamente cuando entendemos que los mecanismos responsables para cada forma de ataque pueden manejarse las medidas de control y ser identificadas e implementadas. Las diversas formas de corrosión pueden ser divididas en tres categorías.

- **Grupo I:** Estas se identifican con facilidad por medio de una inspección visual.
- **Grupo II:** Estas pueden requerir medios suplementarios de inspección.
- **Grupo III:** Estas usualmente deben de ser verificadas por medio de un microscopio (óptico, de escando por electrón, etc.). Estas algunas veces son visibles.

II.2.1 Ataque General de la Corrosión

El ataque general de corrosión es el que procede uniformemente y excede la superficie expuesta sin una localización apreciable de ataque. El ataque general de corrosión también se llama corrosión general o corrosión uniforme. Para los materiales como lámina o placa, esto implica un adelgazamiento relativamente uniforme. Para barras o los alambres redondos, la corrosión procede radialmente hacia el interior esencialmente a una velocidad uniforme alrededor de la circunferencia. El resultado es una barra o un alambre de un diámetro menor. La tubería y los tubos que sufren corrosión general se adelgazan por un lado o el otro (o ambos), dependiendo de la naturaleza de la exposición al ambiente corrosivo. Al **seleccionar mal los materiales** en ambientes corrosivos da como consecuencia una corrosión general severa. En la figura II.2 se puede observar una corrosión general.

II.2.1.1 Reconocimiento

El ataque general de corrosión se puede reconocer por que la superficie se pone áspera por la presencia de productos de la corrosión. En algunos casos, los productos de la corrosión pueden no estar presentes, pueden ser solubles o ser removidos por la acción del viento, lluvia u otras fuerzas.

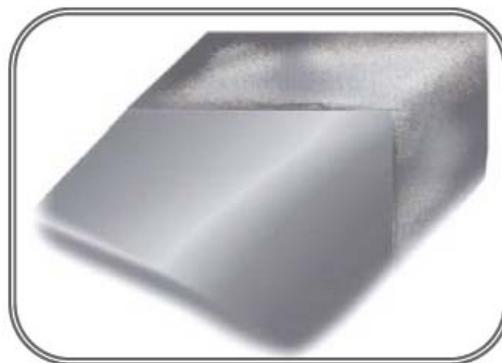


Figura II.2. Corrosión general



II.2.1.2 El mecanismo

El mecanismo del ataque general es típicamente un proceso electroquímico que ocurre en la superficie del material. Los ánodos y los cátodos son causados por diferencias menores en la composición o la orientación entre las áreas pequeñas en la superficie del metal. Estos sitios cambian su potencial con respecto a los alrededores, y la corrosión procede uniformemente sobre la superficie.

II.2.1.3 Velocidad de la corrosión.

Dependiendo en la especificación del material y del ambiente, la velocidad de corrosión general puede ser:

- Lineal
- Decreciente con el tiempo
- Incrementa con el tiempo

Estas velocidades de corrosión se observan en la figura II.3

II.2.1.4 Previsibilidad y medida

Cuando las velocidades de corrosión son lineales o decrecientes con el tiempo, las proyecciones a largo plazo del daño por la corrosión son posibles. Cuando las velocidades de la corrosión se incrementan con el tiempo, es mucho más difícil predecir el daño de la corrosión a largo plazo. El ataque general de la corrosión se mide generalmente en términos de velocidades de penetración por unidad de tiempo en **milímetros por año o milésimas de pulgadas por año**. La medida experimental del ataque general de la corrosión es generalmente hecha midiendo la pérdida del peso y calculando la pérdida equivalente del espesor del metal. En las medidas experimentales y en el campo, la pérdida del espesor puede ser medida directamente usando un calibrador-micrómetro o un instrumento ultrasónico para medir el espesor.

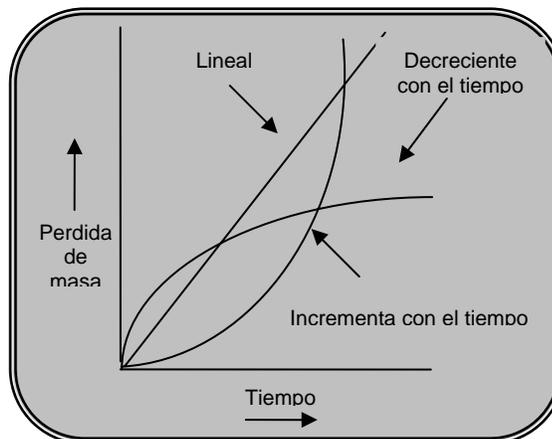


Figura II.3. Velocidad de corrosión



II.2.1.5 Control del ataque general de la corrosión

Cuando las velocidades de la corrosión son bajas y son lineales o decrecen con el tiempo, la corrosión uniforme puede ser tolerada sin la necesidad de controlarla. El efecto de la pérdida de corrosión es relativamente fácil de determinar, y la corrosión permisible puede hacerse en el diseño inicial para anticipar la pérdida en el espesor. Si la velocidad del ataque es inaceptable (cuando no puede ser manejado razonablemente por una corrosión permisible, o donde la contaminación del metal no puede ser tolerada), puede ser necesario modificar el diseño original, en la etapa inicial del diseño, o con la modificación después de la construcción.

En algunos casos, un material más resistente a la corrosión puede ser utilizado. El diseño se puede cambiar para eliminar la condición corrosiva. Esto puede implicar todo para una reorientación simple de superficies para evitar características que atrapen y retengan el agua a los cambios significativos en condiciones del funcionamiento. Si el ambiente puede ser controlado, tal como la deshumidificación de espacios interiores o la adición de los inhibidores de la corrosión a los ambientes líquidos, la corrosión se puede reducir a los niveles aceptables.

Las capas protectoras son particularmente eficaces para controlar la corrosión uniforme. Cuando la capa esta defectuosa, o falla debido a la exposición ambiental, el ataque uniforme ocurre lentamente. Al recubrir o reparar la capa local puede detenerse el ataque antes de que progrese suficientemente para causar una pérdida significativa de material.

La protección catódica, es un método que interfiere con el flujo de la corriente en la célula electroquímica, puede ser utilizada en ambientes subterráneos o en situaciones de inmersión.

II.2.2 Corrosión localizada

La corrosión localizada, es diferente al ataque general de corrosión, ocurre en sitios discretos en una superficie del metal. Mientras que la actividad de corrosión en estos sitios puede comenzar y parar con los cambios en el ambiente y nuevos sitios pueden comenzar a corroerse, la corrosión se concentra en estos sitios. Las áreas que rodean los sitios en donde ocurre la corrosión localizada se corroen en un grado inferior.

Dos formas de ataque localizado, serán descritas a continuación:

- *Corrosión por picaduras (puntual).*
- *Corrosión por hendiduras.*



II.2.2.1 Corrosión por Picaduras

Las picaduras son profundas, es un ataque corrosivo estrecho muchas veces causa una penetración rápida y la pérdida de espesor. La corrosión por picaduras se caracteriza por un ataque corrosivo en una región localizada alrededor de superficies no corroídas, o superficies que son atacadas en una extensión mucho menor. La corrosión por picaduras puede iniciar en imperfecciones aleatorias donde las capas protectoras están en una forma discontinua. La corrosión por picaduras se muestra en la figura II.4

II.2.2.1.1 El mecanismo

Muy a menudo, un elemento esta encima entre el interior de una picadura y la superficie externa.

El interior contiene ácido, sales hidrolizadas que son completamente corrosivas comparadas con la solución mayor. Un ánodo se establece dentro de la picadura, y la superficie alrededor actúa como cátodo. Ésta es particularmente el caso para las aleaciones que dependen de una resistencia, la película pasiva para la protección (tal como con los aceros inoxidable, titanio, y aluminio). También puede ocurrir en el hierro, acero, plomo, y otros metales. Las picaduras se convierten en los puntos débiles en la película superficial y en los sitios en donde la película se daña mecánicamente.

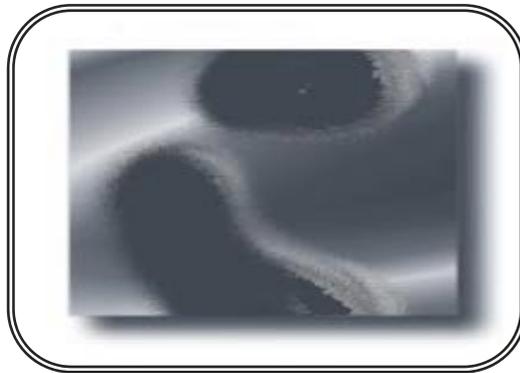


Figura II.4 Corrosión por picaduras

II.2.2.1.2 Velocidad de las picaduras

La importancia práctica de las picaduras depende de los espesores del metal y en la velocidad de penetración. La velocidad decrece generalmente con el tiempo. **Así, en secciones delgadas las picaduras pueden ser serias, mientras que en una sección gruesa puede ser menos importante.** En general la velocidad de penetración decrece si el número de picaduras aumenta. Esto es porque las picaduras adyacentes tienen que compartir el área catódica adyacente disponible.



La corrosión por picaduras ocurre generalmente en etapas:

- La iniciación
- La propagación
- La terminación
- La reiniciación

Iniciación: Las picaduras inician en los defectos o las imperfecciones de una película protectora o pasiva. Los defectos se pueden distribuir aleatoriamente, o a causa de un daño mecánico a las mismas. Las picaduras no pueden iniciar por períodos largos, pero una vez que inicia, las picaduras se pueden propagar rápidamente.

Propagación: En la etapa de la propagación, la corrosión se impulsa por la diferencia de potencial entre el área anódica dentro de la picadura y el área catódica alrededor.

Terminación: Una picadura puede terminar debido al incremento de la resistencia interna del elemento local (causada por ocupar productos de la corrosión, la película del cátodo, etc.). Si una superficie picada se seca, las picaduras pueden terminar.

Reiniciación: Cuando son remojadas, algunas picaduras pueden reiniciarse. Esto puede ser debido al reestablecimiento de las condiciones, o por la diferente aireación entre la solución en la cavidad principal de la picadura y las soluciones en algunas de las grietas más profundas del metal que emanan de ellas.

II.2.2.1.3 La medida y previsibilidad

La medición de picaduras por corrosión se hace midiendo la profundidad de las picaduras debajo de la superficie circundante. Esto puede ser realizado usando tales instrumentos y métodos como:

- Microscopía calibrada
- Medidor dial con indicador prueba.
- Seccionamiento Metalográfico.

En las medidas de picaduras con un microscopio calibrado, primero se enfoca el microscopio en el fondo de la picadura y alrededor de la superficie. La diferencia de la distancia leída que se enfoca para una escala en el microscopio representa la profundidad de la picadura.

Al utilizar un medidor dial con un indicador de prueba, el medidor se pone en cero en una superficie plana, entonces el indicador se inserta en la picadura y la profundidad de la picadura se lee directamente en el medidor dial. Es importante que el medidor alcance la parte más profunda de la picadura.

El medidor dial es el que se muestra en la figura II.5.



La medición metalográfica de las picaduras requiere seccionar la muestra en los sitios de la picadura. Es a menudo difícil asegurarse de que la sección está en el punto más profundo de la picadura. El material se remueve de la superficie hasta que no haya otras picaduras evidentes. Este método es el más exacto porque, iguala el seccionamiento metalografico, si es difícil encontrar la localización de la penetración más profunda.

El efecto de la corrosión por picaduras es más difícil de aplicarse que el efecto de corrosión uniforme, porque la localización exacta de las picaduras no se puede predecir. Además, la profundidad de las picaduras se distribuye aleatoriamente.



Figura II.5. Indicador dial

II.2.2.1.4 El control de la corrosión por picaduras

Las picaduras por corrosión se pueden controlar de varias maneras incluyendo:

II.2.2.1.5 La selección de los materiales

Este es considerado ampliamente aplicable. El uso de un material más resistente a las picaduras, en una base parcial, es también empleado (el uso de soldaduras revestidas para mejorar la resistencia de las caras del reborde).

II.2.2.1.6 La modificación del ambiente

La tendencia de un ambiente que induce las picaduras a veces puede ser modificada por la deaeración, eliminación de ciertas especies, inhibición, etc. Cuidando que la superficie este limpia y pueda ayudar a controlar las picaduras.

II.2.2.1.7 Capas protectoras

Las capas pueden ser utilizadas con eficacia en casos específicos, tal como en los sujetadores roscados. En superficies expuestas, hay siempre la posibilidad de concentrar el ataque en las imperfecciones de la capa.



II.2.2.1.8 Las técnicas electroquímicas

La protección catódica se ha utilizado con eficacia para controlar las picaduras en superficies expuestas. La protección anódica no se recomienda generalmente donde el ataque por picaduras puede ocurrir.

II.2.2.1.9 Diseño

El incremento de la sección de cruces representativos o de corrosión permitida no es una medida práctica contra el ataque de picaduras o de la corrosión localizada severa.

II.2.2.2. La corrosión por hendiduras.

La corrosión por hendiduras es una forma de ataque localizado en la cual el sitio del ataque es un área donde está restringido el acceso del ambiente circundante. Como la corrosión por hendiduras es causada por diferencias en las concentraciones de los materiales por dentro y por fuera de la hendidura. Esta forma de ataque localizado puede surgir cuando se presenten intersticios entre dos superficies acopladas de piezas metálicas del mismo o diferente tipo, o bien entre piezas metálicas y depósitos de cuerpos extraños, incluso no metálicos. Este tipo de corrosión ataca la superficie metálica, debajo de la cual se encuentra oculta, por ejemplo bajo arandelas o cabezas de tornillo, en las roscas de los tornillos o en accesorios de tubería en contacto con juntas, bajo sedimentos o sólidos asentados, o bajo la flora marina.

La corrosión por hendiduras se puede reconocer por ser un ataque localizado en la entrada a una hendidura o la profundidad dentro de la hendidura. Cuando la corrosión ocurre profundamente dentro de una hendidura, se revela solamente después que ha ocurrido una falla.

II.2.2.2.1 El mecanismo

Estos son dos mecanismos básicos de corrosión por hendidura:

- *La corrosión por celda de concentración de oxígeno.*
- *La corrosión por celda de concentración del Ion metálico.*

Un diagrama esquemático de la corrosión por hendidura se muestra en la figura II.6.

En la corrosión por celda de concentración de oxígeno de hendidura, la diferencia de la concentración de oxígeno entre las áreas interiores y exteriores, la hendidura causa una diferencia de potencial entre estas áreas. La concentración de oxígeno afecta principalmente la actividad de las reacciones catódicas implicadas en la corrosión. Donde la actividad catódica es alta, el área debe actuar como un cátodo con respecto a las áreas donde la actividad catódica es baja.



En muchos ambientes naturales, las reacciones catódicas más comunes son la reducción del oxígeno o agua.

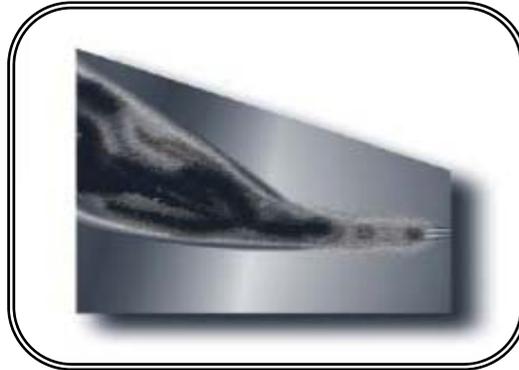


Figura II.6. Corrosión por hendidura

Un área con una reacción catódica más activa tenderá a actuar como cátodo con respecto a un área con una reacción catódica menos activa. En el área dentro de una hendidura debe reducirse el oxígeno rápidamente debido a las reacciones de la corrosión y otras reacciones que consumen oxígeno. Así, el área dentro de una hendidura llegará a ser anódica con respecto al área exterior, donde el alto contenido de oxígeno conduce a la reacción catódica. Como resultado, la corrosión de la celda de concentración de oxígeno da lugar a una corrosión concentrada profundamente dentro de la hendidura, según las indicaciones del diagrama esquemático de la figura II.7.

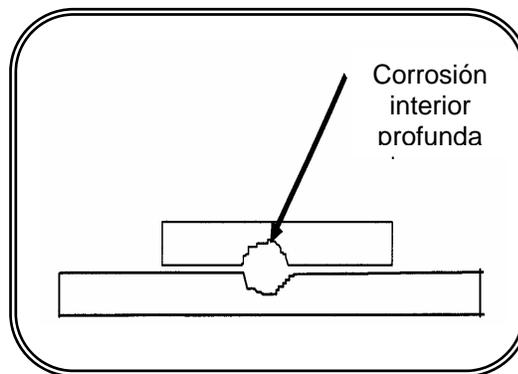


Figura II.7. Corrosión por celda de concentración de oxígeno.

En la corrosión por celda de concentración del ion metálico, la diferencia de potencial entre el interior y el exterior de la hendidura es causada por una diferencia en la concentración del ion del metal. En una celda electroquímica, la superficie con el potencial más positivo actuará como un cátodo.



El área de la celda expuesta de la concentración del Ion del metal mas alto que se localiza dentro de la hendidura actuará como cátodo con respecto al área con la concentración del Ion del metal baja fuera de la hendidura. En la corrosión de la hendidura la celda de concentración del Ion del metal, la corrosión se concentra generalmente en la entrada a la hendidura, como se muestra en la figura II.8.

La corrosión localizada, es similar en apariencia a la corrosión por hendidura, puede ocurrir debido al acceso restringido de soluciones corrosivas a ciertas áreas de la superficie. Por ejemplo, en las estructuras expuestas a la atmósfera, las superficies dentro de las hendiduras pueden estar sujetas a períodos considerablemente más largos de humedad de superficies expuestas, las cuáles tienden ha secarse más fácilmente. El mecanismo de este ataque no es la concentración de célula de corrosión; el ataque ocurre principalmente debido a diferencias en el tiempo de humedad.

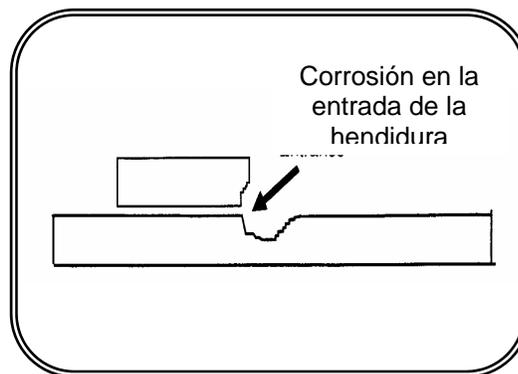


Figura II.8. Corrosión por la concentración del Ion metálico.

II.2.2.2.2 El funcionamiento de los metales y las aleaciones

La corrosión por hendidura ocurre comúnmente en los metales protegidos por capas pasivas, por ejemplo:

- Aluminio y aleaciones de aluminio
- Los aceros inoxidable y las aleaciones de base níquel
- Titanio y aleaciones de titanio
- Las aleaciones de cobre
- El circonio y aleaciones del circonio.

II.2.2.2.3 Control de la corrosión por hendiduras.

El control de la corrosión por hendiduras es complicado por la dificultad de alcanzar con eficacia el ambiente dentro de la hendidura.

Las opciones principales para el control de la corrosión por hendiduras son:



- *La selección de los materiales*
- *El diseño*
- *La protección catódica*

II.2.2.2.4 La selección de los materiales es una manera obvia de controlar la corrosión por hendiduras: Utilice simplemente los materiales menos sujetos a este problema. Sin embargo, este medio de control a menudo se hace difícil porque es casi imposible predecir la severidad de las hendiduras que serán creadas realmente en el ambiente de servicio.

II.2.2.2.5 El diseño se utiliza para controlar la corrosión por hendiduras, sobre todo por la eliminación de hendiduras. Algunas de las maneras de las cuales el diseño puede eliminar las hendiduras son:

- *Sellando las uniones traslapadas*
- *Evitando saltos de soldadura*
- *Proporcionando un desagüe completo*
- *Evitar materiales que pueden retener humedad en contacto con el sustrato.*
- *Proporcionar superficies que se puedan mantener limpias fácilmente y conservar libremente la protección.*

II.2.2.2.6 La protección catódica es asombrosamente eficaz en el control de la corrosión por hendiduras. Mientras que el mecanismo exacto de la protección catódica en el control de la corrosión por hendiduras no se ha entendido completamente, varios factores generalmente se consideran importantes. La protección catódica hace el potencial del exterior de la hendidura más negativo; así, la diferencia de potencial entre el interior y el exterior de la hendidura se reduce.

La protección catódica también produce alcalinidad en las superficies protegidas fuera de las hendiduras. Esta alcalinidad puede difundirse en la hendidura y reducir los efectos ácidos de sales hidrolizadas dentro de la hendidura.

II.2.3. La corrosión galvánica

La corrosión galvánica se define como una corrosión acelerada por la diferencia de potencial entre metales diferentes cuando estos están en contacto eléctrico y están expuestos en el mismo electrolito (incluyendo la humedad atmosférica). La corrosión galvánica puede también ocurrir entre un metal y un no metal conductor eléctrico como el grafito. El material más activo de los dos, denominado ánodo, se corroe a una velocidad mayor. El metal más pasivo, denominado cátodo, queda protegido y su velocidad de corrosión será menor a la normal. Al utilizar el mismo tipo de metal o al evitar el contacto eléctrico entre los dos metales diferentes a unir, se evita este tipo de corrosión.



Con frecuencia la aparición de manchas de herrumbre en ciertos productos de acero se debe a la contaminación con material extraño que durante un inadecuado manejo del acero se deposita en la superficie galvánicamente más anódica. Los metales y aleaciones pueden ser ordenados de acuerdo con su comportamiento activo (anódico) o noble (catódico) cuando se encuentran en un determinado electrolito. A esta clasificación se le conoce como serie galvánica.

Los iones de un metal más noble se pueden reducir en la superficie de un metal más activo (como el cobre en el aluminio).

El depósito metálico que resulta proporciona los sitios catódicos para la corrosión galvánica adicional del metal más activo. El contacto eléctrico entre los materiales disímiles puede estar a través de cualquier contacto directo, o una trayectoria conductora externa.

En la corrosión galvánica, la velocidad del ataque de un metal o aleación se acelera generalmente, mientras que la velocidad de la corrosión del otro se disminuye generalmente. La corrosión galvánica se puede reconocer por cualquier incremento de corrosión del material anódico, o corrosión decreciente del material catódico. La corrosión galvánica es a menudo pronunciada, donde están los materiales disímiles inmediatamente adyacentes a uno y en los bordes o las esquinas agudos.

El mecanismo de la corrosión galvánica es como se muestra en la figura II.9.

II.2.3.1 Serie galvánica.

Una serie galvánica es simplemente una lista de metales en el orden de sus potenciales en un electrolito específico. La corrosión galvánica afecta el ánodo en la unión por el incremento de su velocidad de corrosión. La forma de este ataque corrosivo puede ser como el ataque general, picaduras o alguna otra forma de corrosión. La actividad galvánica no es controlada la forma de corrosión que ocurre en el ánodo; es solamente incremento de la velocidad de ataque.

II.2.3.2 La velocidad de la corrosión galvánica

El grado de la corrosión acelerada que resulta del acoplamiento galvánico es afectado por los siguientes factores:

- La diferencia de potencial entre los metales o las aleaciones
- La naturaleza específica del ambiente
- El comportamiento de polarización de los materiales unidos.
- Los efectos espaciales, por ejemplo área, distancia, y la geometría de la célula.



II.2.3.3 La diferencia de potencial

La diferencia de potencial entre los materiales ocasiona una corriente de flujo cuando los materiales disímiles se unen en un electrolito conveniente. La dirección de la corriente del flujo depende en que el metal es mas activo. **El metal más activo se convierte en ánodo, mientras que el metal menos activo se convierte en cátodo.** La magnitud de la fuerza conducida por el ataque galvánico en esta unión es la diferencia en potencial entre estos electrodos. Para determinar los efectos específicos entre materiales específicos en un ambiente específico, es necesario saber la serie galvánica para esos materiales en el ambiente de interés. Lo más comúnmente posible cuando alguien menciona la serie galvánica, es una referencia en una tabla que se ha construido de medidas en agua de mar.

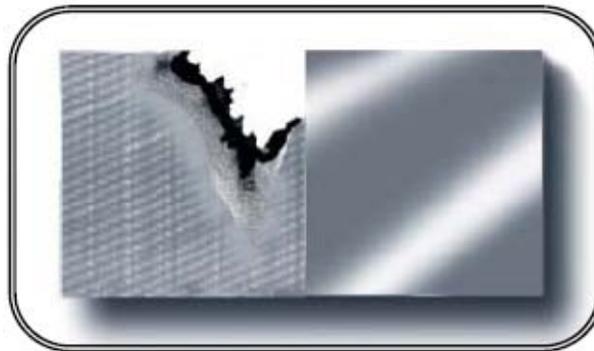


Figura II.9. Corrosión galvánica

II.2.3.4 La naturaleza del ambiente

La corrosión galvánica puede ocurrir bajo la inmersión o condiciones atmosféricas, los efectos galvánicos cubren esencialmente las superficies expuestas del ánodo y cátodo. Debido a efectos de la resistencia del electrolito, los efectos galvánicos se concentran generalmente donde el ánodo y el cátodo están juntos.

II.2.3.5 Polarización

La polarización de las áreas anódicas y catódicas, puede tener un efecto muy grande en la intensidad de la corrosión del ánodo. Si no se polariza el ánodo ni el cátodo, la cantidad de flujo será grande; y la corrosión galvanica que resulte también será severa.

II.2.3.6 Efectos espaciales: Área, Distancia, y efectos geométricos



II.2.3.6.1 Área de los efectos

La corrosión galvánica que ocurre cuando el área expuesta del ánodo es pequeña con respecto al área expuesta del cátodo bajo la inmersión condicionada, la intensidad del ataque contra el ánodo puede ser muy alta. Inversamente, si el área expuesta del ánodo es grande con respecto al área expuesta del cátodo, la aceleración de la corrosión en el ánodo puede ser insignificante. En ambientes atmosféricos, puesto que el área afectada es solamente el área de contacto mojada y algunos milímetros más allá, el cociente eficaz del área es de eficacia 1 a 1.

II.2.3.6.2 Efectos de la distancia

En una unión galvánica bajo condiciones de la inmersión, la mayor parte de la corrosión ocurre cerca del ensamble debido a los efectos de la resistencia del electrolito. En electrolitos altos a la resistencia, este efecto en la unión entre el ánodo y el cátodo es más pronunciado que en electrolitos bajos a la resistencia.

II.2.3.6.3 Los efectos geométricos

La celda geométrica ejerce un efecto hasta el punto que la corriente no fluya fácilmente alrededor de obstáculos. Por ejemplo, el interior de una tubería no se puede proteger por la aplicación de una corriente externa. En el ánodo, debido a efectos actuales del gradiente, la corrosión galvánica tiende a ser concentrada en los puntos o los bordes agudos.

II.2.3.7 Previsibilidad del Ataque galvánico

Mientras que es bastante fácil pronosticar la probabilidad de ataque galvánico e identificar que metal es probable que sufra ataque creciente como un ánodo, los pronósticos exactos de cambios en velocidades de la corrosión son difíciles. Las medidas potenciales se pueden utilizar para desarrollar una serie galvánica para un ambiente específico si uno no está disponible. Debe ser especificado que los metales y las aleaciones que forman las capas pasivas exhibirán potenciales que varían con el tiempo; por lo tanto, será difícil colocarlos en la serie con certeza.

Es posible pronosticar las velocidades galvánicas de corrosión midiendo la corriente del flujo actual en una unión modelo que reproduzca el área relativa y otros factores importantes en la aplicación propuesta. Es importante recordar que las velocidades pueden cambiar con el tiempo, el flujo actual a largo plazo debe ser evaluado para hacer un buen pronóstico del funcionamiento real del servicio. En la realización de estas pruebas, un amperímetro especial con cero eficaz, la resistencia se utiliza para medir el flujo actual entre el ánodo y el cátodo en el circuito externo.



Es importante que un amperímetro de resistencia-cero sea utilizado para estas medidas, porque incluso una resistencia pequeña dentro del circuito puede reducir perceptiblemente la corriente del flujo.

En la mayoría de los casos, estos métodos se pueden utilizar para pronosticar las tendencias galvánicas de la corrosión (para identificar el ánodo y el cátodo) bien. También se dan buenas predicciones relativas de las velocidades galvánicas de la corrosión.

Puede haber diferencias significativas entre las velocidades pronosticadas usando estos métodos y las velocidades reales experimentadas en servicio. El mejor método para pronosticar velocidades galvánicas de la corrosión es exponer las uniones modelo de los materiales elegidos en el ambiente previsto de servicio y comparado con las velocidades galvánicas de la corrosión con los índices de los materiales desacoplados.

II.2.3.8 El control del ataque galvánico

La corrosión galvánica puede ser controlada de varias maneras, incluyendo:

II.2.3.9 Diseño

Utilice las combinaciones del metal en las cuales la superficie más activa del metal o de la aleación es relativamente grande. Remaches, pernos, y otros sujetadores deben ser de un metal más noble que el material que se sujetará.

Evite las hendiduras disímiles del metal tales como las que ocurran en las conexiones roscadas. Las hendiduras deben de ser selladas, preferiblemente soldadas o con soldaduras blandas.

II.2.3.10 Selección de materiales

Las combinaciones de los metales o de las aleaciones separadas extensamente en la serie galvánica relevante deben ser evitadas, a menos que el material más noble se polarice fácilmente. Las capas metálicas se pueden utilizar para reducir la separación en la serie galvánica.

II.2.3.11 El aislamiento eléctrico

La unión entre los metales disímiles se puede aislar para romper la continuidad eléctrica. El uso de rellenos no-metálicos, arandelas, accesorios, y las capas en la unión entre los materiales proporcionarán suficiente resistencia eléctrica para eliminar la corrosión galvánica. Cuando el aislamiento es eléctrico se utiliza para controlar la corrosión galvánica, es importante verificar que el aislamiento se ha alcanzado realmente.



II.2.4 Agrietamiento ambiental

*El agrietamiento ambiental es una forma importante de corrosión. Muchas veces es diferente a otras formas de corrosión, donde la corrosión ocurre por periodos largos y tales fallas como la fuga y derrumbe estructural **puede ser prevenida a través de la inspección**, el agrietamiento ambiental puede ocurrir muy rápidamente y el resultado del daño de una falla puede ser identificado antes de la inspección. **El agrietamiento ambiental es una falla frágil de un material dúctil diferente, resultado por la acción combinada de la corrosión y de un esfuerzo de tensión.***

II.2.4.1 Mecanismo

La acción combinada de un esfuerzo de tensión y una reacción de corrosión es la característica principal del fenómeno de agrietamiento ambiental. En la ausencia de cualquiera, el esfuerzo de tensión o ambiente corrosivo, el agrietamiento no debe de ocurrir. El resultado de las fallas para esta forma de corrosión localizada no puede ser anticipado y ser catastrófico por que ocurre en metales seleccionados para la resistencia general a la corrosión (como aceros inoxidable).

II.2.4.2 Reconocimiento del agrietamiento ambiental.

En el agrietamiento ambiental, las grietas severas están a la derecha de los ángulos hacia la dirección del esfuerzo de tensión máximo. Una sola grieta o múltiples pueden ocurrir. Un grupo de múltiples grietas en la superficie del metal se observa comúnmente. Los productos de la corrosión pueden ser encontrados en las grietas, pero la superficie de metal usualmente esta limpia, no tiene evidencia de corrosión excepto para una cadena fina de grietas. La corrosión por grietas ambientales se separa generalmente de las grietas por fatiga. Estas pueden ser intergranulares y se propagan a lo largo de los límites de los granos del metal o transgranular y propagarse a través de los granos.

II.2.4.3 Factores que controlan las grietas

Muchos factores controlan si o no un material debe ser susceptible a las grietas ambientales en una situación dada. Estos factores incluyen:

- *Esfuerzo de tensión*
- *Composición de la aleación y estructura*
- *Corrosión ambiental*
- *Corrosión potencial*
- *Temperatura*



II.2.4.4 Tipos de grietas ambientales

Discutiremos los siguientes tipos de grietas ambientales:

- Agrietamiento por corrosión bajo esfuerzo (SCC)
- Agrietamiento inducido por hidrogeno (HIC)
- Corrosión por fatiga. (CF)

II.2.4.4.1 Agrietamiento por corrosión bajo tensión (SCC).

El agrietamiento por corrosión bajo tensión es un modo de falla frágil en un metal dúctil que es diferente, es el resultado de la acción de la combinación del esfuerzo por tensión y un ambiente corrosivo específico.

Note que solamente los medios corrosivos específicos de corrosión promueven agrietamiento por corrosión bajo tensión de un sistema de aleación corrosivo con el acero al carbono, cloruro con aceros inoxidable y amoníaco con aleaciones de cobre.

El agrietamiento por corrosión bajo tensión puede ser reconocido por la falla frágil de un material dúctil diferente que cuando esta expuesto a un ambiente específico.

II.2.4.4.1.1 Mecanismo.

El agrietamiento por corrosión bajo tensión es un proceso anódico un factor el cual es verificado por la aplicación de protección catódica como una medida de remedio efectiva. Usualmente hay un periodo de incubación, durante el cual el tiempo de agrietamiento se origina en un nivel microscópico.

Eventualmente, los agrietamientos pueden detenerse en una extensión larga, como en la típica multibranch (rompimiento del grano) transcristalina, aparentemente por el esfuerzo mecánico localizado en el relevo.

Se pueden decir que el agrietamiento por corrosión bajo tensión ocurre en metales expuestos en un ambiente donde, si el esfuerzo no existe o incluso es bajo este no puede causar daño. Además, el SCC no puede ocurrir si la estructura esta sometida a algún esfuerzo.

El término de agrietamiento por corrosión bajo tensión implica la formación de grietas y, como lo indicado arriba, usualmente la poca pérdida de material o corrosión general es asociada con esta.

Si esta corrosión general es severa, el agrietamiento por corrosión bajo tensión usualmente no debe ocurrir. Este tipo de agrietamiento se muestra en la figura II.10.

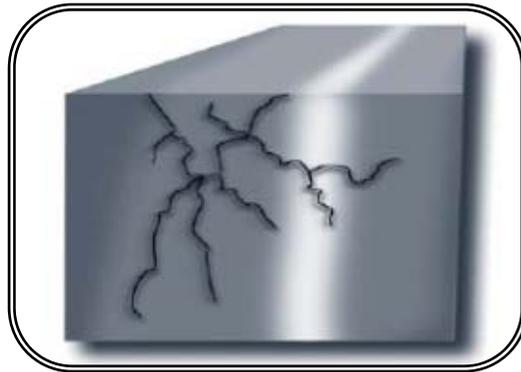


Figura II.10. Agrietamiento por corrosión bajo tensión

II.2.4.4.2 Agrietamiento inducido por hidrogeno (HIC).

El Agrietamiento inducido por hidrogeno (HIC) resulta de la acción de la combinación de un esfuerzo de tensión e hidrogeno en el metal. El hidrogeno atómico es producido en la superficie del metal por una reacción de corrosión puede ser absorbido por el metal y puede fomentar agrietamiento ambiental. Las aleaciones de alta dureza como de esfuerzo de tensión de 1,034 Mpa/ (150,000 Psi) o mayores son mas susceptibles a esta forma de agrietamiento

El Agrietamiento inducido por hidrogeno es el resultado de una falla frágil de otra forma de materiales dúctiles donde son expuestos a un ambiente donde el hidrogeno puede entrar en el metal.

II.2.4.4.2.1 Mecanismo

El Agrietamiento inducido por hidrogeno es un fenómeno catódico en el cual la evolución normal de hidrogeno en sitios catódicos es impedido, y el hidrogeno atómico (H^0) en la reacción catódica entra al metal. La formación y evolución de hidrogeno molecular (H_2) en sitios catódicos pueden ser impedido por venenos en el ambiente tales como sulfidos o arsénicos.

El hidrogeno atómico en la superficie del metal puede difundirse en el metal en lugar de desarrollarse como un producto gaseoso en la reacción catódica.

II.2.4.5 Corrosión por fatiga

La corrosión por fatiga resulta por la acción de la combinación de un esfuerzo de tensión cíclico y un ambiente corrosivo. El componente de esfuerzo a tensión cíclico se requiere. Esta forma de de grietas no tiene la especificación de un ambiente corrosivo tal como los asociados con los tipos de agrietamiento ambiental.



La corrosión por fatiga se caracteriza por la falla prematura de una carga cíclica esta falla puede ocurrir con un esfuerzo bajo o en un número menor de ciclos.

II.2.5 Corrosión por flujo.

La corrosión por el flujo es definida como la acción de la combinación de corrosión y corriente del flujo.

Los tipos del fenómeno de velocidad son los siguientes:

- Corrosión por erosión
- Corrosión por cavitación

II.2.5.1 Corrosión por erosión

La corrosión por erosión ocurre cuando la velocidad del fluido es suficiente para remover la película protectora de la superficie del metal. La corrosión por erosión muchas veces causa un ataque localizado donde las discontinuidades superficiales son causadas por la desviación y turbulencia en el flujo. **Este fenómeno a menudo ocurre en los cordones de soldadura.**

La corrosión por erosión puede ocurrir en las corrientes de líquidos o gases con o sin partículas abrasivas. En estas formas de ataque, la velocidad del flujo es suficiente para remover débilmente los productos adheridos para la corrosión de la superficie reduciendo sus efectos de protección, y también puede remover los sustratos. Esta da como resultado un proceso de corrosión acelerado.

Los fluidos dinámicos en la corrosión por erosión por líquidos puede ser un factor importante en la determinación de la velocidad de material removido. La turbulencia del flujo también es importante. La velocidad solo puede explicar un súbito incremento de daño en la superficie.

La erosión por partículas en un medio corrosivo puede no remover por completo los productos de la corrosión. En temperaturas elevadas, los productos de corrosión pueden ser dúctiles y pueden fluir con el impacto de la partícula. Este resulta en la remoción de un buen reparto de producto de corrosión y poca base de metal.

La erosión mecánica es causada por partículas duras impactándose en la superficie y dando como resultado un cráter en la superficie del metal. La deformación plástica de cada impacto de metal extruido alrededor de las partículas, y las extrusiones son fracturadas por los impactos La erosión por las partículas de impacto está influenciada por el ángulo de impacto. Otros factores que contribuyen a la velocidad de la erosión es la velocidad de las partículas, dureza y la temperatura del ambiente. En algunos casos es difícil determinar entre corrosión por erosión y corrosión por velocidad.



Si la corrosión por erosión puede ser identificada y no hay evidencia de partículas que afecten, una posible solución es reducir la velocidad del flujo o remover las discontinuidades superficiales formadas por el flujo.

En las aleaciones de acero de bajo carbono, en general, no son muy resistentes a la corrosión por erosión en ambientes donde estas están sujetas a la corrosión, tal como en agua potable y agua de mar. Las velocidades límites son usualmente en el orden de 1m/s (3ft/s) o menores.

II.2.5.2 Corrosión por cavitación.

La cavitación es un proceso de daño mecánico causado por el colapso de burbujas en un flujo de líquido. La cavitación usualmente da como resultado la formación de picaduras profundas alineadas en áreas de flujo turbulento.

La cavitación es causada cuando la película protectora es removida en una superficie del metal por presiones altas generadas por la formación de burbujas o vapor gas de en un líquido. Donde la energía entra y es suficientemente alta y produce la cavitación

Los pasos a través de este proceso se piensa que ocurre por:

- 1. formación de burbujas en un área de baja presión.*
- 2. movimiento de burbujas a áreas de alta presión.*
- 3. formación de burbujas, formando ondas de alta presión en el líquido.*
- 4. ondas de presión que afectan en la superficie, removiendo la película protectora.*
- 5. corrosión que ocurre en el área desnuda (puede o no puede ocurrir)*
- 6. proceso repetitivo.*

II.2.5.2.1 Corrosión por cavitación - Representación de metales y sus aleaciones

En general, las aleaciones con alta dureza son más resistentes a la corrosión por cavitación que los materiales de baja dureza. El daño por cavitación debe ser considerado como dos fenómenos separados. Cuando el daño por cavitación causa principalmente corrosión después de remover la película protectora, la porción de corrosión del daño puede predominar. La cavitación por si misma es incapaz de dañar mecánicamente y eliminar el metal subyacente.

Bajo estas condiciones, el comportamiento de la corrosión del material es importante. En condiciones extremas la cavitación por si misma es capaz de dañar y remover directamente el material, y los efectos de la corrosión son insignificantes.

II.2.5.2.2 Control de corrosión por flujo

La corrosión por flujo puede ser controlada de muchas maneras, incluyendo:



II.2.5.2.3 Diseño

Los efectos de la velocidad pueden ser controlados a través del diseño, principalmente por el control de la velocidad del flujo y el golpeteo del flujo. Las velocidades del flujo no deben exceder los límites de velocidad para los materiales seleccionados. El flujo sin grumos es siempre preferible a flujos turbulentos desde el punto de vista de efectos de corrosión por velocidad. La entrada de gases y sólidos puede ser eliminada para el fluido cuando sea posible. Las presiones deben ser consideradas.

II.2.5.2.4 Selección de materiales

Seleccionar un material conforme a resistencia a la velocidad del flujo supuesta de la y régimen de flujo es extensivamente usado al control de la velocidad. Como lo mencionado arriba, todas las condiciones dentro del sistema deben ser consideradas en la selección de materiales.

II.2.5.2.5 Modificación del ambiente.

En algunos casos, los inhibidores de corrosión pueden controlar efectivamente los efectos de la velocidad de corrosión. Algunos inhibidores pueden reducir la velocidad de corrosión de las áreas en la cual la película protectora tiene que ser eliminada. Otros efectos benéficos de algunos inhibidores es que pueden incrementar la resistencia de la película protectora a efectos de velocidad.

II.2.5.2.6 Capas protectoras.

Las capas protectoras pueden ser utilizadas para controlar los efectos de la velocidad. Los forros de hule son particularmente efectivos en la reducción de efectos de corrosión por erosión cuando los materiales sólidos están contenidos dentro del chorro del flujo. La adhesión de la capa protectora de los materiales es un factor importante en su uso en los efectos de controlar la velocidad. Las capas metálicas, aplicadas por recubrimientos soldados, son extensivamente usadas para el control de corrosión por efectos de velocidad.

II.2.5.2.7 Protección catódica

La protección catódica puede controlar efectivamente la corrosión de metales, incluso cuando los metales no están cubiertos con películas protectoras. Así, los efectos de corrosión por velocidad pueden ser controlados por protección catódica. Los requerimientos de la corriente eléctrica para la protección catódica en altas velocidades del flujo son usualmente mucho mayores que la corriente requerida en bajas velocidades de flujo.



II .2.6 Corrosión Intergranular.

Es una corrosión localizada a escala microscópica en los límites o adyacente al grano de la aleación. En el acero inoxidable usualmente es resultado del agotamiento del cromo sobre los límites de grano en zonas sensibilizadas por procesos térmicos. Un acero inoxidable se sensibiliza cuando permanece durante cierto tiempo —incluso sólo unos minutos— a una temperatura comprendida en el intervalo denominado precisamente de sensibilización. Cuando los aceros inoxidables austeníticos son expuestos a temperaturas de un rango de 500 a 850°C y los ferríticos a un rango de 500 a 650°C, el cromo en la aleación tiende a combinarse con el carbono formando carburos de cromo.

Los carburos formados se precipitan principalmente en los bordes de grano, reduciendo el cromo de las áreas adyacentes. Esto reduce la resistencia a la corrosión de las áreas con menor cantidad de cromo sensibilizando del material. La corrosión intergranular se caracteriza por la desintegración del material debida a la pérdida de los granos microscópicos. Es necesario señalar que un acero inoxidable en estado sensibilizado es atacado sólo por algunos agentes agresivos y no sufre la corrosión intergranular por el solo hecho de estar sensibilizado.

Para evitar que suceda la precipitación de carburos, se disminuye el tiempo de permanencia en el rango de temperaturas de sensibilización. En el caso de las estructuras soldadas, en donde el enfriamiento de la unión sea muy lento, se utilizan los aceros de bajo contenido de carbono, la serie L (low carbon), debido a que el tiempo necesario para que suceda la precipitación de carburos es mayor. Existen también los aceros estabilizados con elementos como el titanio o el niobio que provocan preventivamente la precipitación de carburos que no empobrecen de cromo la aleación. Puesto que el fenómeno de corrosión Intergranular interesa particularmente a las estructuras soldadas, en la figura II.11 se indica la localización de las áreas de probable sensibilización en una junta soldada referidas a diferentes tipos de aceros inoxidables. A la vez se observan las zonas de ataque si la junta fuese agredida por un agente capaz de desarrollar corrosión intergranular.

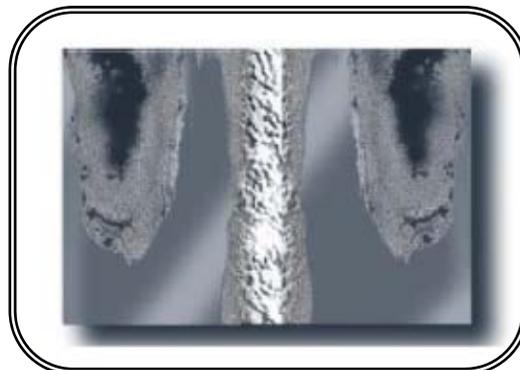


Figura II.11. Corrosión Intergranular



II .2.6.1 Reconocimiento

La corrosión intergranular usualmente se presenta en superficies que son granulares en apariencia. Esta puede también tomar la forma de áreas localizadas con una apariencia similar a grietas.

II .2.6.2 Mecanismo

La corrosión intergranular ocurre donde los límites de grano, o las áreas directamente adyacentes a los límites de grano, son anódicas alrededor del grano de materiales. Los límites de grano pueden ser anódicos alrededor del metal a través de muchos mecanismos. Estos por que pueden ser anódicos de diferencias en niveles de impurezas entre el grano y los límites de grano.

II .2.6.3 Corrosión intergranular de aceros inoxidables

La corrosión intergranular de aceros inoxidables es causada frecuentemente por dos tipos de efectos metalúrgicos que causan en los límites de grano o áreas adyacentes a los límites de grano a hacerse relativamente anódica alrededor del material.

Los dos tipos de efectos son:

- *Sensibilización general*
- *Soldadura deteriorada*

II .2.6.4 Sensibilización general

Los aceros inoxidables austeníticos, cuando estos son enfriados lentamente a través de un rango de temperatura de aproximadamente 500 °C a 850 °C (932 °F a 1,562 °F) pueden volverse susceptibles a un ataque intergranular si están sujetos a desprendimiento de los granos. Los límites de grano se dice que son sensibilizados. Esta sensibilización es causada por la formación de carburos de cromo, reduciendo los límites de grano y las áreas adyacentes a los límites de grano del cromo.

La sensibilización de aceros inoxidables puede ser prevenida por:

- 1. evitar el calentamiento en el rango de sensibilización*
- 2. tratamiento térmico para eliminar los carburos de cromo*
- 3. utilización de un material con muy bajo contenido de carbono.*
- 4. uso de material estabilizado que contiene aleaciones adicionales que preferencialmente combina con el carbono que con la combinación de carbono con cromo.*



II .2.6.5 Deterioro de la soldadura

El deterioro de la soldadura ocurre en la zona afectada por el calor (ZAC) 6 mm. aproximadamente a partir de la soldadura actual y paralela a esta. El deterioro de la soldadura es igual como la sensibilización, excepto porque este ocurre localmente. La soldadura deteriorada resulta en un adelgazamiento uniforme adyacente a la soldadura, donde los granos del metal tienen que ser removidos del ataque intergranular.

II .2.6.6 El control de la corrosión intergranular.

La corrosión intergranular puede ser controlada de distintas maneras, incluyendo:

II .2.6.7 Selección de materiales

Las aleaciones pueden ser seleccionadas por su resistencia a la corrosión intergranular en el servicio específico ambiental. Para los aceros inoxidable, las variaciones de aleaciones de bajo contenido de carbono (los de grado “L”) pueden ser utilizados, tanto como grados conteniendo adiciones de tales elementos como titanio y niobio.

II .2.6.8 Diseño

Si el material no es resistente a los efectos de soldadura en la corrosión intergranular, las soldaduras pueden ser eliminadas por el uso de otra técnica de unión. En algunos casos. Otro proceso de fabricación requiere calentamiento del metal y tiene que ser propiamente controlado.

II .2.6.9 Utilización de procedimientos de soldadura apropiados.

La utilización de procedimientos de soldadura apropiados puede minimizar o eliminar los efectos en límites de grano que llevan a una corrosión intergranular. Los procedimientos de soldadura que minimizan la corrosión intergranular, antes desarrollada, necesita ser seguido cuidadosamente para obtener los efectos deseados.

II .2.6.10 Tratamiento térmico.

Un apropiado tratamiento térmico puede eliminar la corrosión intergranular o para evitar efectos en los límites de grano en el primer sitio, o por la eliminación de efectos adversos de tratamientos térmicos incorrectos o soldadura. Estos comúnmente consisten de un tratamiento térmico llamado “tratamiento térmico solución”, que disuelve los componentes indeseables en los límites de grano. Este calentamiento es usualmente seguido por un enfriamiento rápido para evitar la reformación de precipitaciones indeseables en los límites de grano.



CAPITULO III. INSPECCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS DERIVADOS DE PETRÓLEO



CAPITULO III. INSPECCION DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS DERIVADOS DE PETROLEO

Con la finalidad de asegurar la integridad, un adecuado funcionamiento y mantener en condiciones apropiadas y seguras de operación los tanques de almacenamiento de petróleo y productos derivados de éste, es necesario realizar inspecciones periódicas mediante **Pruebas No Destructivas (PND)** a lo siguiente:

- Estructuras
- Pisos (fondo)
- Envolvertes (cuerpo)
- Techos (cúpula)
- Boquillas
- Tuberías
- Soldaduras
- Accesos hombre
- Conexiones
- Pontones
- Boyas
- Anillos rigidizantes.

La inspección de los tanques de almacenamiento esta condicionada a diversos factores, entre los más importantes destacan: la naturaleza del producto almacenado, el resultado de las inspecciones visuales, los rangos de corrosión permisible, inspecciones preventivas, posible existencia de fugas, cambios en el modo o forma de operación.

Existen diversas dependencias que realizan estos trabajos de inspección, empleando los métodos de inspección no destructivos como son: inspección visual, medición de espesores de pared, ultrasonido, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, peaking, Bandung, pruebas de vacío, durezas, metalografías etc.

El objetivo de realizar y aplicar las diversas pruebas de inspección no destructivas a los tanques de almacenamiento, es para determinar, de manera general el estado en el cual se encuentran los elementos del tanque y los resultados obtenidos son empleados para determinar el buen funcionamiento y la integridad mecánica del tanque.

Antes de iniciar los trabajos de inspección del tanque, es importante que se haga entrega, del historial de los trabajos de inspección realizados al tanque de almacenamiento, señalando de manera clara y precisa el tipo de indicaciones encontradas en esos trabajos de inspección, esto es con la finalidad de ampliar los trabajos de inspección en las zonas donde se hayan registrado las indicaciones reportadas.



De ser posible también los últimos planos del tanque, en los cuales se muestren las reparaciones y/o modificaciones realizadas. Se debe entregar el tanque en condiciones seguras de trabajo y garantizar que el tanque esta liberado para realizar los trabajos de inspección, además debe indicar las condiciones mínimas de seguridad.

Cuando los trabajos sean realizados en la parte interna, la compañía (PEMEX) deberá entregar el tanque limpio, vaporizado, aireado y debidamente ventilado para realizar los trabajos de inspección sin ningún riesgo para el personal técnico que realizara la inspección.

*La inspección del tanque debe ser realizada por inspectores con amplia experiencia en trabajos de este tipo, los inspectores deben estar calificados en las técnicas de inspección no destructiva, mínimo nivel II de acuerdo con la **Practica Recomendada del ASNT** (The American Society for Nondestructive Testing) Sociedad Americana para Pruebas No Destructivas o ser inspectores de soldadura certificados por un Organismo Internacional como **AWS** (American Welding Society) Sociedad Americana de Soldadura o **EFW** (European Welding Federation) Federación Europea de Soldadura.*

Los equipos empleados en las inspecciones deben estar calibrados y deben ser guardados y transportados en sus estuches de origen evitando ser golpeados. Los materiales como líquidos penetrantes deben tener certificado de calidad y estar dentro de la fecha de vigencia, los gages y escantillones deben ser cuidados y evitar que sean golpeados.

III.1 Periodos de Inspección.

*Los periodos de las inspecciones de tanques atmosféricos de almacenamiento son determinados por los siguientes factores, los cuales se combinan para establecer la periodicidad de la inspección tanto externa como interna, y está de acuerdo a lo recomendado por el **API 653** en 6.3 y 6.4:*

- *Características del crudo almacenado.*
- *Resultados de las verificaciones durante el mantenimiento.*
- *Corrosión permitida y velocidad de corrosión.*
- *Resultados de inspecciones anteriores.*
- *Métodos y materiales usados en reparaciones.*
- *Localización de tanques, tal como en áreas aisladas o de alto riesgo.*
- *Riesgo potencial de contaminación ambiental.*
- *Cambios de modo de operación.*
- *Cambios en servicio.*



III.1.1 Periodos para la Inspección Externa.

A todos los tanques atmosféricos de almacenamiento en operación se les deberá realizar como mínimo una inspección exterior cada año.

Al techo flotante externo se le deberá realizar como mínimo una inspección semestral, la cual deberá incluir todos los componentes.

III.1.2 Periodos para la Inspección Interna

Los tanques atmosféricos de almacenamiento de crudo, deberán ser inspeccionados internamente basándose en la velocidad de corrosión, cuando no se conoce el intervalo de inspección interna no debe ser mayor de cinco años. Como nos refiere **API 653** en 6.4.2.

III.2 Desarrollo de los trabajos de inspección visual interna y externa.

Los trabajos de inspección inician mediante la **inspección visual** de la parte externa del tanque en la envolvente (cuerpo), la cúpula (techo), conexiones y soldaduras del tanque. La posible evidencia de la existencia de fugas, distorsiones de la envolvente, señales de corrosión, deterioro de la protección anticorrosiva deben ser evaluadas y reportadas para que se programe y realicen las reparaciones necesarias.

En la parte interior la inspección se realiza a todas las placas del piso, envolvente (cuerpo), tubos de soportes, placas de soportes, placas de sumideros, tubería de carga y descarga, con la finalidad de poder detectar alguna posible distorsión en alguno de esos elementos.

III.2.1 Definición y descripción del método

Los métodos de inspección visual superficial por lo general detectarán cualquier discontinuidad abierta a la superficie. Las pruebas visuales se definen como el método de PND que emplea la radiación electromagnética en las frecuencias visibles (luz). Los cambios en las propiedades de la luz después de su contacto con el objeto inspeccionado pueden ser detectados por la visión humana o por medios mecanizados.

Esta es una técnica que requiere de una gran cantidad de información acerca de las características de la pieza a ser examinada, para una acertada interpretación de las posibles indicaciones. Está ampliamente demostrado que cuando se aplica correctamente como inspección preventiva, detecta problemas que pudieran ser mayores en los pasos subsecuentes de producción o durante el servicio de la pieza. Aun cuando para ciertas aplicaciones no es recomendable, es factible detectar muchos problemas en casos determinados, mediante la inspección realizada por una persona bien entrenada.



Las pruebas visuales involucran cinco elementos básicos:

- El inspector
- El objeto de prueba
- Un instrumento óptico (**algunas veces**)
- La iluminación
- Métodos de registro.

Este método consiste en la observación cuidadosa de las partes sujetas a examen. La mayor parte de las veces, esta inspección se hace a simple vista, pero puede ser reforzada o hacerse posible mediante el uso de espejos, lupas, endoscopios (boroscopios) y otros accesorios.

III.2.2 Pruebas visuales directas y remotas.

Generalmente puede ser usado el **examen visual directo** cuando el acceso es suficiente para colocar el ojo dentro de 24 pulg. (610 mm) de la superficie a ser examinada y a un ángulo no menor de 30° de la superficie a ser examinada. Como se muestra en la figura III.1.

Pueden usarse espejos para mejorar el ángulo de visión y ayudas tales como lupas para auxiliar el examen. Es requerida la iluminación (natural o luz blanca complementaria) de la parte, componente o recipiente específicos siendo examinados. El nivel de luz mínimo debe ser de 50 candelas pie (footcandles).

El personal de exámenes visuales debe tener un examen de la vista por año para asegurar una agudeza visual cercana, natural o corregida, tal que sea capaz de leer letras estándar J-1 en cartas de prueba estándar Jaeger para visión cercana o métodos equivalentes.

Examen visual remoto

En algunos casos, el examen visual remoto puede tener que sustituir al examen directo. El examen visual remoto puede usar ayudas visuales tales como espejos, telescopios, boroscopios, fibra óptica, cámaras y otros instrumentos adecuados. Tales sistemas deben tener una capacidad de resolución por lo menos equivalente a aquella obtenible por observación visual directa.

III.2.3 Aplicaciones y Herramientas para la Inspección Visual.

Se emplea ampliamente en diversos campos y sectores de la industria, tales como siderurgia, eléctrica, petroquímica, automotriz y aeronáutica; se utiliza para examinar partes metálicas, no metálicas (cerámicas, plásticos y materiales compuestos) y componentes microelectrónicos.



Además se emplea en la evaluación de equipos e instalaciones en servicio, **a fin de determinar las condiciones en que se encuentran y si estos pueden seguir operando de manera segura y efectiva.**

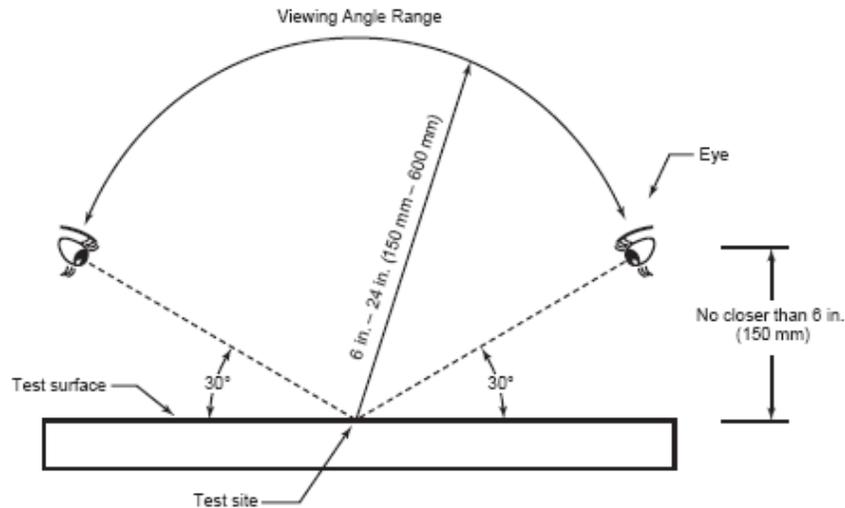


Figura III.1. Distancia máxima y ángulo mínimo para el examen visual directo. Según el Código **ASME sección V.**

Actualmente existe una amplia variedad de instrumentos para ayudar a la inspección visual y son las siguientes:

1. Lentes de aumento, lupas y espejos
2. Sistemas de interferencia cromática o con luz polarizada.
3. Calibradores y herramientas
4. Endoscopios (Boroscopios)

III.2.3.1 Lentes.

Hay lentes convexos, cóncavos y planos; frecuentemente son una combinación de estos. El tipo más común encontrado es el convexo doble. Las lentes con un lado convexo y otro plano (plana-convexa) son utilizadas en proyectores y microscopios.

III.2.3.2 Iluminación.

Muy pocas áreas interiores proporcionan suficiente luz para realizar un examen visual apropiado. Las áreas iluminadas con luz de sol son excelentes para exámenes generales, pero insuficientes para examinar superficies internas.

La iluminación de techo fluorescente de alta densidad ofrece buena iluminación para propósitos generales de inspección.



III.2.3.3 Calibradores y herramientas.

Las herramientas y dispositivos de medición como las mostradas en la figura III.2 se consideran parte de las pruebas visuales debido a que son usados para llevar a cabo o complementar los exámenes, así como para registrar los resultados. Estos dispositivos son numerosos y variados, muchos de los cuales son de uso altamente especializado como son los siguientes:

- Reglas para mediciones lineales. Las mas recomendadas son de 6 a 12 “.
- Micrómetros
- Comparadores ópticos
- Indicadores de carátula o de cuadrante
- Calibradores de soldadura



Figura III.2 Kit para la inspección visual.

III.2.3.4 Endoscopios (Boroscopios).

El boroscopio es un instrumento rígido que originalmente fue inventado para examinar el interior (bore) de rifles y cañones. Los boroscopios modernos usan un sistema de fibra óptica para guiar la luz. La imagen es llevada al ocular por un tren óptico que consiste de una lente objetivo, algunas veces un prisma, lentes intermedias o de transmisión y una lente ocular. En este tipo de herramientas existen diferentes alternativas que varían de acuerdo al instrumento:



- *Endoscopios (boroscopios) rígidos.*
- *Endoscopios (boroscopios) flexibles.*
- *Endoscopios (boroscopios) remotos.*

Para efectuar pruebas visuales, debe haber una fuente de luz natural o artificial adecuada en intensidad. Para realizar pruebas visuales generales debiera usarse una intensidad de iluminación mínima de 160 lx (15 candelas pie), y para pruebas críticas o con detalles finos, de 500 lx (50 candelas pie).

III.2.4 Ventajas de la inspección visual.

- *La inspección visual se emplea en cualquier etapa de un proceso productivo o durante las operaciones de mantenimiento preventivo o correctivo.*
- *Muestra las discontinuidades más grandes y generalmente señala otras que pueden detectarse de forma más precisa por otros métodos, como son líquidos penetrantes, partículas magnéticas o electromagnetismo.*
- *Puede detectar y ayudar en la eliminación de discontinuidades que podrían convertirse en defectos.*
- *El costo de la inspección visual es el más bajo de todos los Ensayos No Destructivos, siempre y cuando sea realizada correctamente.*

III.2.5 Limitaciones de la inspección visual.

- *La calidad de la inspección visual depende en gran parte de la experiencia y conocimiento del Inspector.*
- *Está limitada a la detección de discontinuidades superficiales.*
- *Cuando se emplean sistemas de observación directa, como son las lupas y los endoscopios sencillos, la calidad de la inspección dependerá de la agudeza visual del Inspector o de la resolución del monitor de video.*
- *La detección de discontinuidades puede ser difícil si las condiciones de la superficie sujeta a inspección no son correctas.*

III.3 Medición de espesores de pared con equipo ultrasónico.

La medición de espesores de pared con equipo ultrasónico debe ser empleada para determinar el rango uniforme de corrosión, esta puede ser realizada mientras el tanque esta en operación, y puede ser empleada como un indicativo de la integridad de la envolvente (cuerpo). La extensión de los puntos de medición de espesores de pared puede ser ampliada por el inspector designado.



Los periodos recomendados de esta inspección son mencionados en el inciso 6.3.3.2 y 6.3.3.3 de la Sección 6 del Estándar **API 653**.

III.3.1 Descripción y definición del método

El Ultrasonido u ondas ultrasónicas **son vibración mecánicas** que se transmiten en el material por medio de ondas de la misma naturaleza que el sonido, pero con una **frecuencia mayor al rango audible**, o sea mayor a los 20,000 ciclos / segundo.

Algunas ondas ultrasónicas pueden transmitirse en sólidos, líquidos y gases, pero a diferente velocidad. En su propagación, las ondas ultrasónicas serán reflejadas y transmitidas en las interfases donde se tenga un cambio de Impedancia Acústica (Z). La impedancia acústica es la resistencia que ofrecen los materiales al paso de las ondas ultrasónicas.

El instrumento ultrasónico envía pulsos eléctricos con cierta frecuencia de repetición al transductor, este al recibirlos vibrará; estas vibraciones se propagan en el medio a una velocidad constante y serán reflejadas parcialmente cuando exista en su camino un cambio de " Z " como se muestra en la figura III.3; el reflejo en forma de eco, al ser captado por el transductor producirá una señal eléctrica RF que será desplegada en la pantalla de un equipo (dispositivo) como la mostrada en la figura III.4.

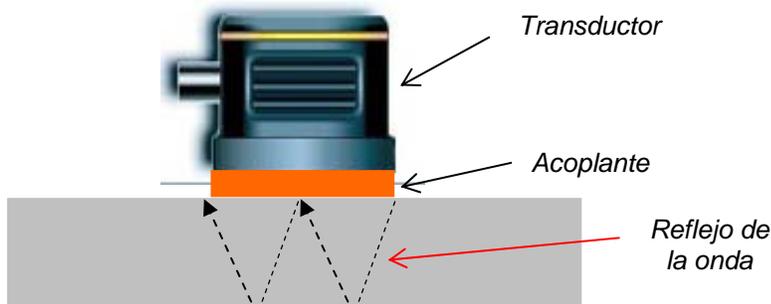


Figura III.3. Reflejo de las ondas ultrasónicas en forma de eco

La técnica descrita proporciona mediciones indirectas de espesores de secciones en materiales que no excedan temperaturas de 200°F (93°C). Las mediciones son hechas de un lado del objeto, sin que se requiera tener acceso a la superficie posterior. Las mediciones de espesor con ultrasonido son ampliamente utilizadas para determinar el adelgazamiento de espesor de pared causado por corrosión y erosión en equipos de proceso.

En la medición de espesores se debe calibrar el equipo esto se realiza de la siguiente manera. Se requieren uno o más blocks de referencia que tengan velocidades conocidas o del mismo material a ser probado, y que tengan espesores medidos exactamente en el rango a ser medido.



Generalmente se desea que los espesores sean “números redondeados”, y no valores fraccionales.

Un block debe tener un valor de espesor cercano al máximo del rango de interés y otro block cercano al espesor mínimo. La calibración se realiza colocando el palpador (transductor) sobre un block de prueba de espesor conocido con un acoplante recomendado y ajuste los controles del instrumento (calibración de material, rango, barrido o velocidad) hasta que la pantalla presente el espesor apropiado.

Las lecturas deben ser revisadas y ajustadas sobre el block patrón con el menor de espesor para mejorar la precisión completa del sistema.

La toma de lecturas debe de realizarse a una distancia no menor a 25 mm de las soldaduras. Con un acoplante que es un medio acústicamente conductor interpuesto entre el palpador y la superficie del material a inspeccionar el objetivo de este es desplazar la fina película de aire existente para permitir la transmisión de la presión acústica incidente.

Los acoplantes normalmente utilizados son: agua, aceites, glicerina, grasas de petróleo, grasas de silicón, paste de celulosa, gel de base agua, etc.

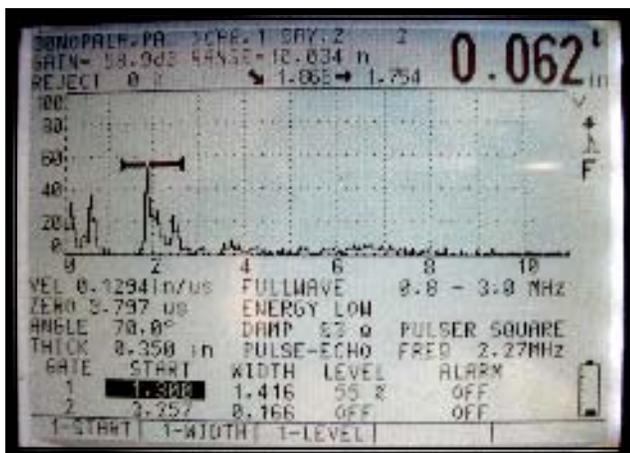


Figura III.4. Señal eléctrica de las ondas ultrasónicas

III.4 Localización de las mediciones.

Cabe mencionar, que cuando las superficies a medir están muy picadas por la corrosión, y el equipo de ultrasonido quede fuera de su rango de aplicación, éstas pueden ser medidas por otros métodos alternos (como flujo magnético, medios mecánicos de profundidad o pit gage).

La localización de los puntos a medir se realizará tomando el siguiente criterio



III.4.1 Localización de mediciones en placas del cuerpo.

Mediante una inspección visual y con la ayuda de un martillo, rasqueta y cepillo se localizarán las áreas más corroídas y de mayor magnitud en cada anillo que conforman el cuerpo (poniendo especial atención en el primer anillo, en los lugares donde se localizan las boquillas de entrada y salida del producto, puertas de limpieza, y registros de entrada de hombre).

Se deberán obtener los espesores remanentes en determinados puntos de cada placa (ver figura III.5.b). La localización de los puntos será: un punto en cada cruce de soldadura a una distancia de 5 cm. (2 pulg.) del cordón de soldadura, obteniendo un total de 6 mediciones por placa. La numeración de cada placa para la localización de las zonas o puntos medidos será como sigue:

Los anillos se enumerarán de abajo hacia arriba y empezando con el número 1. (Ver la figura III.5.a)

Cada placa se enumerará en sentido de las manecillas del reloj, empezando con el número 1 en cada anillo y con la placa más cercana al punto cardinal norte de referencia. Las mediciones por corrosión se identificarán con literales y los puntos adicionales en cada cruce de soldadura serán identificados con los números 1,2,3 en la parte superior y de 4,5,6 en la parte inferior, y de izquierda a derecha (esta numeración se incrementará o reducirá dependiendo de las dimensiones de la placa).

III.4.2 Localización de mediciones en placas del fondo

Para valorar los espesores remanentes que presentan las placas del fondo, éstas deberán ser inspeccionadas en su totalidad. Además de las mediciones anteriores, se deberán obtener los espesores remanentes en determinados puntos de cada placa (ver figura III.6). La localización de los puntos será: un punto al centro de cada lado de la placa a una distancia de 25 cm. del cordón de soldadura en los lados largos y 50 cm. del cordón de soldadura en los lados cortos, obteniendo un total de 4 mediciones por placa.

La numeración de cada placa para la localización de las zonas o puntos medidos será como sigue:

Las placas anulares se enumerarán en sentido de las manecillas del reloj empezando con la placa más cercana al punto cardinal norte de referencia. El resto las placas se enumerarán de derecha a izquierda empezando con la placa del lado derecho y más cercano al punto cardinal norte de referencia.

Las mediciones por corrosión se identificarán con literales y los puntos adicionales en cada lado de la placa serán identificados con los números 1 en la parte superior norte, 2 y 3 (de izquierda a derecha) en la parte central y 4 en la parte inferior sur (esta numeración se incrementará o reducirá dependiendo de las dimensiones de la placa).



III.4.3 Localización de mediciones en placas del techo, boyas y pontón

La medición de espesor en cada placa que integra el diafragma, será realizada en los puntos donde existan cruces de uniones soldadas y debe realizarse a. 1 m. de los extremos sobre el eje longitudinal (para las placas completas 6" x 30"); para placas pequeñas la distancia será proporcional a su tamaño.

La medición de espesores en las boyas debe realizarse en cada una de las placas que integran cada boya.

En el pontón la medición de espesores en los puntos obligados en cada sección serán de seis (identificándolos con números), dos mediciones en la envolvente inferior del lado del cuerpo, dos en la envolvente inferior lado del diafragma y dos en el fondo; dichas medidas se tomaran a un metro de la placa de división y sobre el eje longitudinal

III.4.4 Localización de mediciones en placas de los anillos rigidizantes

Mediante una inspección visual y con la ayuda de un martillo, rasqueta y cepillo se localizarán zonas corroídas. Posteriormente se localizarán los puntos, a criterio del inspector, y se obtendrán los espesores mínimos.

Además de las mediciones anteriores, se deberán obtener los espesores remanentes en determinados puntos de cada placa de los anillos rigidizantes. La localización de los puntos será: un punto al centro de cada lado corto de la placa a una distancia de 50 cm. del cordón de soldadura, obteniendo un total de 2 mediciones por placa.

La numeración de cada placa para la localización de las zonas o puntos medidos será como sigue:

Cada placa se enumerará en sentido de las manecillas del reloj, y empezando con el número 1 con la placa más cercana al punto cardinal norte de referencia.

Las mediciones por corrosión se identificarán con literales y los puntos adicionales en cada lado corto de la placa serán identificados con los números 1 y 2 en sentido de las manecillas del reloj.

III.4.5 Localización de mediciones en cuellos de boquillas y registros de hombre

Además de la inspección visual para localizar los puntos a medir en zonas corroídas (poniendo especial atención en las boquillas de entrada y salida del producto), se localizarán cuatro puntos de acuerdo a una división horaria.



Esta división para boquillas verticales, se define con la hora 12:00 en la cara norte de la boquilla, y en caso de boquillas horizontales, la división horaria se define marcando la hora 12:00 a partir de la cima de la boquilla, y mirando siempre hacia el tanque. En las tapas ciegas de los registros de hombre se tomará una lectura al centro de la misma. De igual manera que en los casos anteriores, las mediciones por corrosión serán identificadas con literales. (Ver figura III. 7)

III.4.6 Localización de mediciones en puertas de limpieza

Además de la inspección visual para localizar los puntos a medir en zonas corroídas, se localizarán dos puntos verticales: uno en la parte superior y otro en la parte inferior y al centro de la tapa a una distancia de 20 cm. de sus extremos, y en la placa del cuello se pondrán tres puntos: uno en la parte superior y uno al centro de cada cara vertical. La identificación de las mediciones efectuadas en partes corroídas será con literales.

La inspección interna es requerida básicamente para:

- *Asegurar que el piso no este seriamente corroído.*
- *Acumular la mayor cantidad de datos para obtener el mínimo espesor de pared del fondo y la placa del primer anillo.*
- *Identificar y evaluar algún posible ajuste o arreglo de los elementos internos.*

III.5 Inspección con líquidos penetrantes a uniones soldadas.

El examen de líquidos penetrantes es un método de ensayo no destructivo, mediante el cual es posible detectar discontinuidades en materiales sólidos no porosos, siempre que éstas se encuentren abiertas a la superficie.

Los trabajos de inspección serán realizados a la soldadura perimetral de la unión piso envolvente y en las soldaduras de los sumideros, además esta podrá ser ampliada en aquellas zonas donde sean solicitadas por el supervisor.

III.5.1 Definición y descripción del método

La prueba por líquidos penetrantes es un método que permite localizar discontinuidades superficiales, aun en piezas de geometría complicada. A pesar de que este método solo detecta discontinuidades superficiales es una prueba efectiva, confiable, rápida y fácil de aplicar a una gran variedad de materiales, además de ser relativamente económica.

El método consiste en aplicar un líquido con color determinado sobre la superficie de la pieza a inspeccionar. Después del tiempo transcurrido necesario para permitir que se introduzca el líquido en la discontinuidad, se limpia la superficie para eliminar el exceso de penetrante.

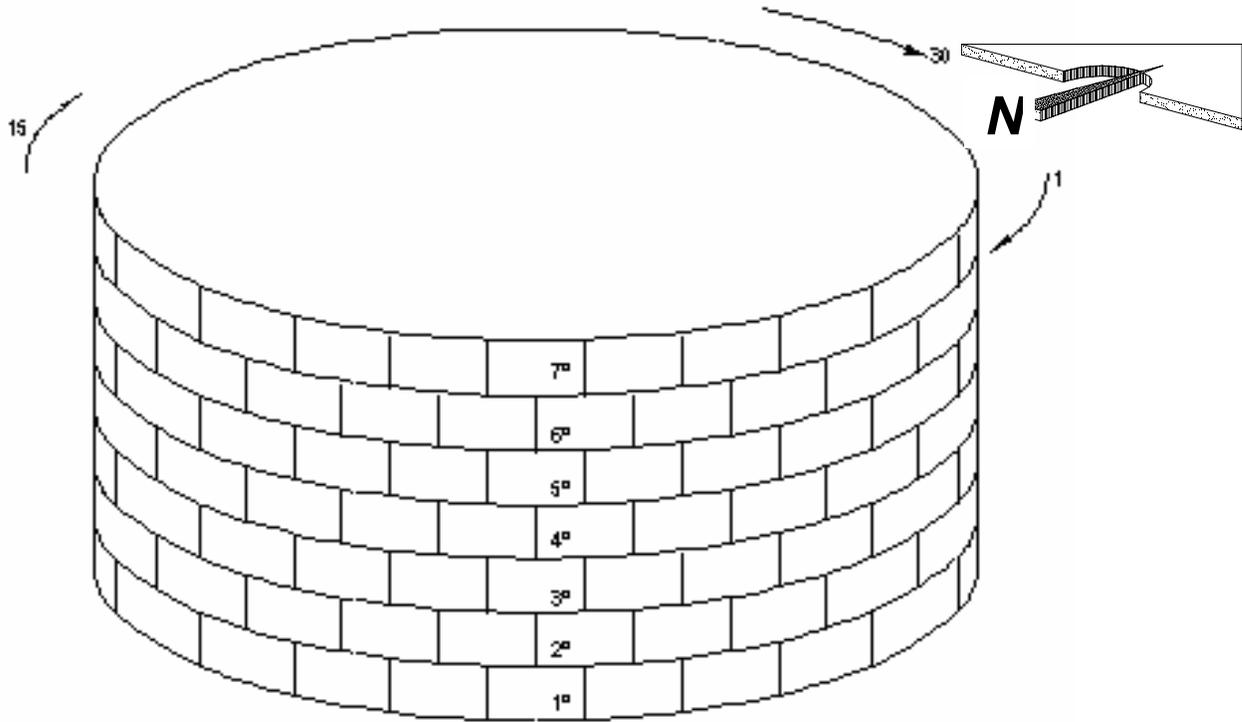
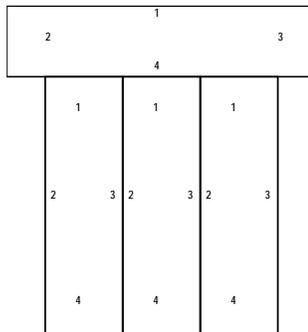
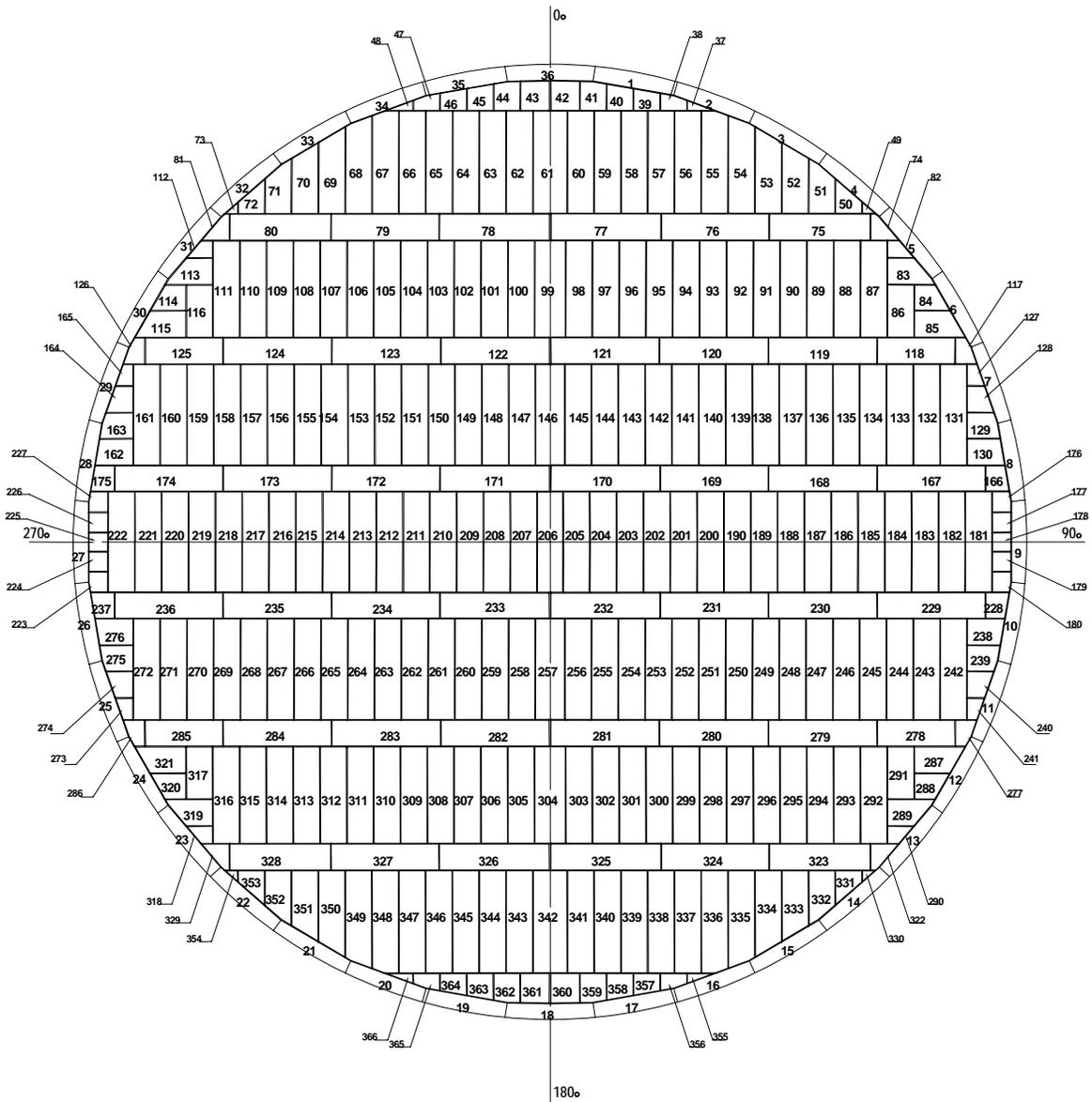


Figura. III.5.a

1	2	3	1	2	3
4	5	6	4	5	6
1			2		
4			5		
1	2	3	1	2	3
4	5	6	4	5	6

Figura III.5.b. Puntos en placas

FIGURA III.5. Localización de las mediciones en las placas del cuerpo



Puntos en placas

FIGURA III.6.- Localización de las mediciones en las placas del fondo

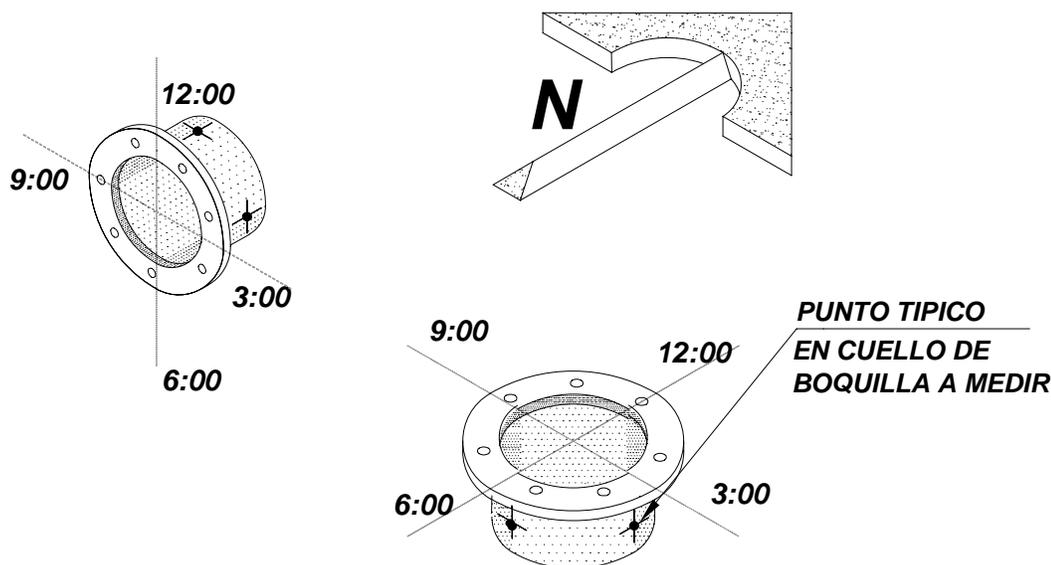


Figura III.7. Localización de las mediciones en boquillas y registros hombre

Posteriormente se aplica un revelador, que es una sustancia de color contrastante al del penetrante que absorbe el líquido alojado en las discontinuidades; al extraerlo, produce una indicación o marca visible de la discontinuidad.

La inspección por líquidos penetrantes se define como un procedimiento de inspección no destructiva, de tipo físico químico, diseñado para detectar y exponer discontinuidades presentes en la superficie de los materiales. El método que puede detectar discontinuidades superficiales, siempre y cuando que tenga una parte abierta a la superficie en la cual el líquido penetrante ha sido aplicado. El objeto del método de líquidos penetrantes es detectar grietas, porosidades, traslapes, costuras y otras discontinuidades superficiales, rápida y económicamente con un alto grado de confiabilidad. Este método puede aplicarse a materiales metálicos; por ejemplo: fundiciones de acero, aluminio y sus aleaciones; en materiales no metálicos como: vidrio, cerámica, plásticos, etc.; además de piezas de forma complicada que no pueden ser inspeccionadas por otro método o cuando las piezas a inspeccionar se localizan en lugares donde no existe energía eléctrica.

Debido a que este método utiliza propiedades físico químicas más que fenómenos eléctricos o térmicos, puede emplearse en el campo, aun cuando no existan fuentes de potencia. El equipo de prueba puede ser tan sencillo como un pequeño conjunto de envases a presión o tan grande como una instalación mecanizada y automatizada.

Sin embargo, en todos los casos **el éxito de la inspección depende de la limpieza de la superficie**; de las piezas a inspeccionar; de la ausencia de contaminación; de las condiciones de la superficie del cuidado de los operadores para asegurar que se efectúe la técnica de manera adecuada y se realice la interpretación correcta de las indicaciones.



Los líquidos penetrantes tienen la propiedad de filtrarse a través de las discontinuidades que presentan los materiales, basándose en la acción capilar, la que origina que un líquido ascienda o descienda a través de dos paredes cercanas entre sí; también se basa en los principios físicos de cohesión, viscosidad adherencia y tensión superficial.

III.5.2. El proceso de líquidos penetrantes.

En la inspección por líquidos penetrantes se requiere realizar los siguientes seis pasos:

- Preparación de la superficie.
- Aplicación del penetrante.
- Remoción del exceso del penetrante.
- Aplicación del revelador.
- Inspección.
- Limpieza final.

III.5.2.1. Preparación de la superficie.

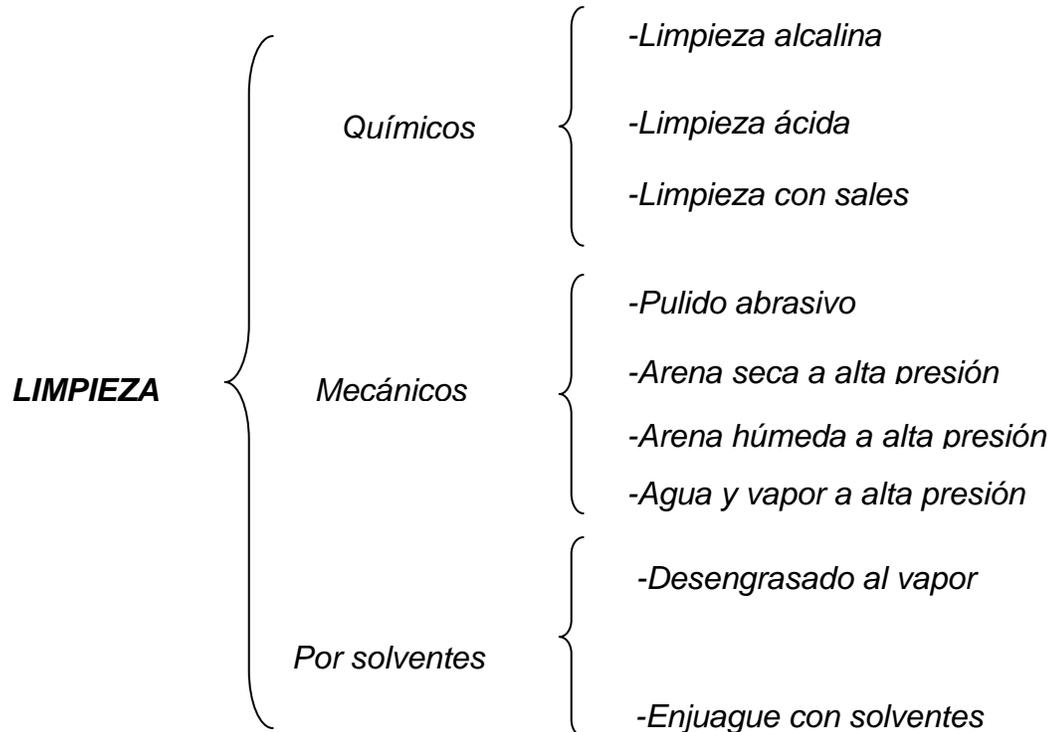
La inspección por líquidos penetrantes requiere, además de que las discontinuidades se encuentren en la superficie, que estén abiertas a estas, para que el penetrante tenga una vía de acceso; por lo que es esencial una buena limpieza de la pieza para obtener resultados confiables.

Debe tenerse extremo cuidado para asegurar que las piezas estén limpias y secas. Las indicaciones y la detección de discontinuidades dependen del flujo del penetrante, aun en las pequeñas fisura. Es evidente que el penetrante no puede fluir si la discontinuidad se encuentra tapada con aceite, agua, pintura, oxido o cualquier otra materia extraña.

Para obtener mejores resultados en la inspección, se necesita una limpieza adecuada en la superficie del material. La técnica de limpieza a utilizar depende del tipo de contaminante presente en la superficie de la pieza. En las normas **ANSI/ASME BPV sección V, artículo 6, ASTM- E165 y NOM-B-33-1987**, se proporcionan unas técnicas de limpieza.

III.5.2.1.1 Métodos de limpieza

En la sección de métodos de limpieza se debe tener especial cuidado de que este no enmascare cualquier indicación o que los residuos de los productos de limpieza actúen como contaminantes, influyendo en la sensibilidad del método. Los métodos de limpieza se clasifican como sigue



III.5.2.2. Aplicación del penetrante.

El penetrante se aplica sobre la superficie limpia y seca de la pieza a inspeccionar, por cualquier método que la humedezca totalmente.

*Todas las superficies deben cubrirse totalmente para permitir que mediante la **acción capilar** el penetrante se introduzca en las discontinuidades. El tiempo de permanencia del penetrante en la superficie de la pieza debe determinarse experimentalmente.*

Antes de aplicar el penetrante es recomendable limpiar la superficie con el solvente removedor que recomiende el fabricante; esto con la finalidad de asegurar que la discontinuidad no tenga algún otro solvente o líquido que pudiera interferir con la inspección o que evite la introducción del penetrante en la cavidad de la discontinuidad.

La aplicación del penetrante se realiza de acuerdo a los siguientes métodos:

- *Por inmersión*
- *Aspersión, Automatización o Rociado.*
- *Aplicación con Brocha, Pincel o Rodillo.*



III.5.2.2.1 Tiempo de Penetración.

Se define como el tiempo necesario para que el penetrante se introduzca entre las discontinuidades.

Este tiempo varía de acuerdo a los siguientes factores:

- *Tipo de penetrante utilizado.*
- *Características del material a inspeccionar.*
- *El proceso de fabricación del material.*
- *Las posibles discontinuidades a detectar.*
- *Temperatura.*

Existen tablas de tiempos de penetración recomendados por los fabricantes para diferentes materiales y discontinuidades estas tablas se encuentran en los anexos.

III.5.2.3. Remoción del exceso de Penetrante.

La remoción del exceso de penetrante es el paso mas importante en el procesamiento de las piezas para su inspección; por ello debe mantenerse estricto control en cuanto a los diferentes parámetros que esta parte del proceso encierra, y de este modo asegurar resultados confiables. Después de transcurrido el tiempo de penetración, se elimina el exceso de penetrante que queda en la superficie de la pieza. Se debe evitar que el penetrante se seque sobre esta, ya que puede impedir que el penetrante emerja de las discontinuidades al aplicar el revelador. En caso que el penetrante se seque, la inspección debe de reiniciarse desde el paso de la prelimpieza.

III.5.2.4 Aplicación del Revelador.

La cantidad de penetrante que emerge de la discontinuidad superficial es bastante reducida; por lo que es necesario hacer más notable su visibilidad. Es por ello que posterior a la remoción del exceso de liquido penetrante, se aplica el revelador , una sustancia especialmente compuesta para extraer al penetrante atrapado en las discontinuidades; para que de esta forma sea visible al ojo humano.

III.5.2.5 Inspección.

Después de transcurrido el tiempo de revelado, se efectúa la inspección y evaluación de la superficie de la pieza. El tipo de iluminación empleado depende del proceso utilizado; ya que debe usarse luz normal (luz blanca) de suficiente intensidad para los penetrantes visibles y luz ultravioleta (luz negra) para los fluorescentes. Esta parte del proceso es sumamente importante; por lo que es necesario verificar que la indicación en examen sea valida y no falsa.



Cuando tenga duda sobre la inspección es preferible limpiar la pieza y repetir el proceso completo, después se determinara el tipo, localización y tamaño de la discontinuidad; así como la especificación aplicable para su evaluación.

III.5.2.6 Limpieza final.

Es importante que esta parte del proceso se efectuó con un limpiador volátil y que ninguno de los limpiadores previos quede alojado en las discontinuidades. La post-limpieza o limpieza final es la última parte del proceso por líquidos penetrantes y se lleva a cabo en las muestras o piezas que se encuentran libres de discontinuidades. Es necesaria ya que el penetrante y el revelador tienden a acumular humedad, lo cual puede producir corrosión; o bien interferir en el uso o proceso posterior a la inspección.

El método de limpieza recomendado es uno semejante al de prelimpieza. Los limpiadores del tipo detergente generalmente se utilizan para remover materiales base de agua; mientras que el desengrase en vapor es mas conveniente para la remoción de materiales base de aceite. La realización de este método se muestra en la figura III.8

III.5.3 Ventajas de los líquidos penetrantes.

La inspección por líquidos penetrantes es extremadamente sensible a las discontinuidades abiertas a la superficie.

- *La configuración de las piezas a inspeccionar no representa un problema para la inspección.*
- *Son relativamente fáciles de emplear.*
- *Brindan muy buena sensibilidad.*
- *Son económicos.*
- *Son razonablemente rápidos en cuanto a la aplicación, además de que el equipo puede ser portátil.*
- *Se requiere de pocas horas de capacitación de los Inspectores.*

III.5.4 Limitaciones de los líquidos penetrantes.

- *Sólo son aplicables a defectos superficiales y a materiales no porosos.*
- *Se requiere de una buena limpieza previa a la inspección.*
- *No se proporciona un registro permanente de la prueba no destructiva.*
- *Los Inspectores deben tener amplia experiencia en el trabajo.*
- *Una selección incorrecta de la combinación de revelador y penetrante puede ocasionar falta de sensibilidad en el método.*

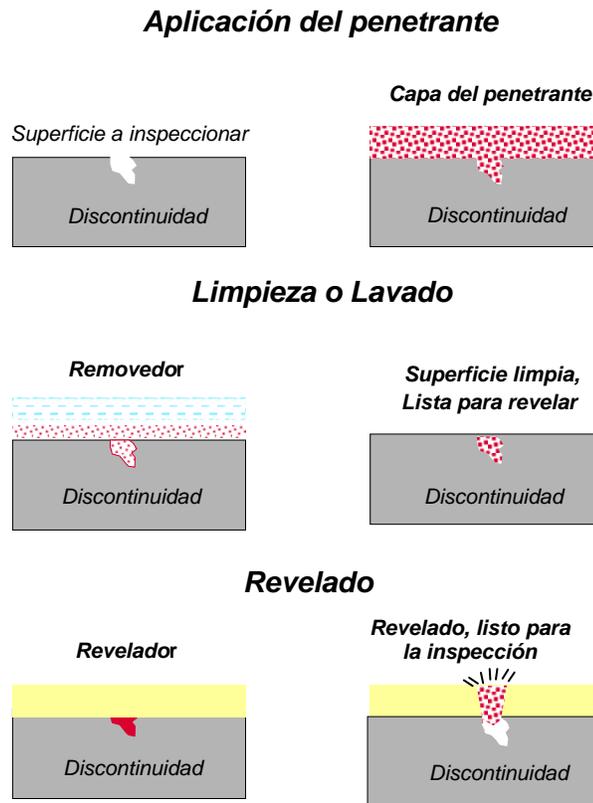


Figura III.8. Método de líquidos penetrantes.

III.6 Inspección con Partículas magnéticas.

La inspección con partículas magnéticas, es un método de ensayo no destructivo, mediante el cual es posible detectar discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos, no necesariamente abiertos a la superficie.

III.6.1 Definición y descripción del método

Este método consiste en la magnetización de una pieza por medio de un campo eléctrico o magnético, en forma simultánea se aplica sobre la superficie un polvo ferromagnético, el cual será atraído donde exista **una distorsión de las líneas de flujo magnético o fuga de campo** formándose así las indicaciones estas deben ser perpendiculares o en un ángulo no menor a 45° a las líneas del campo magnético. Si las indicaciones son paralelas a las líneas de flujo no se formara ninguna indicación.

Este método es aplicable para evaluar la sanidad en piezas de fundición, forjadas, roladas, cordones de soldadura, recipientes sujetos a presión etc, además es sensible para detectar la presencia de fisuras, recubrimientos, rasgones, inclusiones y



discontinuidades en materiales ferromagnéticos como el hierro y el acero. El método detectará discontinuidades de la superficie demasiado finas para apreciarse a simple vista y también detectará discontinuidades ligeramente por debajo de la superficie (hasta 6 mm.). **No es aplicable a materiales no magnéticos.**

La inspección por partículas magnéticas puede realizarse en diversas formas. La pieza que va a inspeccionarse puede magnetizarse y luego cubrirse con finas partículas magnéticas (polvo de hierro); esto se conoce como método residual. O bien, la magnetización y aplicación de las partículas puede hacerse simultáneamente, lo cual se conoce como método continuo. Las partículas magnéticas pueden mantenerse en suspensión en un líquido que se vierte sobre la pieza, o la pieza puede sumergirse en la suspensión (método húmedo). En algunas aplicaciones, las partículas, en forma de polvo fino, se esparcen sobre la superficie de la pieza de trabajo (método seco).

III.6.2. Secuencia de la inspección con Partículas Magnéticas.

Es importante destacar que con este método sólo pueden detectarse las discontinuidades perpendiculares a las líneas de fuerza del campo magnético. De acuerdo al tipo de magnetización, los campos inducidos son longitudinales o circulares. Además, la magnetización se genera o se induce, dependiendo de si la corriente atraviesa la pieza inspeccionada o si ésta es colocada dentro del campo generado por un conductor adyacente.

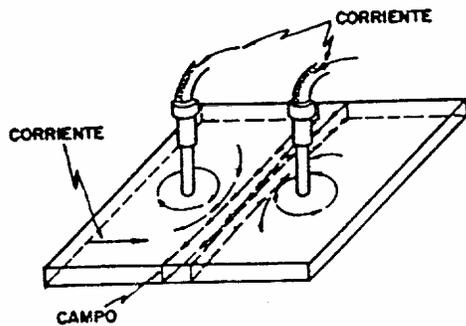
III.6.2.1. Limpieza.

Todas las superficies a inspeccionar deben estar limpias y secas. La expresión “limpia” quiere decir que la superficie se encuentre libre de aceite, grasa, suciedad, arena, óxido, cascarilla suelta u otro material extraño, el cual pueda interferir con el ensayo.

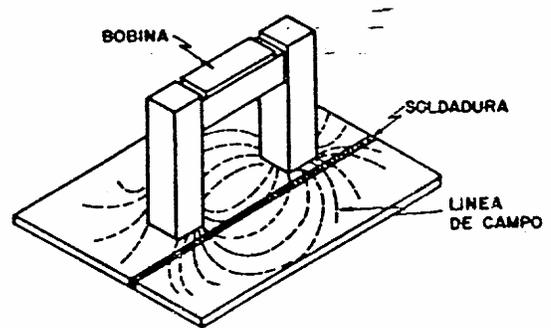
III.6.2.2. Magnetización de la Pieza.

Este paso puede efectuarse por medio de un imán permanente, con un electroimán o por el paso de una corriente eléctrica a través de la pieza como se muestra en la figura III.9. El tipo de magnetización a emplear depende de:

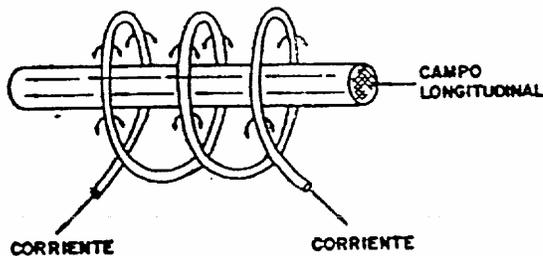
- El tipo de pieza.
- Las instalaciones existentes en la empresa.
- El tipo de discontinuidad.
- La localización de la misma.



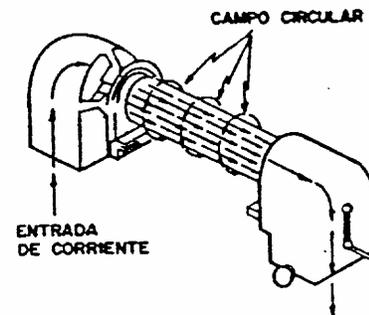
Magnetización con puntas de contacto



Magnetización por yugo



Magnetización por bobina



Magnetización entre cabezales.

Figura III.9

III.6.2.3. Corriente de magnetización.

Se seleccionara en función de la localización probable de las discontinuidades; si se desea detectar sólo discontinuidades superficiales, debe emplearse la corriente alterna, ya que ésta proporciona una mayor densidad de flujo en la superficie y por lo tanto mayor sensibilidad para la detección de discontinuidades superficiales.

Si lo que se espera es encontrar defectos superficiales y subsuperficiales, es necesario emplear la corriente rectificada de media onda; ya que ésta presenta una mayor penetración de flujo en la pieza, permitiendo la detección de discontinuidades por debajo de la superficie. Sin embargo, es probable que se susciten dificultades para desmagnetizar las piezas.

III.6.2.4. Aplicación de las partículas.

Por término general, se prefieren las partículas secas cuando se requiere detectar discontinuidades relativamente grandes. Las partículas en suspensión se emplean preferentemente para detectar discontinuidades muy pequeñas y cerradas.



El color de las partículas dependerá del contraste de fondo. Las partículas de color rojo están en un punto intermedio y fueron desarrolladas para que su observación se facilite empleando una tinta de contraste blanco; esta tinta tiene un color y consistencia parecidos al del revelador no acuoso de los PT, pero con mayor poder de adherencia como se muestra en la figura III.10. Cuando se desea una mayor sensibilidad en un método, es necesario emplear las partículas fluorescentes. Como se muestra en la figura III.11. Generalmente se recomienda que la corriente de magnetización se mantenga durante el tiempo de aplicación de las partículas, ya que es cuando el campo magnético es más intenso y permite que las partículas sean atraídas hacia cualquier distorsión o fuga de campo, para así indicar la presencia de una posible discontinuidad.



Figura III.10. Partículas de color rojizo con contraste.

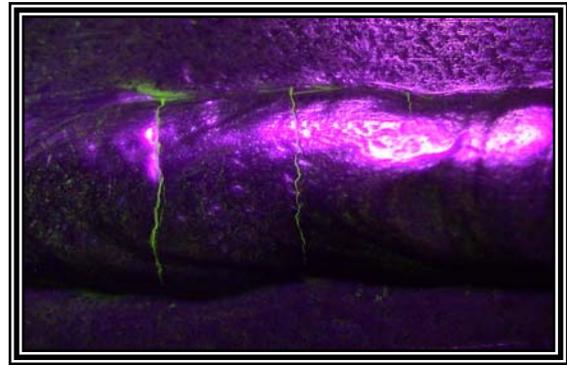


Figura III.11. Partículas fluorescentes húmedas

III.6.2.5. Desmagnetización.

Debido a que algunos materiales presentan magnetismo residual, en ocasiones es necesario efectuar la desmagnetización de la pieza para evitar que el magnetismo residual afecte el funcionamiento o el procesamiento posterior de la misma. Como regla general se recomienda que si se emplea corriente alterna, se desmagnetice con corriente alterna; de manera similar, si se magnetiza con corriente rectificada, se debe desmagnetizar con corriente rectificada.

La desmagnetización consiste en aplicar un campo magnético que se va reduciendo de intensidad y cambiando de dirección hasta que el magnetismo residual en el material queda dentro de los límites de aceptación.

III.6.3 Ventajas de las partículas magnéticas.

Con respecto a la inspección por líquidos penetrantes, este método tiene las siguientes ventajas:

- Requiere de un menor grado de limpieza.
- Generalmente es un método más rápido y económico.



- Puede revelar discontinuidades que no afloran a la superficie.
- Tiene una mayor cantidad de alternativas.

III.6.4 Limitaciones de las partículas magnéticas.

- Son aplicables sólo en materiales ferromagnéticos.
- No tienen gran capacidad de penetración.
- El manejo del equipo en campo puede ser caro y lento.
- Generalmente requieren del empleo de energía eléctrica.
- Sólo detectan discontinuidades perpendiculares al campo.

III.7 Inspección por ultrasonido

Esta inspección se realiza para asegurar que las placas no tengan discontinuidades internas como agujeros, rupturas o laminaciones. Esta inspección utiliza el mismo principio que para la medición de espesores antes descrito.

III.7.1 Procedimiento.

La inspección ultrasónica debe ser hecha en cualquier superficie crítica de la placa. La aceptación de defectos en el límite puede requerir una inspección de la segunda superficie crítica.

Se recomienda una prueba nominal de frecuencia de 2 1/4 MHz. El espesor, tamaño de grano o micro estructura del material y naturaleza del equipo o método puede requerir una alta o baja frecuencia de prueba. Sin embargo, las frecuencias menores que 1 MHz pueden ser usadas. En las placas se realiza una cuadrícula de 9 X 9". El barrido debe ser continuo a lo largo de las líneas y cruces de la cuadrícula con un palpador de haz recto. El cual si detecta alguna indicación como en la figura III.12 el palpador producirá una señal eléctrica RF que será desplegada en la pantalla como la mostrada en la figura III.13.

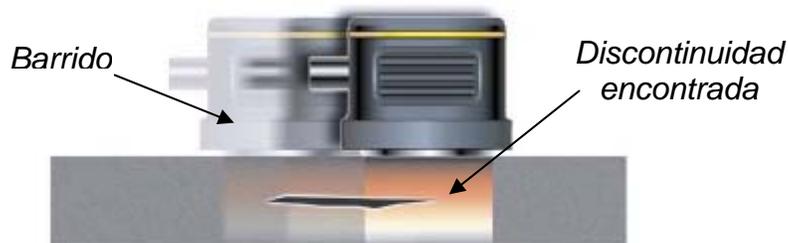


Figura III.12. Discontinuidad localizada

Esta técnica de inspección por ultrasonido también puede examinar soldaduras y detectar discontinuidades por medio de un palpador de haz angular que esta formado por un palpador de haz recto y una cuña de plástico llamada zapata, con ella se logra la conversión.



Esta inspección se realiza como se muestra en la figura III.14 y puede detectar faltas de fusión, de penetración, poros, etc

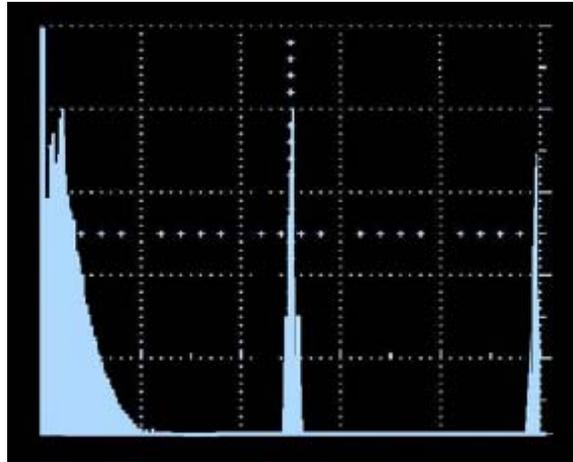


Figura III.13. Señal Eléctrica

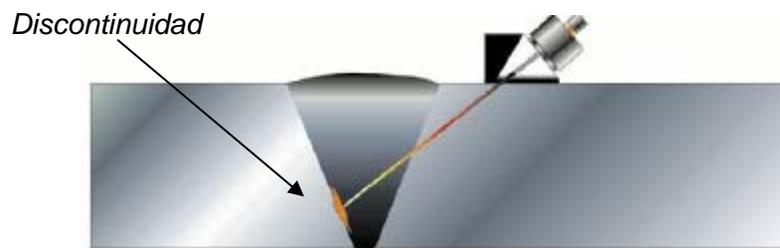


Figura III.14. Inspección en soldaduras

III.7.2 Ventajas de la Inspección por Ultrasonido

- Este método es de gran velocidad de prueba debido a que la operación es electrónica, proporciona indicaciones prácticamente instantáneas de discontinuidades y/o lecturas de espesor.
- Son de mayor exactitud en la determinación de la posición de discontinuidades internas, estimando sus tamaños equivalentes, orientaciones, forma (lineal, puntual o extendida), también permite la detección de discontinuidades extremadamente pequeñas.
- Es de alto poder de penetración lo que permite localizar discontinuidades a una gran profundidad (varios metros en acero al carbono conformado).



- *También permite la interpretación inmediata, la automatización y el control del proceso de fabricación. No utiliza radiaciones perjudiciales para el organismo humano y no tiene efectos sobre el material inspeccionado.*
- *Solo requiere el acceso a una superficie, esto permite el examen de equipos y tuberías en servicio.*

III.7.3 Limitaciones de la Inspección por Ultrasonido

- *Existen también limitaciones un ejemplo de ellas son en las piezas de geometría compleja, rugosas, de grano grueso, porosas, demasiado ásperas, muy pequeñas, muy delgadas o no homogéneas, son difíciles de inspeccionar. Se necesita utilizar patrones de referencia, tanto para calibrar el equipo como para caracterizar las discontinuidades.*
- *Es necesario un acoplante para obtener una transferencia efectiva de las señales entre pieza y palpador. El patrón de referencia debe de ser del mismo material o parecido al que se va a inspeccionar.*
- *El **acoplante** es un medio acústicamente conductor interpuesto entre el palpador y la superficie del material a ensayar. Su objetivo es desplazar la fina película de aire existente para permitir la transmisión de la presión acústica incidente. Los comúnmente usados son: **agua, aceite, glicerina, grasas de petróleo, grasas de silicón, pasta de celulosa, gel de base agua, etc.***

III.8 Inspección de Peaking y Banding

Este procedimiento consiste en medir las distorsiones que presenta el cuerpo, en sus uniones soldadas tanto verticales, como horizontales; también se medirán las distorsiones locales en su superficie.

III.8.1 Inspección por Peaking:

El procedimiento de inspección es realizando las siguientes actividades:

Seleccionar una madera que cumpla con las siguientes características:

- *Que sea lo suficientemente resistente.*
- *Que sea ligera.*
- *Que sea de fácil obtención en la zona donde se realizara la inspección.*

Se recomienda fabricar tantos escantillones como sean necesarios de acuerdo como en la figura III.15, con una curvatura de acuerdo al radio de diseño del cuerpo.



Cada escantillón contara con una marca visible en el punto de simetría (centro) que será la referencia para medir las distorsiones y en la parte que se utilizara para medir por el exterior, deberá tener una muesca de acuerdo a la soldadura especificada (figura III.15).

Hacer un barrido por el interior y/o exterior (de acuerdo a la facilidad que presente la zona inspeccionada) en todas las soldaduras verticales de cada uno de los anillos del cuerpo (figura III.16).

Efectuar dos mediciones cercanas a las soldaduras circunferenciales (una medición arriba de la soldadura circunferencial y otra medición abajo) y una medición a la altura media del anillo, en total serán tres mediciones en cada una de las soldaduras verticales de todos los anillos que conforman el cuerpo.

Adicionalmente se harán las mediciones necesarias en las zonas que presenten deformaciones perceptibles a simple vista.

Medir el claro entre el escantillón y el perfil de la deformación que presenta el cuerpo como se indica en la figura III.16. Medir también la longitud de deformación “e” como se indica en la figura.

Registrar las mediciones en un formato; únicamente se registrarán las mediciones si éstas son iguales ó mayores de 5 mm.

El registro de las mediciones “f” (figura III.16) será con signo positivo en el caso de protuberancias (deformaciones hacia el exterior del tanque) y con signo negativo en el caso de hundimientos (deformaciones hacia el interior del tanque).

Deberá considerarse que las protuberancias en el cuerpo podrán medirse únicamente por el interior y los hundimientos podrán medirse por el exterior; por lo tanto, deberá disponerse de escantillones con la curvatura de diseño, teniendo en consideración los espesores en cada uno de los anillos, para la medición de hundimientos en el cuerpo.

III.8.2 Banding

Se llevará a efecto realizando las siguientes actividades:

Seleccionar una madera que cumpla con las siguientes características:

- *Que sea lo suficientemente resistente.*
- *Que sea ligera.*
- *Que sea de fácil obtención en la zona donde se realizara la inspección.*

Fabricar tantos escantillones como sean necesarios de acuerdo a la figura III.17.



Cada escantillón contara con una marca visible en el punto de simetría (centro) que será la referencia para medir las distorsiones y en la parte que se utilizara para medir por el exterior, deberá tener una muesca de acuerdo a la soldadura especificada (figura III.17).

Efectuar un barrido horizontal por el interior y/o exterior (de acuerdo a la facilidad que presente la zona inspeccionada) en las soldaduras circunferenciales de todos los anillos del cuerpo (excepto la unión fondo-cuerpo y la unión del ángulo de coronamiento), ver figura III.18.

Adicionalmente se harán las mediciones necesarias en las zonas que presenten deformaciones perceptibles a simple vista.

Medir el claro “x” entre el escantillón y el perfil de la deformación que presenta el cuerpo como se indica en la figura III.18.

De igual forma medir la longitud de deformación “y” como se indica en la figura III.18.

Registrar las mediciones en un formato; únicamente se registrarán las mediciones si éstas son iguales ó mayores de 5 mm.

El registro de las mediciones será con signo positivo en el caso de protuberancias (deformaciones hacia el exterior del tanque) y con signo negativo en el caso de hundimientos (deformaciones hacia el interior del tanque).

Deberá considerarse que por el interior del casco únicamente se podrán medir protuberancias y en el exterior debido a la diferencia de espesores en los anillos del cuerpo no podrán medirse hundimientos en las soldaduras circunferenciales.

Los hundimientos serán medidos con uno de los cantos del escantillón sobre la cresta de la deformación, adhiriendo (pegando) previamente en el canto opuesto del escantillón un nivel de burbuja y midiendo el claro mayor entre el escantillón y la superficie del cuerpo (figura III.18).

Entregar un informe por escrito del estado que guarda el tanque con respecto a peaking y banding, adicionando los dibujos respectivos del levantamiento

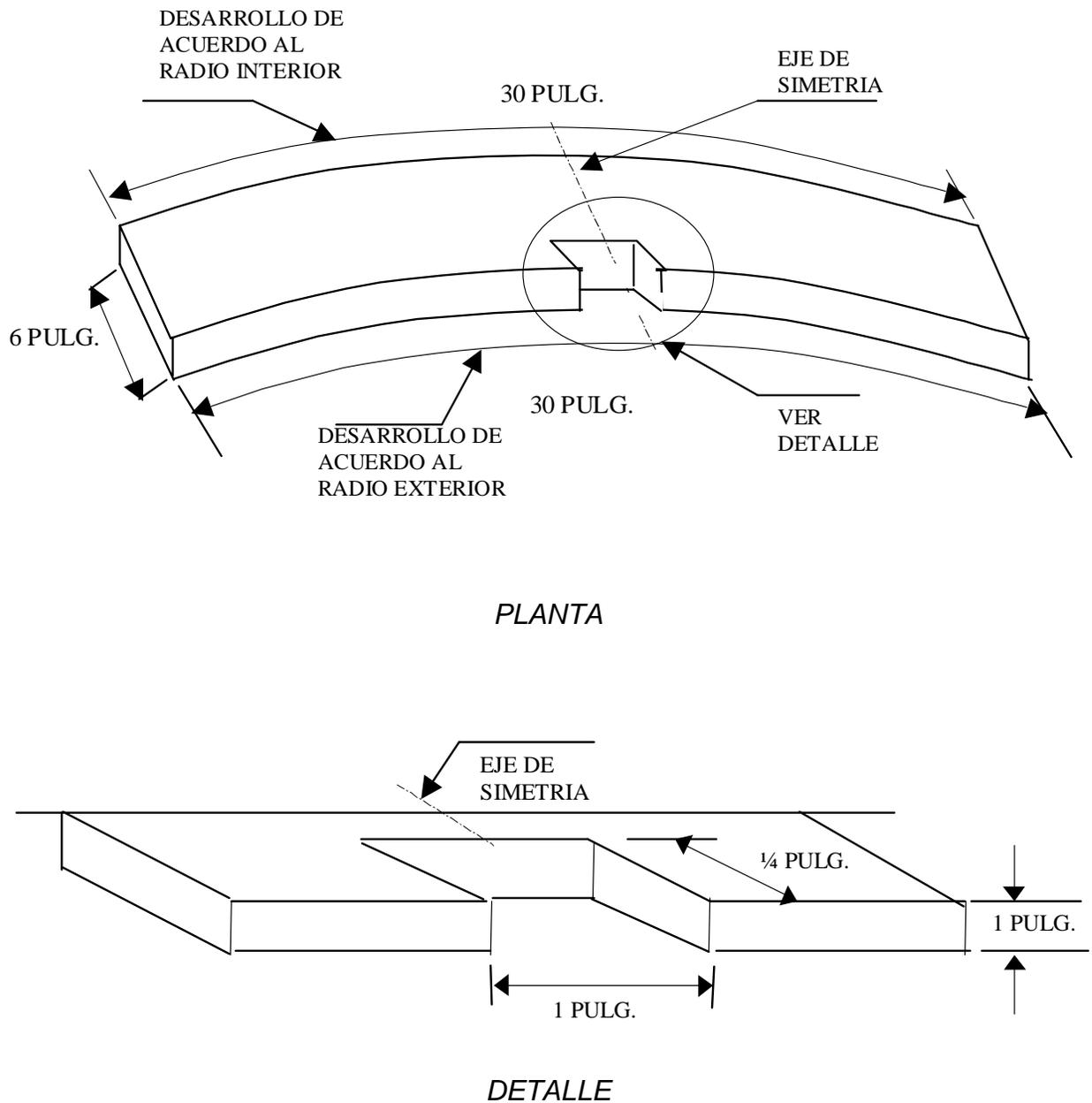
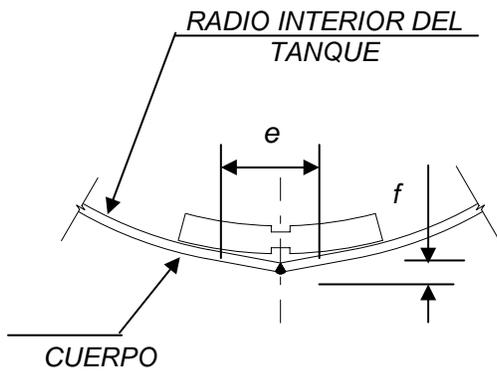
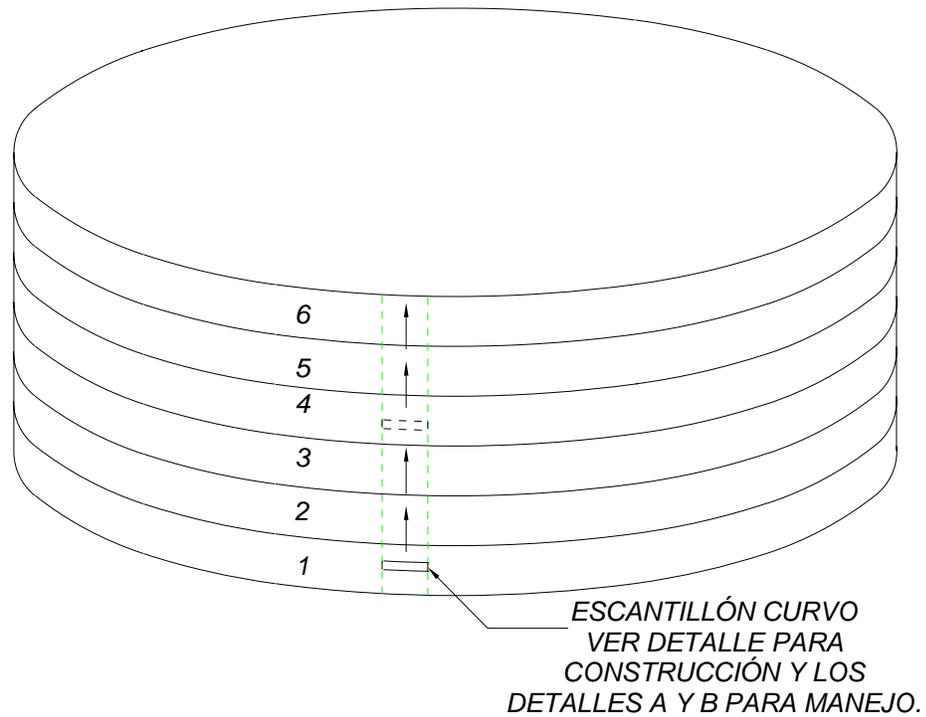
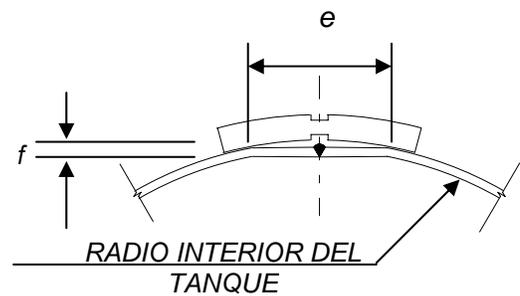


FIGURA III.15.- ESCANTILLÓN PARA MEDICIÓN DE DISTORSIONES POR PEAKING.



DETALLE "A"



DETALLE "B"

Distorsión por peaking: es la medida del claro " f " entre el escantillón y la deformación localizada en la envolvente (cuerpo) del tanque.

FIGURA III.16.- Mediciones de distorsión por peaking

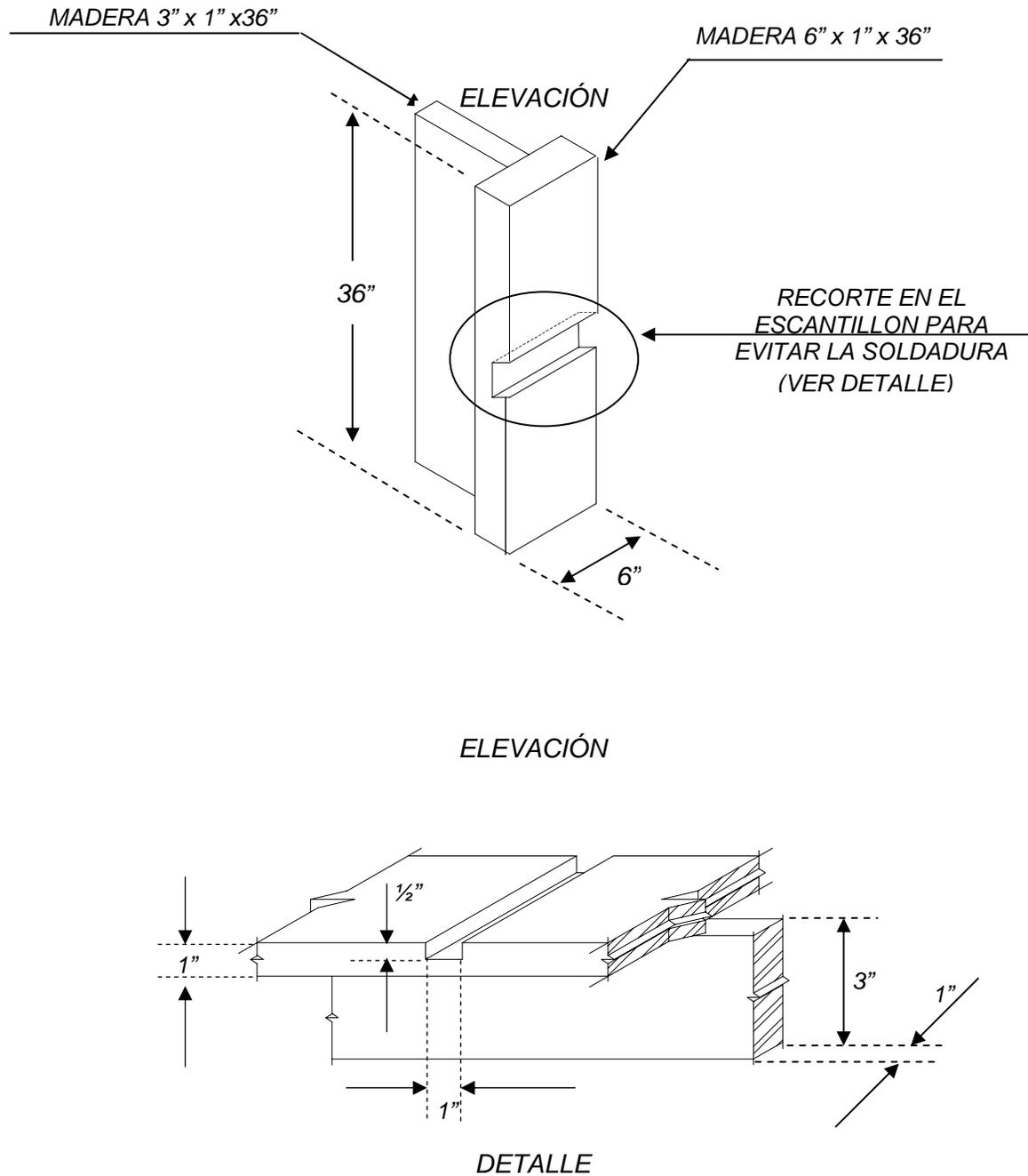
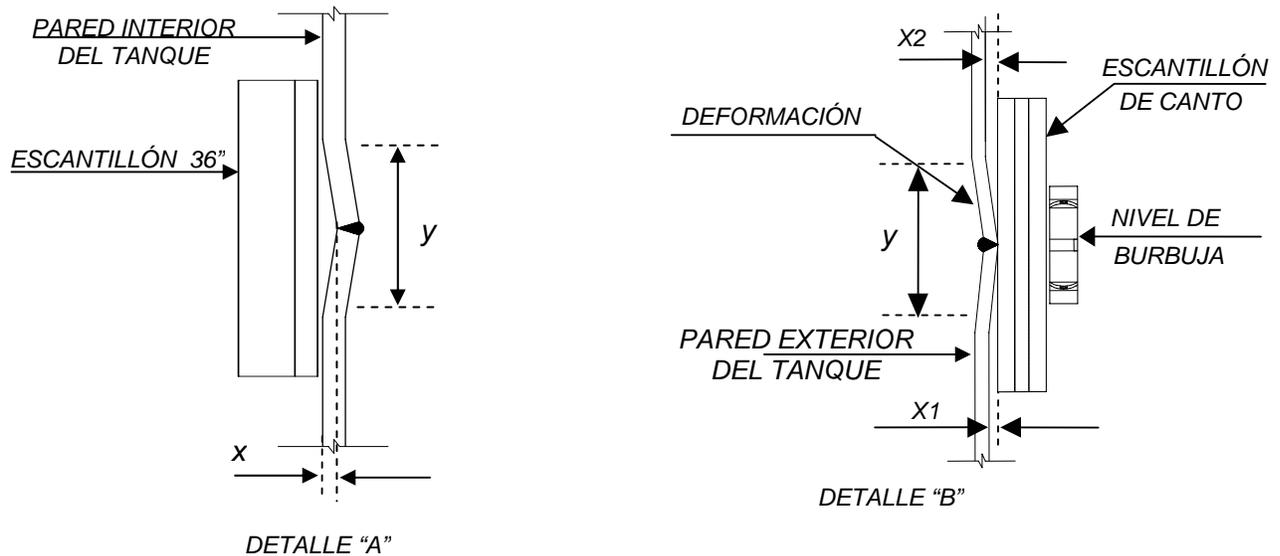
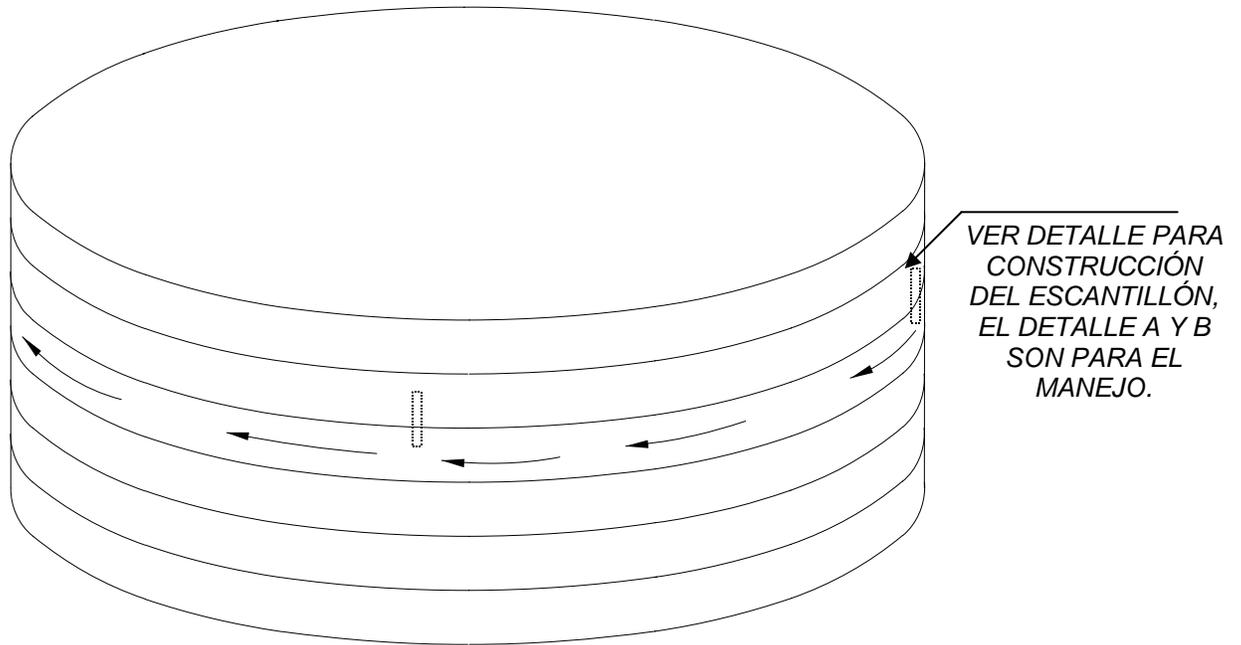


FIGURA III.17.- ESCANTILLÓN PARA MEDICIÓN DE DISTORSIONES POR BANDING.



Distorsión por banding: es la medida del claro "x" entre el escantillón y la deformación localizada en la envoltura del tanque.

Figura III.18. Medición de distorsiones por banding



III.9 Inspección con Cámara de vacío.

Una forma de encontrar fugas en soldaduras, es a través del método de caja de vacío, el cuál es particularmente útil para el fondo del tanque, y en ciertos casos para determinar la longitud de fugas en las soldaduras del techo.

III.9.1 Equipo y materiales

Una caja de vacío fabricada de metal con 177.8 mm (7 pulgadas) de ancho, 914 mm (30 pulgadas) de largo y 115 mm (4 ½ pulgadas) de altura.

En la parte superior cuenta con una ventana de vidrio; la parte inferior se encuentra abierta y lleva un empaque de caucho o similar en el borde que es presionado firmemente contra el área a examinar, como se muestra en la figura III.19.

III.9.1.1 Equipo:

Bomba de vacío, solución jabonosa o cualquier otra solución con características similares para probar fugas.

III.9.2 Personal

Una persona que realice directamente la observación, el que tendrá cierto grado de conocimientos y experiencia, y deberá cubrir al menos con uno de los incisos siguientes:

- Grado de ingeniería más un año de experiencia en la inspección de tanques, recipientes a presión o tuberías.
- Dos años de una carrera de ingeniería o carrera técnica completa, y dos años de experiencia en el diseño, construcción, reparación, operación o inspección, de los cuales al menos debe ser un año en inspección de tanques, recipientes a presión o tuberías.
- El equivalente al bachillerato más tres años de experiencia en el diseño, construcción, reparación, operación o inspección, de los cuales al menos debe ser un año en inspección de tanques, recipientes a presión o tuberías.

Además, la persona que efectuó las mediciones deberá estar calificada y certificada como mínimo con el nivel I en pruebas visuales de acuerdo a lo establecido en la práctica recomendada **SNT-TC-1A**.



III.9.3 Preparativos para la inspección

Primeramente se realizará la limpieza al 100 % de los cordones de soldadura de traslape en las placas de fondo, aplicando un rociado de algún abrasivo u otro tipo de limpieza, para quitar las escamas ó desechos de la superficie, los cuales pueden ocultar fugas.

El vacío puede ser producido por cualquier método conveniente, tal como con un expulsor de aire o bomba de vacío especial, o el empleo de un compresor de aire con una conexión especial que expulse el aire adentro de la caja de vacío. el indicador de presión debe registrar al menos 2 lb./in² presión manométrica.

Se revisarán que todas las conexiones de la caja se encuentren adecuadamente selladas, incluyendo la bomba de vacío o el compresor.

La caja de vacío se deberá colocar sobre la zona del cordón de soldadura para que se desarrolle un vacío dentro de la caja. La presencia de fugas o porosidades en las costuras son indicadas por burbujas o espuma producidas por el aire que pasa a través de la fuga encontrada, esto se visualizará a través de la ventana de cristal de la caja.

III.9.4 Reportes

El reporte de la inspección de las soldaduras empleando la caja de vacío consistirá de:

Croquis de localización (debidamente orientado) de cada una de las fugas encontradas. Indicando cada una de las fugas encontradas, así como las características y dimensiones de éstas. Reporte del equipo empleado para la inspección (características técnicas del mismo).

NOTA: *En los anexos se da un resumen de los métodos de Inspección no Destructivos y las imperfecciones que se pueden localizar con cada uno de ellos.*

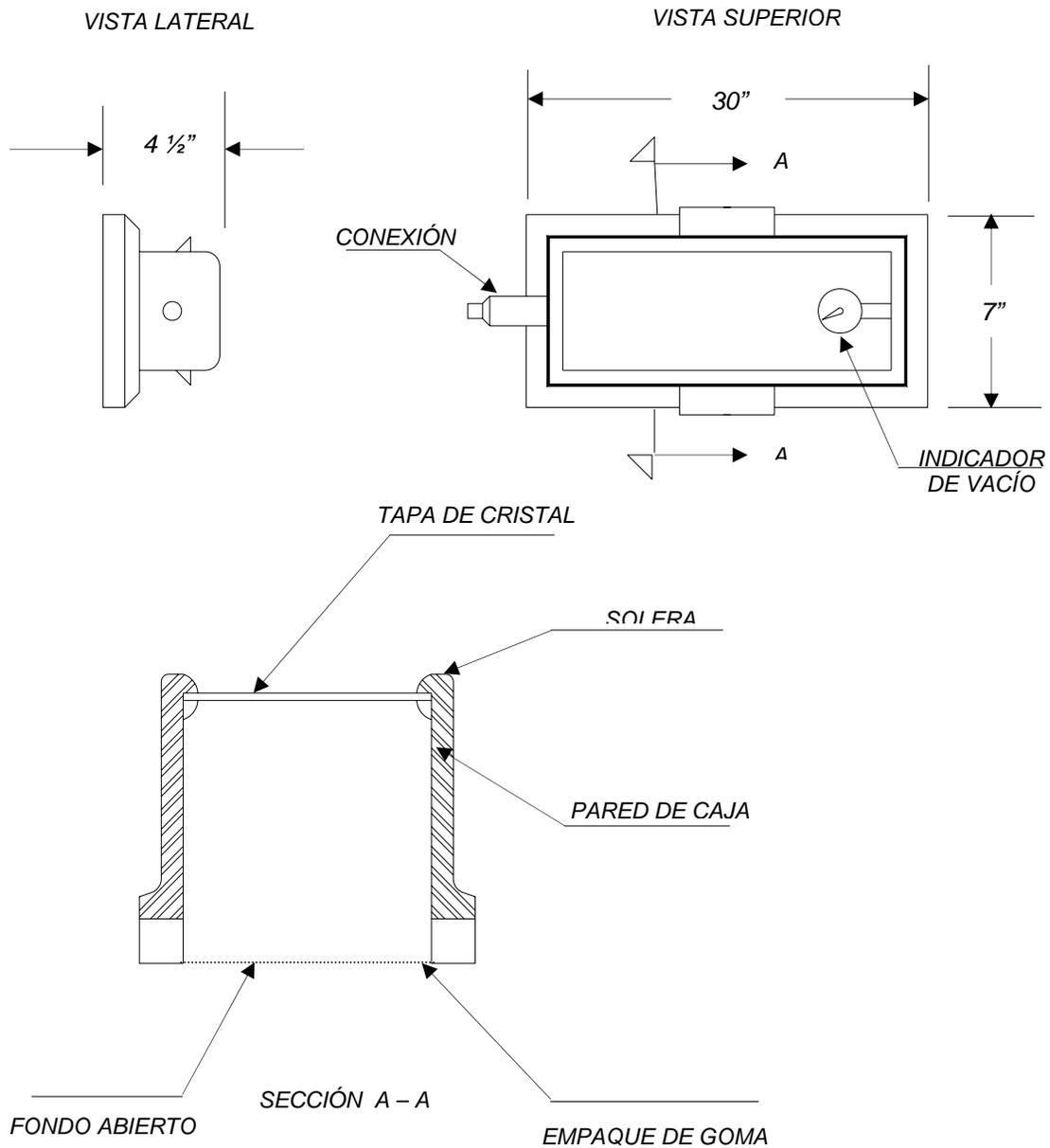


FIGURA III.19 Caja de vacío



***CAPITULO IV. DETERMINACIÓN DE LA VIDA
ÚTIL DE UN TANQUE DE
ALMACENAMIENTO ATMOSFÉRICO, QUE
UTILIZA UNA EMPRESA MEXICANA
UBICADO EN DOS BOCAS TABASCO.***



IV DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO ATMOSFÉRICO QUE UTILIZA UNA EMPRESA MEXICANA UBICADO EN DOS BOCAS TABASCO.

IV.1 Reporte Técnico

Se trata de un tanque metálico de acero de construcción soldada de una capacidad para 500 MBLs, para almacenar crudo.

Los planos de fabricación proporcionados por PEMEX del tanque de 500,000 barriles, son típicos y se obtuvo la información correspondiente de los siguientes materiales.

Plano: Anillos de refuerzo

Cantidad	Material	Espesor
30	A-36	½" (Placas horizontales)
1	A-36	½" (Placa área escaleras)
30	A-36	1" (Placas verticales)

Plano: Techo flotante (postes)

Cantidad	Material	Espesor
151 tubos	A-53 B	2 ½" Ced. 80 (Techo)
28 tubos	A-53 B	2 ½" Ced. 80 (Pontones)
109 camisas	A-53 B	-
28 camisas	A-53 B	-

Plano: Techo

Cantidad	Material	Espesor
323	A-283 C	3/16"

Plano: Cuerpo

Cantidad	Material	Espesor
45	A-36	1 ½" anillo 1
44	A-36	1 ⅜" anillo 2
44	A-283 C	1" anillo 3
30	A-283 C	13/16" anillo 4
30	A-283 C	9/16" anillo 5
30	A-283 C	⅜" anillo 6



IV.2 Realización de la Inspección visual

De la inspección visual realizada por los técnicos del IMP a este tanque, se desprenden los siguientes comentarios:

Envolvente lado exterior:

Identificación de la placa	Anillo	Indicación	Profundidad máxima de pérdida	Recomendación
3	6 (envolvente)	Corrosión puntual en tres áreas	1/32"	Reparar
2 y 1	6(envolvente)y anillo rigidizante	Corrosión en la unión soldada	-	Reparar
19	6 (envolvente)	Corrosión puntual	3/32"	Reparar
27	6 (envolvente)	Corrosión puntual	5/32"	Reparar
29	6 (envolvente)	Corrosión puntual	1/8"	Reparar

Para todas las zonas que presentan corrosión se recomienda limpiar con Sand Blast y aplicar recubrimiento anticorrosivo.

Envolvente lado interior:

Identificación de la placa	Anillo	Indicación	Dimensión	Recomendación
2	1 (envolvente) y entrada-hombre	Socavados en la unión soldada	1/4"	Reparar
19	4	Arranque de material	1/4"	Reparar

Se recomienda reparar la soldadura circunferencial aplicando otro cordón de soldadura y rellenar con soldadura el punto con arranque de material base.

Fondo:

Identificación de la placa	Elemento	Indicación	Dimensión	Recomendación
Apoyo	Poste 21	Socavados en la soldadura	3"	Reparar
Apoyo	Poste 92	Poros	-	Reparar
Apoyo	Poste 122	Falta de soldadura	-	Reparar



Continuación de la tabla anterior

104 a 110 105 a 121 130 a 135	Placas	Deformación longitudinal tipo (abombamiento)	2 ½" (ver foto IV.1)	-
93	Placas	Perforación	3/16" (diámetro)	Reparar
93 y 129	Placas	Falta de soldadura	2 ½" (longitud)	Reparar

En las placas 93 y 129 es posible que por esta zona se haya presentado la fuga del producto. Ver fotografía IV.2

Se recomienda eliminar los defectos en las soldaduras y aplicar otro cordón en las soldaduras mal aplicadas, remover las placas 93 y 129 para conocer las condiciones por debajo del fondo.

Techo parte superior: Vista general en la fotografía IV.3.

Identificación de la placa	Elemento	Indicación	Dimensión	Recomendación
116 y 117	Placas	Falta de soldadura	En la unión transversal	Reparar
137 y 138	Placas	Falta de soldadura	En la unión transversal	Reparar
187 y 188	Placas	Socavados y soldadura mal aplicada	En la unión transversal	Reparar
103 y 130	Placas	Arranque de material base	1/8" (profundidad)	Reparar
238 y 239, 325 y 326, 373 y 374	Placas	Socavados	Uniones soldada	Reparar
362 y 373	Placas	Poros y socavados	Unión soldada (longitudinal)	Reparar

Se recomienda aplicar otro cordón de soldadura en las uniones soldadas mal aplicadas y con socavados, rellenar en donde se detecto arranque de material base y aplicar otro cordón de soldadura entre las placas No. 362 y 373.

Los colectores de drenaje pluvial presentan buena apariencia física en las soldaduras y se observan limpios y sin agua acumulada en su interior.



Techo parte inferior:

Identificación de la placa	Elemento	Indicación	Dimensión	Recomendación
25 a 29, 103 a 104, 269 a 278 344 a 361	Placas	Zonas con desprendimiento del recubrimiento corrosivo (ampollas) y corrosión ligera.	-	Reparar

Se recomienda hacer limpieza con sand-blast y posteriormente aplicar recubrimiento anticorrosivo.

Las soldaduras de los colectores de drenaje pluvial y registros presentan buena apariencia física.

Los postes del techo en general no presentan pandeo y no se observa corrosión.

Pontón lado superior: Ver fotografía IV.4

Identificación de la placa	Elemento	Indicación	Dimensión	Recomendación
3 a 7 13 a 20 26 a 39 43 a 49	Registros	Falta de soldadura, socavados y poros	Alrededor del cordón circunferencial	Reparar
17 y 18	Placas	Mala aplicación y falta de soldadura, además socavados	-	Reparar
-	Ponton-techo	Falta de soldadura (perimetral)	Mayor parte de la unión (ver foto IV.5).	Reparar

Se recomendó aplicar otro cordón de soldadura en toda la perimetral; así como en todas las soldaduras con mala aplicación y socavados.

Anillos rigidizantes:

Los anillos rigidizantes presentan buena apariencia física, así como las soldaduras de unión entre placas y en general no se observa corrosión. Ver fotografía IV.6



Boyas:

Identificación de la boya	Elemento	Indicación	Dimensión	Recomendación
3	Envolvente de la boya	Presenta socavados y corona baja	En la soldadura vertical	Reparar
8	Envolvente de la boya	Poros y corona baja	En la soldadura vertical	Reparar
9	Envolvente de la boya	Deformación hacia el exterior y se aprecian socavados y mala aplicación de la soldadura	En la unión soldada vertical	Reparar
12, 14, 15 y 18	Envolvente de la boya	Mala aplicación y corona baja	En el cordón de la soldadura vertical	Reparar
20	Tapa de la boya	Soldadura con corona baja y corrosión puntual moderada	3/32" (profundidad)	Reparar
22	Tapa de la boya	Mala aplicación de la soldadura, socavados y corona baja	En la soldadura vertical	Reparar
27	Tapa de la boya	Soldadura con corona baja y socavados	En la soldadura vertical	Reparar
30	Tapa de la boya	Corrosión puntual ligera	1/8"(profundidad)	Reparar
35	Envolvente de la boya	Mala aplicación de la soldadura y socavados, además arranque de material	3/32" (arranque de material)	Reparar
49	Envolvente de la boya	Mala aplicación de soldadura y socavados	En la soldadura vertical	Reparar
52	Tapa de la boya	Corrosión severa	Perforación en la soldadura longitudinal.	Reparar
61	Envolvente de la boya y en tapa	Mala aplicación de soldadura, socavados y corrosión puntual generalizada.	La soldadura vertical y en tapa	Reparar
69	Tapa de la boya	Falta de soldadura	Soldadura de la tapa	Reparar
84	Tapa de la boya	Socavados	Soldadura longitudinal	Reparar
103	Envolvente de la boya y tapa	Mala aplicación de soldadura, socavados y corrosión puntual	Soldadura vertical y tapa (1/16")	Reparar



Se recomienda aplicar otro cordón de soldadura en boyas, uniones y corona baja con mala aplicación ya sea en la soldadura vertical en envolvente y en los casos donde existen socavados, falta de soldadura se debe preparar y aplicar soldadura, además de rellenar con soldadura en zonas con corrosión puntual y con arranque de material.

Escalera rodante y plataforma de escalera:

Las soldaduras de los apoyos de las guías de escalera rodante presentan buena apariencia física, así como los escalones y pasamanos de escalera, que en lo general no se observa corrosión.

La plataforma de la escalera no presenta corrosión y en general se observa buena apariencia física.

Tubo guía:

El tubo guía antirrotación en general presenta buena apariencia física, así como las soldaduras de unión entre carretes.

Tubería de salida de producto:

Identificación de los tubos	Diámetro	Indicación	Dimensión	Recomendación
6	48"	Presenta abolladura	Φ aprox.9"	Reparar
2	48"	Presenta corrosión moderada general	3/32" (profundidad)	Reparar
13	48"	Arranque de material base	5/32" (profundidad)	Reparar
14	48"	Presenta dos puntos con arranque de material base	1/8" (profundidad)	Reparar
15(forma el codo)	48"	Presenta dos puntos con arranque de material base	1/8" (profundidad)	Reparar
17	48"	Presenta arranque de material (parte superior del tubo)	5/32" (profundidad)	Reparar

Se recomienda rellenar con soldadura los tubos que presentan arranque de material base.



Tubería de entrada de producto:

Identificación de los tubos	Diámetro	Indicación	Dimensión	Recomendación
27	48"	Presenta arranque de material base	3/32" (profundidad)	Reparar
30	48"	Presenta arranque de material base	3/32" (profundidad)	Reparar

Se recomienda rellenar con soldadura los tubos que presentan arranque de material base.

IV.3. Inspección del fondo

Inspección de la unión envolvente fondo parte exterior

Se realizó la inspección por la técnica de líquidos penetrantes, detectando poros agrupados y falta de soldadura en diferentes zonas de la perimetral; por lo que se **recomienda reparar las zonas donde se detectaron y marcaron los defectos.**

Inspección de la unión envolvente fondo parte interior

Se realizó la inspección por la técnica de líquidos penetrantes, en un 25 % de la perimetral detectando indicaciones como son: poros, socavados; falta de fusión y grietas, así como falta de soldadura en toda esta sección, por lo que **se acordó con personal eliminar las discontinuidades relevantes y aplicar otro cordón en toda la soldadura perimetral y posteriormente realizar una reinspección con esta misma técnica.**

Medición de espesores del fondo. Ver fotografía IV.7

Identificación de la placa	Espesor encontrado	Espesor máximo	Espesor nominal
240	0.188"	0.193"	3/16"
4, 7, 19, 22,33, 34, 35, 43, 44, 46, 50, 57, 112, 123 y 154	0.226"	0.240"	3/16"

El resto de las placas tienen espesores mayores a 0.240". Por lo que se recomienda dar un seguimiento anual a la medición de espesores, principalmente en las placas antes indicadas para verificar la velocidad de desgaste.

En las placas 39, 83, 177, 178, 179, 182, 227, 228, 229, 230, 243, 244 y 245 no se pudieron medir los espesores por tener demasiados parches y no tener acceso a las placas con el transductor.



Medición de espesores de placas anulares

Identificación de la placa	Espesor mínimo	Espesores en el rango de	
321	0.438"	-	-
321, 322, 323, 324, 326, 327, 328, 333, 337, 339, 344, 347, 353, 355 y 356	-	0.440"	0.469"

El resto de las placas tienen espesores mayores a 0.470" por lo que se recomienda dar un seguimiento anual a la medición de espesores, principalmente en las placas antes indicadas para verificar la velocidad de desgaste.

Inspección de soldaduras en placas de apoyo de postes

Personal que realizó la inspección visual a la soldadura de todas las placas de apoyo de postes, observando buena apariencia; sin embargo optó por realizar un muestreo con la prueba de líquidos penetrantes a las soldaduras de las placas de apoyo indicadas en la siguiente tabla con sus correspondientes resultados.

Identificación de placa	Indicación	Resultado	Recomendación
2	Poros	No conforme	Reparar
5	-	Conforme	-
14	-	Conforme	-
22	Poros	No conforme	Reparar
24	-	Conforme	-
26	-	Conforme	-
30	-	Conforme	-
40	-	Conforme	-
46	Poros	No conforme	Reparar
51	-	Conforme	-
53	Poros	No conforme	Reparar
55	Poros	No conforme	Reparar
67	-	Conforme	-
77	Poros	No conforme	Reparar
84	-	Conforme	-
101	Poros	No conforme	Reparar
104	-	Conforme	-
106	Poros, socavados	No conforme	Reparar
118	-	Conforme	-



Continuacion de la tabla anterior

120	Poros, socavados	No conforme	Reparar
126	-	Conforme	-
133	Poros	No conforme	Reparar
135	Poros	No conforme	Reparar
148	-	Conforme	-
149	-	Conforme	-
150	Poros	No conforme	Reparar

Se observo que todas las placas de apoyo de postes tienen esquinas cuadradas y de acuerdo a **API 653** deben ser redondeadas en sus esquinas, por lo que se recomienda cambiar estas placas

IV.4 Inspección del cuerpo por Peaking y Banding

Se realizó la inspección de peaking como se muestra en la fotografía IV.8 y banding, vea la fotografía IV.9, en las soldaduras 1, 2, 3, 4 y 5 de los anillos de la envolvente, encontrando lo siguiente:

Peaking

La deformación máxima permitida por **API 653** es de 13 mm.

Identificación	Deformación mínima	Deformación máxima
Soldadura 1 (Anillo 1-2)	- 4 mm	+ 9 mm
Soldadura 2 (Anillo 2-3)	- 5 mm	+ 5 mm
Soldadura 3 (Anillo 3-4)	- 7 mm	+ 12 mm
Soldadura 4 (Anillo 4-5)	- 9 mm	+13 mm
Soldadura 5 (Anillo 5-6)	- 10 mm	+ 10 mm

Todos los cruces están dentro de tolerancia



Banding

La deformación máxima permitida por **API 653** es de 25 mm.

Identificación	Deformación mínima	Deformación máxima
Soldadura 1 (Anillo 1-2)	- 10 mm	+ 15 mm
Soldadura 2 (Anillo 2-3)	- 17 mm	+ 12 mm
Soldadura 3 (Anillo 3-4)	- 10 mm	+ 13 mm
Soldadura 4 (Anillo 4-5)	- 15 mm	+ 9 mm
Soldadura 5 (Anillo 5-6)	- 21 mm	+ 13 mm

De acuerdo a los resultados de la medición realizada, no se encontraron deformaciones fuera de tolerancia.

Medición de espesores de la envolvente.

Se realizo la medición de espesores a los 6 anillos con los que cuenta el tanque.

Identificación de la placa	Anillo	Espesor encontrado	Espesores en el rango de
34	1	1.440"	-
2, 22, 27 y 28	1	-	1.469" a 1.470"

El resto de las placas tienen espesores mayores a 1.470" por lo que se recomienda dar un seguimiento anual a la medición de espesores, principalmente en las placas antes indicadas para verificar la velocidad de desgaste.

Identificación de la placa	Anillo	Espesor encontrado	Espesores en el rango de
4	2	1.336"	-
4, 11, 12, 14, 15, 18 y 30	2	-	1.337" a 1.350"

El resto de las placas tienen espesores mayores a 1.350", por lo que se recomienda dar un seguimiento anual a la medición de espesores, principalmente en las placas antes indicadas para verificar la velocidad de desgaste.



Identificación de la placa	Anillo	Espesor encontrado	Espesores en el rango de
22	3	0.957"	-
4, 15, 18, 22 y 25	3	-	0.960" a 0.980"

El resto de las placas tienen espesores mayores a 0.980", por lo que se recomienda dar un seguimiento anual a la medición de espesores, principalmente en las placas antes indicadas para verificar la velocidad de desgaste.

Identificación de la placa	Anillo	Espesor encontrado	Espesores en el rango de
9	4	0.792"	-
9 y 28	4	-	0.792" a 0.799"

El resto de las placas tienen espesores mayores a 0.800", por lo que se recomienda dar un seguimiento anual a la medición de espesores, principalmente en las placas antes indicadas para verificar la velocidad de desgaste.

Identificación de la placa	Anillo	Espesor encontrado	Espesores en el rango de
12	5	0.519"	-
3, 8, 12, 13, 14, 15, 22, 23 y 29	5	-	0.522" a 0.540"

El resto de las placas tienen espesores mayores a 0.540", por lo que se recomienda dar un seguimiento anual a la medición de espesores, principalmente en las placas antes indicadas para verificar la velocidad de desgaste.

Identificación de la placa	Anillo	Espesor encontrado	Espesores en el rango de
2	6	0.323"	-
1, 6, 13, 15, 18, 20 y 21	6	-	0.326" a 0.350"

El resto de las placas tienen espesores mayores a 0.350", por lo que se recomienda dar un seguimiento anual a la medición de espesores, principalmente en las placas antes indicadas para verificar la velocidad de desgaste.

Medición de espesores en anillos rigidizantes

Se realizó la medición de espesores a los 2 anillos rigidizantes con los que cuenta el tanque.



Anillo	Espesor nominal	Espesores encontrados
<i>Superior placas verticales</i>	1.000"	<i>Todos los espesores son igual o mayores al nominal</i>
<i>Superior placas horizontales</i>	0.500"	<i>En la placa 2, 5 y 16; existen espesores ligeramente menores al nominal</i>
<i>Inferior placas verticales</i>	1.000"	<i>Todos los espesores son igual o mayores al nominal</i>
<i>Inferior placas horizontales</i>	0.500"	<i>En la placa 2, 9, 11, 12, y 20; existen espesores menores al nominal</i>

IV.5 Inspección del techo flotante. Ver fotografía IV.10

Medición de espesores.

Medición de espesores en	Espesor mínimo permitido	El espesor mínimo permitido resulta de Espesor nominal – factor de corrosión	Resultados
<i>Techo</i>	0.126"	0.188"- 1 / 16"	<i>Los espesores en lo general mantienen una homogeneidad</i>
<i>Boyas (ver foto IV.11)</i>	0.126"	0.188"- 1 / 16"	<i>Los espesores en lo general mantienen una homogeneidad</i>
<i>Ponton</i>	0.250"	0.312 – 1 / 16"	<i>Los espesores en lo general mantienen una homogeneidad</i>

Por lo que de acuerdo a esta información y al espesor mínimo requerido por API 653, los espesores obtenidos están dentro de la tolerancia permitida.

Inspección de soldadura del techo

Líquidos penetrantes aplicados a	Resultados
<i>Camisas para el tubo antirrotación</i>	<i>Debido que en la inspección visual no se realizó la prueba de líquidos penetrantes.</i>
<i>Las soldaduras de placas de refuerzo de camisas de los postes en el techo</i>	<i>La placa de refuerzo 36 presenta socavado</i>



Líquidos penetrantes aplicados a	Resultados
<i>Las soldaduras de placas de refuerzo en camisas de los postes en boyas</i>	<i>La inspección en 2, 4, 7, 8, 27, 28, 46, 65, 105 y 106 resulto satisfactoria</i>
<i>Las soldaduras de placas de refuerzo en camisas de los postes en el ponton</i>	<i>2, 4, 11, 13, 18, 21, 24 y 27 resulto satisfactoria</i>

En la placa de refuerzo No. 36 la cual presento socavado alrededor de la soldadura, se recomienda preparar y aplicar otro cordón de soldadura.

Medición de espesores de postes del techo.

Para tubería 2-½" D.N. cédula 80 (0.276"), la tolerancia mínima permitida es -12.5 % (0.035") del espesor nominal, menos (1/16") por factor de corrosión; por lo que el espesor mínimo considerado es de 0.179". Se observa que los espesores en lo general mantienen una homogeneidad.

Por lo que de acuerdo a esta información, los espesores obtenidos están dentro de la tolerancia permitida.

Medición de espesores de postes del pontón.

Para tubería 2-½" D.N. cédula 80 (0.276"), la tolerancia mínima permitida es -12.5 % (0.035") del espesor nominal, menos (1 /16") por factor de corrosión; por lo que el espesor mínimo considerado es de 0.179". Se observa que los espesores en lo general mantienen una homogeneidad.

Por lo que de acuerdo a esta información, los espesores obtenidos están dentro de la tolerancia permitida.

Medición de espesores de camisas del techo.

Para tubería 3" D.N. cédula 40 (0.216"), la tolerancia mínima permitida es -12.5 % (0.027") del espesor nominal, menos (1/16)" por factor de corrosión; por lo que el espesor mínimo considerado es de 0.127". Se observa que los espesores en lo general mantienen una homogeneidad.

Por lo que de acuerdo a esta información, los espesores obtenidos están dentro de la tolerancia permitida, aunque para las camisas con los números antes indicadas se recomienda cambiarlas en un próximo mantenimiento.

Medición de espesores del tubo antirrotación.

Para tubería 12" D.N cédula estándar (0.375"), la tolerancia mínima permitida es -12.5 % (0.047") del espesor nominal, menos (1/16)" por factor de corrosión; por lo que el espesor mínimo considerado es de 0.266".



Se observa que los espesores en lo general mantienen una homogeneidad. Excepto en el nivel 4 del tubo que la variación es mayor pero dentro de lo permitido:

Por lo que de acuerdo a esta Información, los espesores obtenidos están dentro de la tolerancia permitida.

IV.6 Inspección de boquillas, puertas de limpieza y registros

Medición de espesores en cuellos.

Se realizó la medición de espesores, indicando en la siguiente tabla las boquillas con el dictamen correspondiente, de acuerdo a los diámetros y espesores requeridos por **API 650 tabla 3.6 y tabla 3.7.**

No Boquilla	Diámetro (Pulg.)	Servicio	Espesor nominal	Espesor mínimo	Espesor máximo	Dictamen (Tolerancia -12.5 %)
1	4	Drenaje aceitoso	0.337	0.296	0.331	Dentro de tolerancia
1	-	Puerta limpieza	1.500	1.620	1.626	Dentro de tolerancia
2	6	Drenaje pluvial	0.432	0.334	0.377	Fuera de tolerancia
3	24	Entrada producto	0.500	0.475	0.507	Dentro de tolerancia
4	36	Entrada producto	0.750	0.722	0.755	Dentro de tolerancia
5	36	Salida producto	0.750	0.733	0.759	Dentro de tolerancia
6	4	Drenaje aceitoso	0.337	0.279	0.357	Fuera de tolerancia
7	4	Sensor	0.337	0.216	0.250	Fuera de tolerancia
1	24	Entrada hombre	0.500	0.506	0.507	Dentro de tolerancia
2	-	Puerta limpieza	1.500	1.597	1.604	Dentro de tolerancia
8	4	Drenaje aceitoso	0.337	0.308	0.322	Dentro de tolerancia
9	6	Drenaje pluvial	0.432	0.327	0.451	Fuera de tolerancia
10	4	Drenaje aceitoso	0.337	0.295	0.334	Dentro de tolerancia (en el limite)
3	-	Puerta limpieza	1.500	1.627	1.657	Dentro de tolerancia
11	6	Drenaje pluvial	0.432	0.288	0.375	Fuera de tolerancia
12	4	Drenaje aceitoso	0.337	0.299	0.334	Dentro de tolerancia
2	24	Entrada hombre	0.500	0.504	0.510	Dentro de tolerancia
13	6	Drenaje pluvial	0.432	0.274	0.387	Fuera de tolerancia
4	-	Puerta limpieza	1.500	1.620	1.660	Dentro de tolerancia
14	4	Drenaje aceitoso	0.337	0.240	0.279	Fuera de tolerancia



Inspección de soldaduras mediante líquidos penetrantes.

Personal realizó la inspección con la técnica de líquidos penetrantes a las soldaduras de las boquillas indicadas en la siguiente tabla con sus correspondientes resultados.

Boquillas por la parte interior:

No. Boquilla	Diámetro (Pulg.).	Servicio	Indicación	Resultado	Recomendación
1	4	Drenaje aceitoso		Conforme	
2	6	Drenaje pluvial	Poros, socavados	No conforme	Reparar
3	24	Entrada de producto	Poros, socavados	No conforme	Reparar
6	4	Drenaje aceitoso	Poros	No conforme	Reparar
1	24	Entrada hombre		Conforme	
8	4	Drenaje aceitoso	Poros	No conforme	Reparar
9	6	Drenaje pluvial	Poros	No conforme	Reparar
10	4	Drenaje aceitoso	Poros	No conforme	Reparar
11	6	Drenaje pluvial	Poros	No conforme	Reparar
12	4	Drenaje aceitoso	Poros	No conforme	Reparar
2	24	Entrada hombre	Socavados	No conforme	Reparar
13	6	Drenaje pluvial	Poros	No conforme	Reparar
14	4	Drenaje aceitoso	Poros, socavados	No conforme	Reparar

Boquillas por la parte exterior:

No se detectaron indicaciones relevantes

IV.7 Inspección de tuberías de entrada y salida del producto, así como de su soportería, mediante la medición de espesores.

De la medición de espesores realizada a la tubería y accesorios a las líneas, se obtienen los siguientes valores:

Línea	Espesor mínimo	Espesor máximo	Espesor promedio	Resultado
Entrada (con tubería y accesorios de 48", 36" y 24" de diámetro)	0.228"	0.762"	0.377"	Los espesores mas bajos se localizan en la tubería de 24" con espesores del rango de 0.228" hasta 0.333"



Línea	Espesor mínimo	Espesor máximo	Espesor promedio	Resultado
Salida	0.340"	0.762"	0.380"	La línea de 48" y 36" de diámetro tiene un espesor bajo con el rango de 0.340" a 0.368"

IV.8 Replicas metalográficas y prueba de dureza

De la inspección que realizó personal se obtuvo lo siguiente:

Envolvente. Ver fotografía IV.13.

De acuerdo a la observación metalográfica y a la medición de durezas que se realizó a la envolvente anillo 1 placas 8, 31 y 34 y al anillo 2 placas 8 y 29, se puede decir que el material **presenta características similares a las de un ASTM A-36**, el cual coincide con las indicaciones de material de los planos típicos proporcionados.

De acuerdo a la observación metalográfica y a la medición de durezas que se realizó a la envolvente anillo 3 placas 9 y 30, anillo 4 placa 30, anillo 5 placas 1 y 3, anillo 6 placas 2 y 29, se puede decir que el material **presenta características similares a las de un ASTM A-283 C**, el cual coincide con las indicaciones de material de los planos típicos proporcionados.

Techo. Ver fotografía IV.14

De acuerdo a la observación metalográfica y a la medición de durezas que se realizó a las placas 1 y 15 del techo, se puede decir que el material **presenta las características de un material ASTM A-283 C**, el cual coincide con las indicaciones de material de los planos correspondientes.

Pontón. Ver fotografía IV.15

De acuerdo a la observación metalográfica y a la medición de durezas que se realizó a la placa 43 del pontón se puede decir que el material **presenta las características de un material ASTM A-283 C**, del cual no se tiene referencia en planos.

Fondo

De acuerdo a la observación metalográfica y a la medición de durezas que se realizó al fondo del tanque en las placas 16 y 17, se puede decir que el material **presenta características similares de un ASTM A-283 C**, del cual no se tiene referencia en planos.



Anular Fondo (piso)

De acuerdo a la observación metalográfica y a la medición de durezas que se realizó a la placa anular 2, se puede decir que el material **presenta características similares de un ASTM A-283 C**, del cual no se tiene referencia en planos.

Tuberías de entrada y salida del producto.

De acuerdo a la observación metalográfica y a la medición de durezas que se realizo a las tuberías de entrada y salida de producto de 48" de diámetro se puede decir que el material presenta características similares a las de un ASTM A-285 Gr. C del cual no se tiene referencia en planos.

IV.9 Análisis

En base a todas las mediciones y resultados obtenidos podemos concluir lo siguiente:

En un tanque las velocidades de corrosión, se pueden considerar homogéneas, cuando estas sean menores de 0.020" por año (equipos no críticos). Pero se consideran críticos cuando las velocidades exceden el valor de 20 milésimas de pulgada por año (20 mpa).

Cuando no se tenga información sobre la velocidad de desgaste, se consideran como críticas aquellas unidades de control que de acuerdo con su historial, hayan presentado problemas de desgaste habiendo tenido que repararse o reponerse.

La **Velocidad de desgaste**. Como tal, se considera la rapidez con la cual disminuye el espesor de una pared metálica. Ordinariamente, se calcula comparando los espesores obtenidos en mediciones efectuadas en dos fechas consecutivas. Para establecer la velocidad de desgaste de una unidad de control, con objeto de determinar su criticidad, el análisis debe hacerse a partir de los valores de dos mediciones completas al 100% de sus puntos y dichas mediciones deben haberse efectuado con un intervalo mínimo de un año. La velocidad de desgaste debe calcularse de acuerdo a la siguiente formula:

$$d = \frac{ei - ef}{ff - fi}$$

Donde:

d= velocidad de desgaste del punto.

ff= fecha de la medición mas reciente (ef).

fi= fecha de medición anterior (ei).

ei= espesor obtenido en la fecha fi (fecha de medición anterior.)

ef= espesor obtenido en la fecha ff (fecha de medicion mas reciente).



El Espesor remanente. Es la diferencia de espesores entre el obtenido en la última medición y el límite de retiro.

El Limite de retiro.- Es el espesor con el cual deben retirarse los tramos de tubería y equipos de acuerdo con sus condiciones de diseño.

La Vida útil estimada (VUE). Es el tiempo supuesto que debe transcurrir antes de que la unidad llegue a su limite de retiro.

La Fecha de próxima medición de espesor (FPME). Es la fecha en la cual debe efectuarse la siguiente medición de la unidad de control, de acuerdo al análisis.

La Fecha de retiro probable (FRP).- Es la fecha en la cual se estima que debe retirarse la unidad de control, por haber llegado al termino de su vida útil.

Con el fin de contar con los datos necesarios para el calculo de la vida útil estimada (VUE), fecha de próxima medición (FPME) y fecha de retiro probable (FRP), se requiere seleccionar el punto que tenga el espesor mas bajo en cada uno de los diferentes diámetros de las secciones que compongan la unidad de control. Dichos espesores se denominan **ek** y la fecha de medición correspondiente **fk**.

Determinación de la vida útil estimada (VUE)

$$VUE = \frac{ek - Lr}{D \max}$$

Donde:

Lr = Limite de retiro.

ek= Espesor mas bajo encontrado en la ultima medición.

fk = Fecha de ultima medición.

Determinacion de la fecha de próxima medición (FPME).

$$FPME = fk + \frac{VUE}{3}$$

Determinacion de fecha de retiro probable (FRP).

$$FRP = fk + VUE$$



El Calculo del promedio de velocidad de desgaste de la unidad de control considerada, efectuando el ajuste estadístico para obtener el promedio ajustado estadísticamente (**D máx.**).

Para calcular lo anterior, deben usarse las siguientes relaciones:

$$D = \frac{d1 + d2 + d3 + \dots + dn}{n}$$

$$D_{\max} = D + 1.28 \frac{D}{\sqrt{n}}$$

Donde:

d1, d2, d3, ..., dn= Velocidades de desgaste correspondientes a cada punto de la línea o equipo considerado.

N= Numero de valores de velocidades de desgaste que intervienen en el calculo.

D= Promedio aritmético de las velocidades de desgaste.

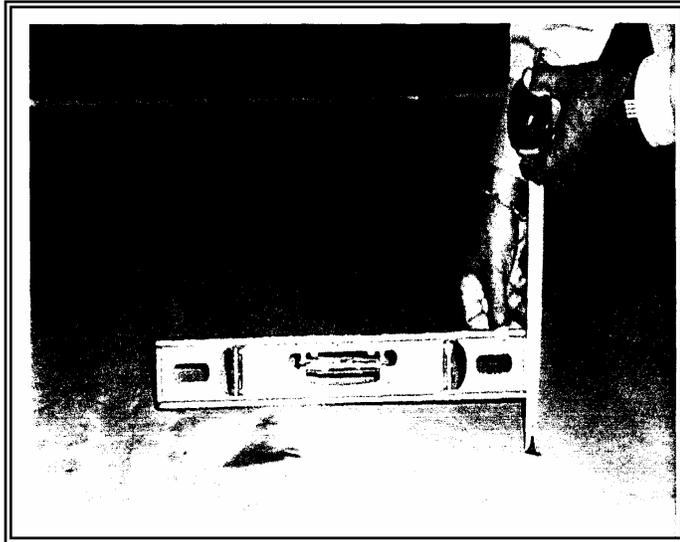
Dmax.= Promedio ajustado estadísticamente.

IV.10 Conclusiones.

Con el analisis realizado y los datos obtenidos no podemos evaluar lo antes mencionado ya que solo contamos con una sola inspeccion y por lo tanto una sola lectura. Para poder realizar la evaluacion correspondiente se requieren dos lecturas por lo menos.

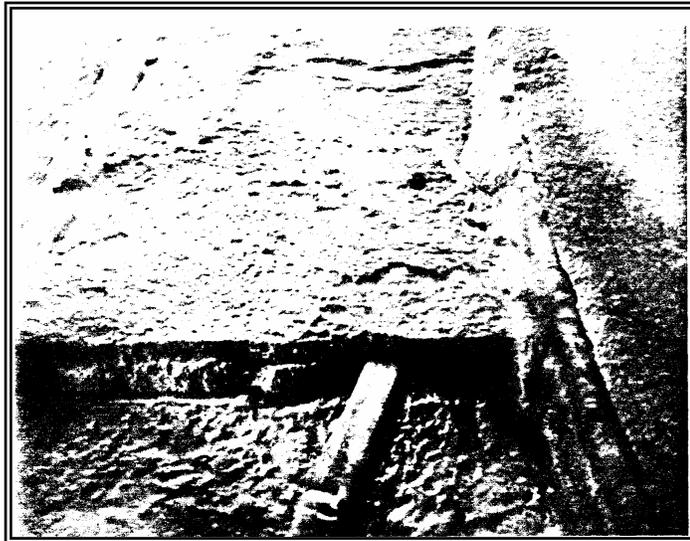
Pero podemos concluir que el tanque de almacenamiento al ser evaluado por los Metodos de Pruebas No Destructivas se determina que puede seguir operando sin ninguna dificultad ya que todos los espesores encontrados están dentro del rango de lo permitido de acuerdo al estandar API 650.

Pero se recomienda reparar todos los defectos encontrados y realizar un monitoreo de corrosión a los espesores mas bajos localizados con la finalidad de que no sobrepasen el limite de retiro.



Fotografía IV.1

Observe la altura que existe con respecto al nivel de placa sana en fondo.



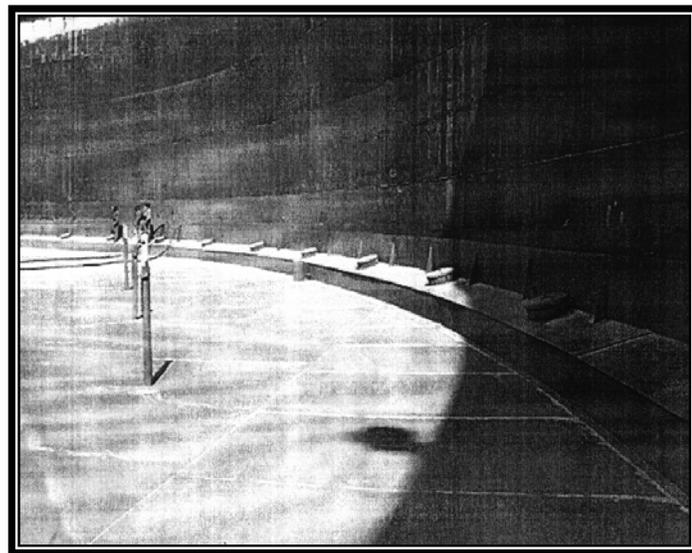
Fotografía IV.2

Se observa una perforacion en placa No. 93 y además falta de soldadura entre placas 93 y 129.



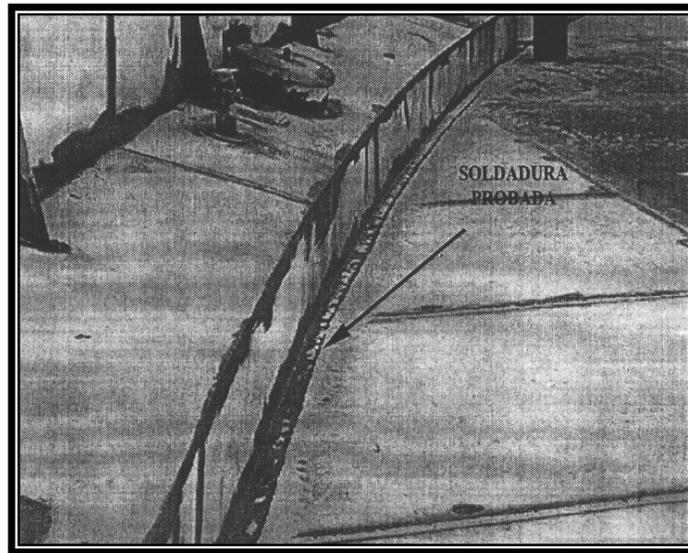
Fotografía IV.3

Vista general del techo del tanque de almacenamiento



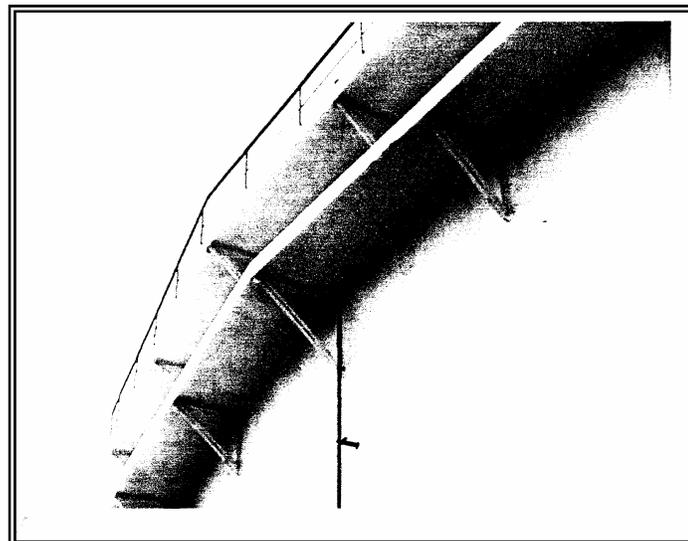
Fotografía IV.4

Vista general del ponton del tanque de almacenamiento



Fotografía IV.5

Falta de soldadura en la unión de soldadura del ponton-techo



Fotografía IV.6

Vista general de los anillos rigidizantes del tanque de almacenamiento.

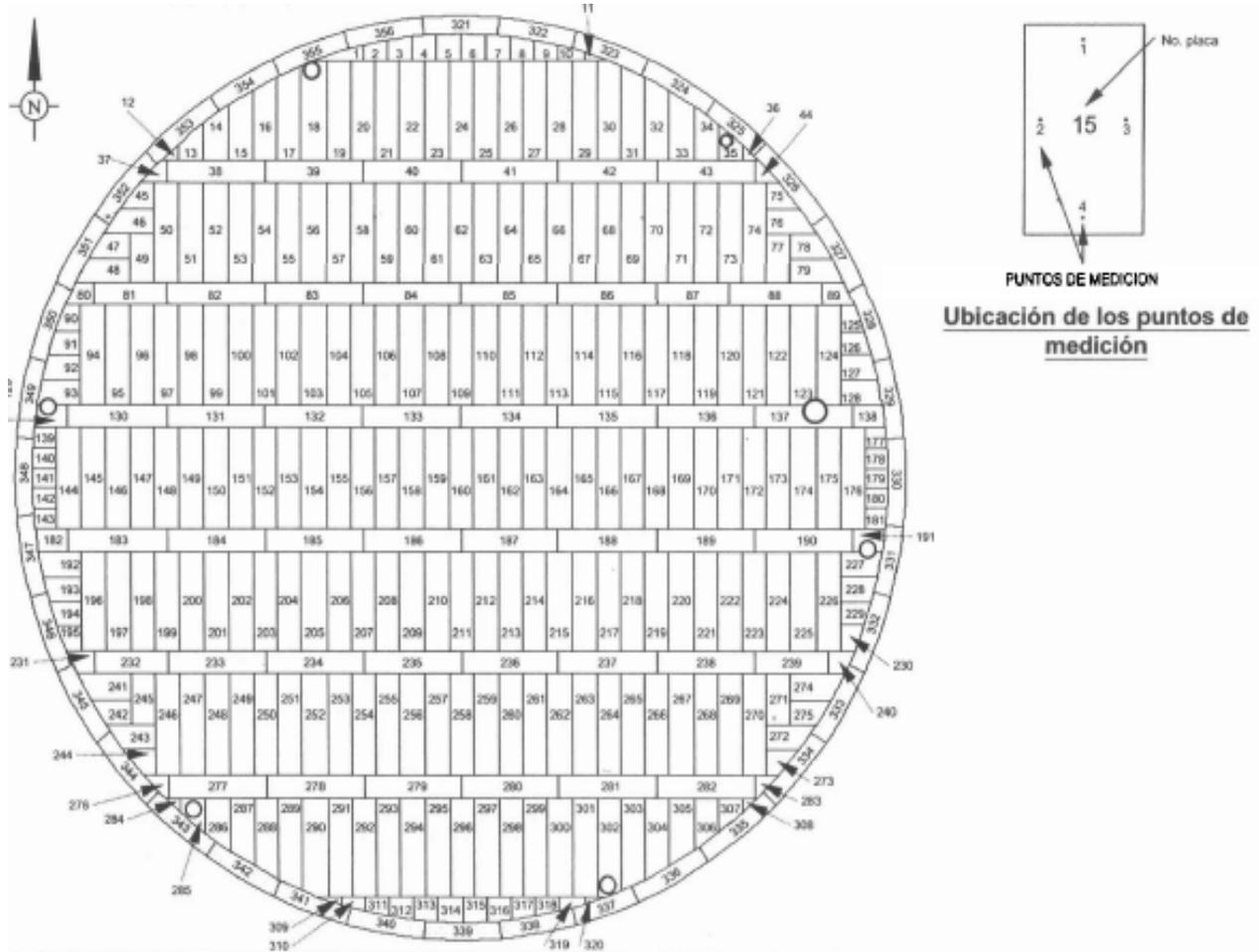
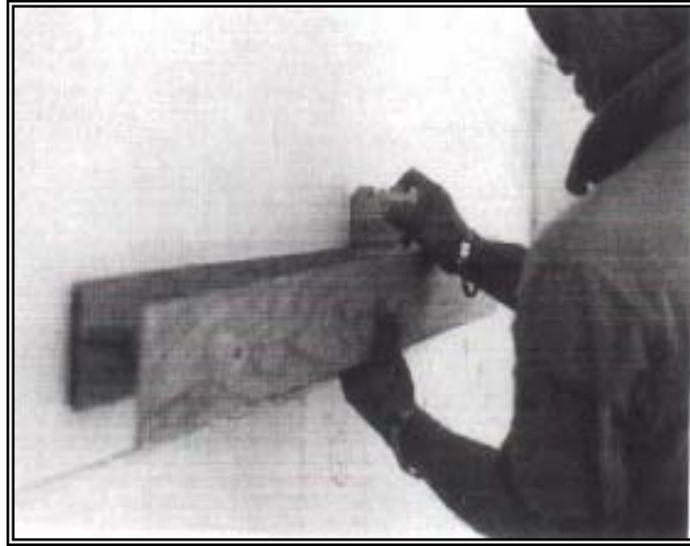
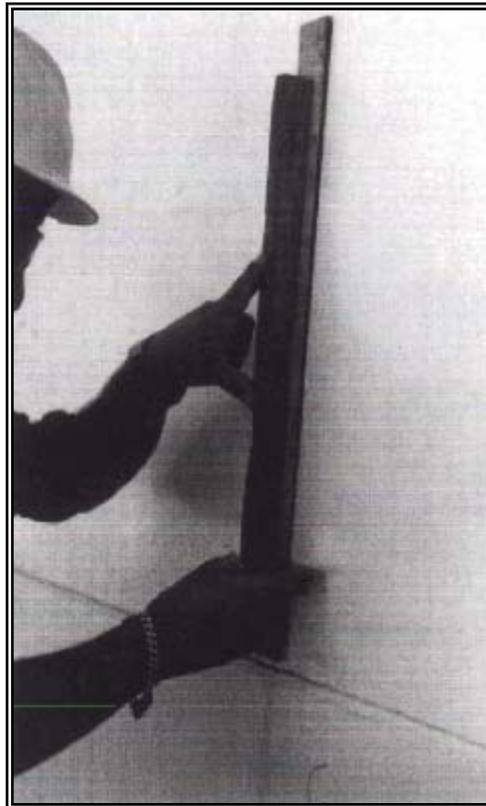


Figura IV.7

Identificación de placas del Fondo y ubicación de los puntos de medición.



Fotografía IV.8
Determinacion del Peaking en el tanque



Fotografía IV.9
Determinacion del Banding en el tanque

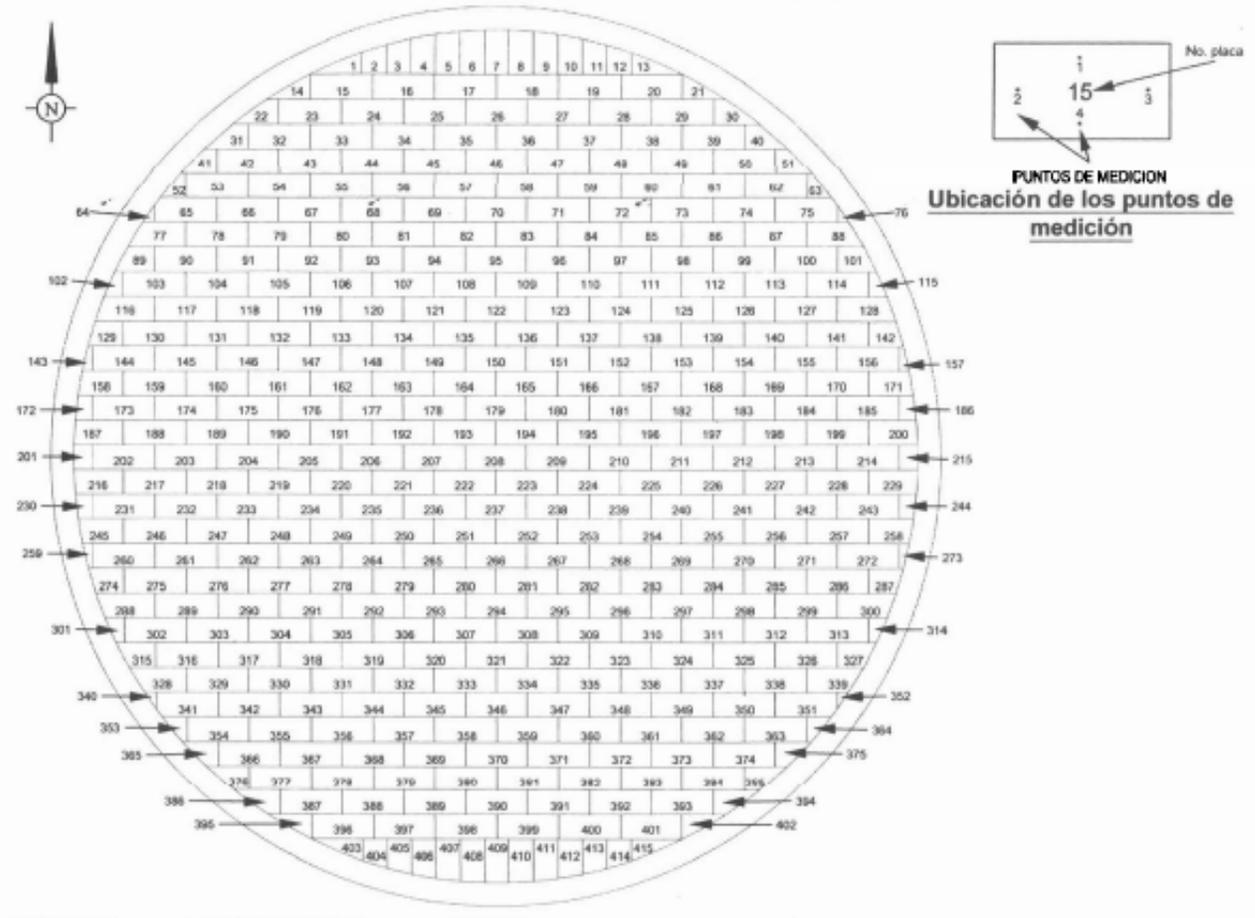


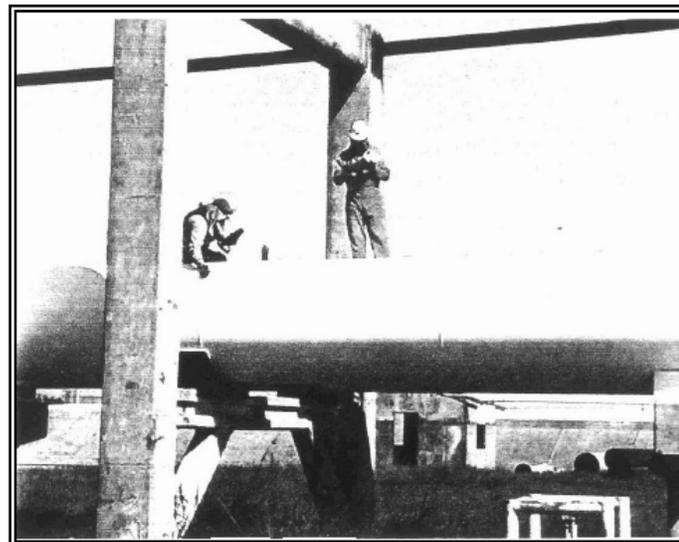
figura IV.10

Identificación de placas del Techo y ubicación de los puntos de medición.



Fotografía IV.11

Medición de espesores en las boyas



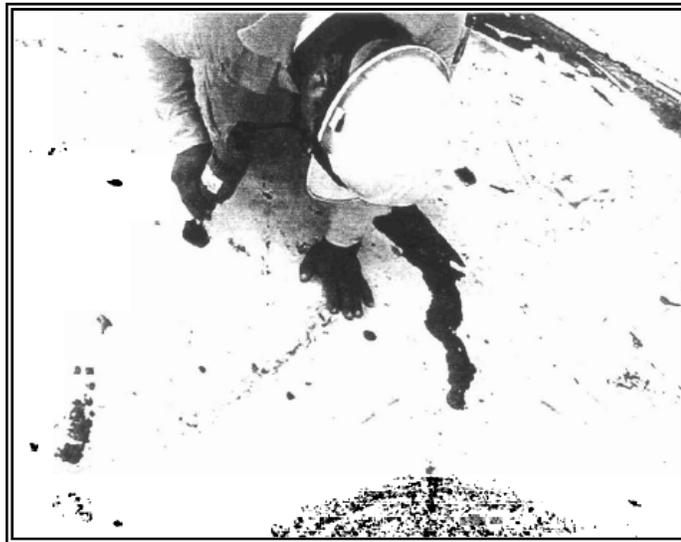
Fotografía IV.12

Medición de espesores en línea de salida del producto.



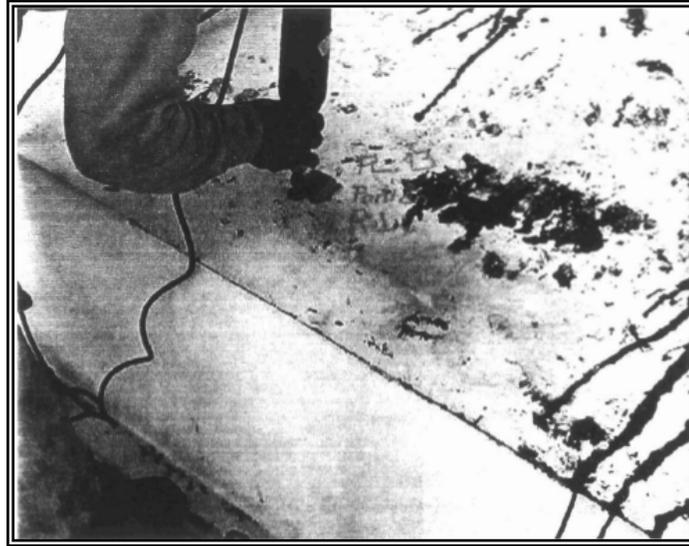
Fotografía IV.13

Toma de replicas metalográficas y durezas en placas de envolvente



Fotografía IV.14

Toma de replicas metalograficas y durezas en placas del techo.



Fotografía IV.15

Toma de réplicas metalográficas y durezas en placas del pontón,



ANEXOS

MATERIAL	FORMA O PROCESO	TIPO DE DISCONTINUIDAD	TIEMPO DE PENETRACIÓN EN MINUTOS
Aluminio	Fundición	Porosidad	5 – 15
		Traslapes en frío	5 – 15
	Forjados	Traslapes	30
	Soldaduras	Falta de fusión	30
		Porosidad	30
Cualquier forma	Grietas por fatiga	30	
Magnesio	Fundiciones	Porosidad	15
		Traslapes en frío	15
	Forjados	Dobleces	30
	Soldaduras	Falta de fusión	30
		Porosidad	30
Cualquier forma	Grietas por fatiga	30	
Aceros Inoxidables	Fundiciones	Porosidades	30
		Traslapes en frío	30
	Forjados	Dobleces	60
	Soldaduras	Falta de fusión	60
		Porosidad	60
Cualquier forma	Grietas por fatiga	30	
Latones y Bronces	Fundiciones	Porosidad	10
	Forjados	Traslapes en frío	10
	Partes con soldadura de latón	Dobleces	30
		Falta de fusión	15
		Porosidad	15
Cualquier forma	Grietas por fatiga	30	
Plásticos	Cualquier forma	Grietas	5 – 30
Vidrio	Cualquier forma	Grietas	5 – 30
Herramientas con extremos de carburo		Falta de fusión	30
		Porosidad	30
		Grietas por esmerilado	10
Titanio y Aleaciones de alta temperatura		Todos	Usar solamente con penetrante posemulsificable

Tiempos de penetración para el proceso de penetrante fluorescente lavable con agua.



MATERIAL	FORMA O PROCESO	TIPO DE DISCONTINUIDAD	TIEMPO DE PENETRACIÓN EN MINUTOS
Aluminio	Fundición	Porosidad	5
		Traslapes en frío	5
	Forja	Dobleces	10
	Soldadura	Falta de fusión	5
		Porosidad	5
Cualquier forma	Grietas por fatiga	10	
Magnesio	Fundición	Porosidad	5
		Traslapes en frío	5
	Forja	Dobleces	10
	Soldadura	Falta de fusión	10
	Cualquier forma	Porosidad	10
		Grietas por fatiga	10
Aceros Inoxidables	Fundición	Porosidad	10
		Traslapes en frío	10
	Forja	Dobleces	10
	Soldaduras	Falta de fusión	20
	Cualquier forma	Grietas por fatiga	20
Latones y Bronces	Fundición	Porosidad	5
		Traslapes en frío	5
	Forja	Dobleces	10
	Partes soldadas	Falta de fusión	10
		Porosidad	10
Cualquier forma	Grietas por fatiga	10	
Plásticos	Cualquier forma	Grietas	2
Vidrio	Cualquier forma	Grietas	5
Herramientas con extremos de carburo		Falta de fusión	5
		Porosidad	5
		Grietas por esmerilado	20
Titanio y Aleaciones de alta temperatura		Todos	20 – 30

Tiempos de penetración para el proceso de penetrante fluorescente posemulsificable.



MATERIAL	FORMA O PROCESO	TIPO DE DISCONTINUIDAD	TIEMPO DE PENETRACIÓN EN MINUTOS
Aluminio	Fundición	Porosidad	3
		Traslape en frío	3
	Extrusión y forja Soldadura	Traslapes	7
	Cualquier forma	Falta de fusión	3
		Porosidad	3
		Grietas	5
Magnesio	Fundiciones	Porosidad	3
		Traslapes en frío	3
	Extrusión y forja Soldadura	Traslapes	7
	Cualquier forma	Falta de fusión	5
		Porosidad	5
		Grietas	5
Aceros	Fundiciones	Porosidad	5
		Traslape en frío	7
	Extrusión y forja Soldadura	Traslapes	7
	Cualquier forma	Falta de fusión	7
		Porosidad	7
		Grietas	7
Latones y Bronces	Fundiciones	Porosidad	3
		Traslape en frío	3
	Extrusión y forja Soldadura	Traslapes	7
	Cualquier forma	Falta de fusión	3
		Porosidad	3
		Grietas	3
Plástico	Cualquier forma	Grietas	5
Vidrio	Cualquier forma	Grietas	5
Herramientas con extremos de carburo		Falta de fusión	3
		Porosidad	3
		Grietas por esmerilado	5
Titanio y Aleaciones de alta temperatura	Cualquier forma		15
Todos los metales	Cualquier forma	Corrosión intergranular	240

Tiempos de penetración para el proceso de penetrante fluorescente removible con solvente.



MATERIAL Y PROCESO	DISCONTINUIDAD	TIEMPO DE PENETRACIÓN (MINUTOS)			
		TEMPERATURA		TEMPERATURA	
		60° F	90° F	35° F	60° F
Cualquier metal	Grietas por tratamiento térmico	03	05	10	15
Cualquier metal	Grietas por esmerilado	07	10	15	20
	Grietas por fatiga	07	10	15	20
Plásticos	Grietas	03	05	10	15
Cerámicas	Grietas	03	05	10	15
Cerámicas	Porosidad	03	05	10	15
Herramientas de corte					
Extremos de carburo	Poca soldadura	03	05	10	15
Herramientas de corte	Grietas en el extremo	03	05	10	15
Herramientas de corte	Grietas en el acero (o grietas en el cuerpo)	03	05	10	15
Metales					
Fundición de molde permanente	Porosidad por contracción	03	05	10	15
Troquelado	Porosidad superficial	03	05	10	15
Troquelado	Traslapes en frío	03	20	10	20
Forjado	Grietas y traslapes	07	20	15	20
Metal rolado	Costuras	--	--	--	--
Soldadura de aluminio	Grietas y poros	03	05	10	15
Soldadura de acero	Grietas y poros	07	20	15	20

Tiempos de penetración para el proceso de penetrante visible posemulsificable.



MATERIAL Y PROCESO	DISCONTINUIDAD	TIEMPO DE PENETRACIÓN (MINUTOS)			
		TEMPERATURA		TEMPERATURA	
		60° F	90° F	35° F	60° F
Cualquier metal	Grietas por tratamiento térmico	03	05	10	15
Cualquier metal	Grietas por esmerilado	07	10	15	20
	Grietas por fatiga	07	10	15	20
Plásticos	Grietas	03	05	10	15
Cerámicas	Grietas	03	05	10	15
Cerámicas	Porosidad	03	05	10	15
Herramientas de corte					
Extremos de carburo	Poca soldadura	03	05	10	15
Herramientas de corte	Grietas en el extremo	03	05	10	15
Herramientas de corte	Grietas de acero	--	--	--	--
Metales					
Molde permanente para fundición	Porosidad por contracción	03	05	10	15
Colado a matriz (fundición)	Porosidad superficial	03	05	10	15
Colado a matriz (fundición)	Traslapes en frío	03	20	10	20
Forjado	Grietas y traslapes	07	20	15	20
Metal rolado	Costuras	07	20	15	20
Soldadura de aluminio	Grietas y poros	03	05	10	15
Soldadura de aceros	Grietas y poros	07	20	15	20

Tiempos de penetración para el proceso de penetrante Visible removible con solvente.



IMPERFECTION VS TYPE OF NDE METHOD

	Surface [Note (1)]		Sub-surf. [Note (2)]		Volumetric [Note (3)]				UTT
	VT	PT	MT	ET	RT	UTA	UTS	AE	
Service-Induced Imperfections									
Abrasive Wear (Localized)	●	○	○	○	●	○	○		○
Baffle Wear (Heat Exchangers)	●			○					
Corrosion-Assisted Fatigue Cracks	○	○	●		○	●		●	
Corrosion -Crevice	●								○
-General / Uniform				○	○		○		●
-Pitting	●	●	○		●	○	○	○	○
-Selective	●	●	○						○
Creep (Primary) [Note (4)]									
Erosion	●				●	○	○		○
Fatigue Cracks	○	●	●	○	○	●		●	
Fretting (Heat Exchanger Tubing)	○			○					○
Hot Cracking		○	○		○	○		○	
Hydrogen-Induced Cracking		○	○		○	○		○	
Intergranular Stress-Corrosion Cracks						○			
Stress-Corrosion Cracks (Transgranular)	○	○	●	○	○	○		○	
Welding Imperfections									
Burn Through	●				●	○			○
Cracks	○	●	●	○	○	●	○	●	
Excessive/Inadequate Reinforcement	●				●	○	○		○
Inclusions (Slag/Tungsten)			○	○	●	○	○	○	
Incomplete Fusion	○		○	○	○	●	○	○	
Incomplete Penetration	○	●	●	○	●	●	○	○	
Misalignment	●				●	○			
Overlap	○	●	●	○		○			
Porosity	●	●	○		●	○	○	○	
Root Concavity	●				●	○	○	○	○
Undercut	●	○	○	○	●	○	○	○	
Product Form Imperfections									
Bursts (Forgings)	○	●	●	○	○	○	○	●	
Cold Shuts (Castings)	○	●	●	○	●	○	○	○	
Cracks (All Product Forms)	○	●	●	○	○	○	○	●	
Hot Tear (Castings)	○	●	●	○	○	○	○	○	
Inclusions (All Product Forms)			○	○	●	○	○	○	
Lamination (Plate, Pipe)	○	○	○			○	●	○	●
Laps (Forgings)	○	●	●	○	○		○	○	
Porosity (Castings)	●	●	○		●	○	○	○	
Seams (Bar, Pipe)	○	●	●	○	○	○	○	○	

Legend: AE – Acoustic Emission
 ET – Electromagnetic (Eddy Current)
 MT – Magnetic Particle
 PT – Liquid Penetrant
 RT – Radiography
 UTA – Ultrasonic Angle Beam
 UTS – Ultrasonic Straight Beam
 UTT – Ultrasonic Thickness Measurement
 VT – Visual
 ● – All or most standard techniques will detect this imperfection under all or most conditions.
 ○ – One or more standard technique(s) will detect this imperfection under certain conditions.
 ○ – Special techniques, conditions, and/or personnel qualifications are required to detect this imperfection.

GENERAL NOTE: Table A-110 lists imperfections and NDE methods that are capable of detecting them. It must be kept in mind that this table is very general in nature. Many factors influence the detectability of imperfections. This table assumes that only qualified personnel are performing nondestructive examinations and good conditions exist to permit examination (good access, surface conditions, cleanliness, etc.).

NOTES:

- (1) Methods capable of detecting imperfections that are open to the surface only.
- (2) Methods capable of detecting imperfections that are either open to the surface or slightly subsurface.
- (3) Methods capable of detecting imperfections that may be located anywhere within the examined volume.
- (4) Various NDE methods are capable of detecting tertiary (3rd stage) creep and some, particularly using special techniques, are capable of detecting secondary (2nd stage) creep. There are various descriptions/definitions for the stages of creep and a particular description/definition will not be applicable to all materials and product forms.

Tabla de métodos de Ensayos No Destructivos y las imperfecciones que se pueden localizar con cada uno de ellos



ABRACION.- Desgaste de una pieza utilizada por medio de la fricción.

ACERO DUCTIL.- acero que soporta grandes deformaciones plásticas antes de su falla.

ACIDEZ.- Exceso de hidrogeno en una disolución acuosa, en relación con los que existen en el agua pura.

ALCALINIDAD.- La alcalinidad es una medida de la capacidad del agua para neutralizar los ácidos.

ANILLOS RIGIDIZANTES.- Son refuerzos para evitar que el tanque sufra alguna deformación si las placas del cuerpo es delgada.

ARCILLA.- Roca sedimentaria plástica formada principalmente por un silicato aluminico.

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.

BOYA.- sirve para que el techo pueda flotar y no se hunda en el producto.

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

CAMISAS.- Pieza de metal en la que se apoya o gira cualquier eje.

CAPAS PASIVAS.- película delgada transparente de oxido de cromo sobre la superficie del acero y excluye la oxidación. En caso de que ocurra daño mecánico o químico, esta película es auto-reparable en presencia de oxígeno.

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

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

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

CÓDIGO.- Conjunto de mandatos dictados por una autoridad competente.

CODUCTIVIDAD ELÉCTRICA.- propiedad del material para transmitir calor o electricidad.

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.



DEFECTO.- Una o mas discontinuidades las cuales por su tamaño, forma orientación, localización o propiedades no cumplen el criterio de aceptación y son rechazables. Es una discontinuidad la cuál interfiere con la utilidad de la pieza.

DENSIDAD RELATIVA.- Masa del cuerpo por unidad de volumen.

DESHUMIDIFICACION.- Se define a la deshumidificación como la remoción del vapor húmedo del aire para disminuirlo a punto de rocío. Es el medio para controlar las condiciones ambientales de trabajo, y como impide la corrosión del acero e inhibe la oxidación.

DESMINERALIZADA.- Sin elementos minerales como el potasio o calcio.

DESPOLARIZAR.- Remover la polarización.

DISCONTINUIDAD.- Es una interrupción intencional o no intencional en la estructura física o configuración de un material o componente tal como grietas, traslapes, costuras, inclusiones, porosidades, etc. Una discontinuidad podría o no afectar la utilidad de una pieza.

DRENES.- Salida de los líquidos del tanque.

EFICIENCIA DE JUNTAS SOLDADAS.- Valor numérico dado por el Código o Estándar correspondiente (Grado de Confiabilidad).

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (END).- Es un proceso que involucra la inspección, prueba o evaluación de materiales, componentes y ensambles para detectar discontinuidades en, materiales, propiedades y problemas de maquinaria sin dañar o alterar la funcionalidad de las piezas.

ESPESOR REMANENTE.- Es la diferencia de espesores entre el obtenido en la última medición y el límite de retiro.

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

EVALUACIÓN.- Es determinar si una indicación relevante cumple o no el criterio de aceptación especificado. Es la acción de comparar las dimensiones o características de una indicación contra un estándar de aceptación que impone el documento aplicable, se lleva a cabo después que la indicación ha sido interpretada.

FALLA.- Es una imperfección o discontinuidad que puede ser detectable por ensayos no destructivos y no es necesariamente rechazable.

FALTA DE FUSION.- Es una soldadura discontinua en la que la fusión hecha no ocurre entre el metal soldado y caras de fusión o colineales con los cordones de la soldadura.



FATIGA.- es la tendencia de un metal a fallar por agrietamiento o fractura al ser sometido a condiciones de esfuerzo cíclico repetido.

HUMEDAD.- Medida del contenido de agua en la atmósfera.

INDICACION FALSA.- Una indicación que se interpreta ser causada por una discontinuidad en una localización donde no existen discontinuidades. Es causada por una aplicación incorrecta de la técnica de inspección o por un sistema de inspección en mal estado.

INDICACION NO RELEVANTE.- Es causada por la configuración geométrica, cambios de estructura o acabado superficial de la pieza o componente. No tiene ninguna relación con una discontinuidad o defecto. Es causada por la pieza, pero no es debida a una imperfección que requiera evaluación.

INDICACION RELEVANTE.- Una indicación que es causada por una condición o tipo de discontinuidad que requiere evaluación. Una indicación relevante (verdadera) puede ser aceptable o inaceptable, dependiendo de los estándares de aceptación aplicables.

INDICACION.- Es la respuesta que se obtiene al aplicar algún método de inspección de END, ya sea la concentración de partículas, el sangrado del penetrante, una señal ultrasónica, el cambio de densidad en una radiografía, etc., y que requiere ser interpretada para determinar su significado.

INTERPRETACION.- Es determinar si una indicación es relevante, no relevante o falsa; es determinar su origen o causa. Es determinar el tipo de discontinuidad causante de la indicación. Primero se hace la interpretación y después la evaluación.

LEGAMO.- Lodo

MARGA.- Roca compuesta por carbonato de cal y arcilla

METALES NOBLES.- Son metales químicamente inactivos.

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

PARTICULAS ABRASIVAS.- Sustancias muy duras.

PERFIL DE CORONAMIENTO.- Es el perfil superior del tanque donde se sujetan las placas del techo

PERMEABILIDAD.- Capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna.



PH.- Medida que indica la concentración de iones hidrogeno H^+ presentes en el agua. Siendo los iones hidrogeno receptores de los electrones que salen de un metal cuando este se corroe.

PIEZOELECTRICO.- Material que tiene la propiedad de transformar pulsos eléctricos en vibraciones ultrasónicas de alta frecuencia y viceversa.

PLACAS NORMALIZADAS.- Contienen cierto análisis químico cuantitativo y cualitativo.

POLARIZACIÓN.- Magnitud de la variación de potencial de circuito abierto en un electrodo causado por el paso de corriente eléctrica.

PONTON.- el ponton se localiza en el techo y sirve principalmente para nivelar el techo para que a la salida del producto y el oleaje que provoca la misma lo estabilice y no se mueva, además de darle rigidez.

POROS.- Los poros se definen como una discontinuidad tipo cavidad formado por gas atrapado durante la solidificación. Los poros pueden estar en la superficie o subsuperficialmente. Los poros son generalmente de forma esférica y pueden estar de forma alineada, agrupados, dispersos etc.

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 ha 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.

PROTECCIÓN CATÓDICA.- Procedimiento eléctrico para proteger las estructuras metálicas enterradas ó sumergidas contra la corrosión, el cual consiste en establecer una diferencia de potencial para que convierta a las estructuras metálicas en cátodo, mediante el paso de corriente eléctrica proveniente del sistema de protección seleccionado.

PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS (PND).- Es la aplicación de métodos físicos indirectos, como es la transmisión del sonido, la opacidad al paso de la radiación, que tienen por finalidad verificar la sanidad de un material, sin alterar de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales si no verificar su homogeneidad y continuidad.



RASQUETA.- *Planchuela de hierro, de cantos afilados y con mango de madera, que se usa para raer (raspar) y limpiar.*

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

RESISTENCIA ELÉCTRICA.- *Propiedad de un objeto o sustancia que hace que se resista u oponga al paso de una corriente eléctrica.*

RESISTIVIDAD ELECTRICA.- *Magnitud característica que mide la capacidad de un material para oponerse al flujo de una corriente eléctrica.*

RF.- *Radio Frecuencia.*

RODAPIE.- *Base que se utiliza para sostener la escalera.*

SOCAVADOS.- *Un socavado es una ranura disuelta en el metal base adyacente al pie de la soldadura o a la cara de la soldadura y hacia la parte izquierda no rellena por metal soldado. Estas ranuras crean una muesca mecánica que es un concentrador de esfuerzos.*

SOLDADURAS BLANDAS.- *En las soldaduras blandas utilizan metales de aportación cuyo punto de fusión es inferior a los 450 °C como las aleaciones de plomo y estaño y en ocasiones, pequeñas cantidades de bismuto.*

SUMIDEROS.- *Coladera que se utiliza para el desagüe de líquidos o productos.*

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

TEMPLE.- *Es un proceso básico para endurecer el acero mediante tratamiento térmico consiste en calentar el metal hasta una temperatura a la que se forma austenita, generalmente entre los 750 y 850 °C, y después enfriarlo con rapidez sumergiéndolo en agua o aceite.*

TRANSDUCTOR.- *Es un elemento del equipo que contiene al o los elementos piezoeléctricos.*

VENTEOS.- *Sacar o arrojar los gases hacia el aire.*



REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

Welded Steel Tanks for oil Storage
(**API STANDARD 650**)
Publication of American Petroleum Institute.
Tenth Edition, November 1998
Addendum, 4 December de 2005
Washington, D.C.

Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction
(**API STANDARD 653**)
Publication of American Petroleum Institute.
Third Edition, December 2001
Addenda, 2 November 2005
Washington, D.C.

Basic Corrosion Course
(**NACE INTERNACIONAL**) The Corrosion Society
Publication of National Association of Corrosion Engineers
January, 2003

Recognized and Prevention of Corrosion
(**NACE INTERNACIONAL**) The Corrosion Society
Publication of National Association of Corrosion Engineers
February, 2005

Guide for the Visual Examination of Welds
(**AWS B1.11**)
Publication of American Welding Society
Approved by American National Standards Institute
January 7, 2000

Standard Practice for Measuring Thickness by Manual Ultrasonic Pulse-Echo
(**ASTM INTERNATIONAL, E-797**)
Publication of American Society of Testing Materials
Edition 2005

Standard Specification for Straight Beam Examination of Steel Plates
(**ASTM INTERNARTIONAL, A-435**)
Edition 2003

Standard test method for liquid penetrant examination
(**ASTM INTERNATIONAL, E-165**)
Edition 2003



Standard Guide for Magnetic Particle Examination
(**ASTM INTERNATIONAL**, E-709)
Edition 2001

Standard Practice for Ultrasonic Contact Examination of Weldments
(**ASTM INTERNATIONAL**, E-164)
Edition 1997

Visual Examination
(**ASME BPV CODE**, Section V, Article 9)
Edition 2004 Addenda 2005

Ultrasonic Examination Methods for Welds
(**ASME, BPV CODE**, Section V, Article 4)
Edition 2004 Addenda 2005

Ultrasonic Examination Methods for Materials
(**ASME, BPV CODE**, Section V, Article 5)
Edition 2004 Addenda 2005

Liquid Penetrant Examination
(**ASME, BPV CODE**, Section V, Article 6)
Edition 2004 Addenda 2005

Methods for Liquid Penetrant Examination
(**ASME, BPV CODE**, Section VIII, Div. 1 Appendix 8)
Edition 2004 Addenda 2005

Magnetic Particle Examination
(**ASME, BPV CODE**, Section V, Article 7)
Edition 2004 Addenda 2005

Methods for Magnetic Particle Examination
(**ASME, BPV CODE**, Section VIII, Div. 1 Mandatory Appendix 6)
Edition 2004 Addenda 2005