



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA

APLICACION DE ENSAYOS NO
DESTRUCTIVOS EN RECIPIENTES SUJETOS
A PRESION, LIQUIDOS PENETRANTES Y
ULTRASONIDO (CASO PRACTICO)

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

**ERNESTO VILLANUEVA SANTACRUZ
MARCOS INOCENTE ESCANDON CARMONA**



DIERCTOR: I.Q. DOMINGA ORTIZ BAUTISTA



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

ZARAGOZA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

OFICIO: FESZ/JCIQ/ 097/11

ASUNTO: Asignación de Jurado



Alumno (a): VILLANUEVA SANTACRUZ ERNESTO MANCOMUNADA CON ESCANDÓN CARMONA MARCOS INOCENTE

PRESENTE

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

PRESIDENTE	I. Q. EDUARDO VÁZQUEZ ZAMORA
VOCAL	I. Q. RAUL RAMÓN MORA HERNÁNDEZ
SECRETARIO	I. Q. JOSÉ ANTONIO ZAMORA PLATA
SUPLENTE	I. Q. DOMINGA ORTIZ BAUTISTA
SUPLENTE	M. en C. FAUSTO CALDERAS GARCÍA

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”
México D.F., a 25 de marzo de 2011

JEFE DE CARRERA

DR. ROBERTO MENDOZA SERNA





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

ZARAGOZA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

OFICIO: FESZ/JCIQ/ 098/11

ASUNTO: Asignación de Jurado

**Alumno (a): ESCANDÓN CARMONA MARCOS INOCENTE MANCOMUNADA
CON VILLANUEVA SANTACRUZ ERNESTO**

PRESENTE

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

PRESIDENTE	I. Q. EDUARDO VÁZQUEZ ZAMORA
VOCAL	I. Q. RAUL RAMÓN MORA HERNÁNDEZ
SECRETARIO	I. Q. JOSÉ ANTONIO ZAMORA PLATA
SUPLENTE	I. Q. DOMINGA ORTIZ BAUTISTA
SUPLENTE	M. en C. FAUSTO CALDERAS GARCÍA

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”
México D.F., a 25 de marzo de 2011

JEFE DE CARRERA

DR. ROBERTO MENDOZA SERNA





AGRADECIMIENTOS.

Ernesto Villanueva Santacruz.

A dios: Por llenar mi vida de dicha y bendiciones.

A mis padres: A quienes agradezco de todo corazón por darme la vida, una maravillosa formación, por su paciencia, apoyo y todo su amor. Porque ellos saben que todos los logros obtenidos son resultados de todo su esfuerzo. ¡¡MIL GRACIAS PAPAS!!

A Lis mi esposa: Que agradezco el apoyo incondicional, paciencia y el amor brindado durante todos estos años, siempre con la fiel idea de seguir juntos y ahora con Mayrín nuestra hija, tenemos una motivación mayor para luchar por una vida feliz.

Agradezco a mis hermanas Adriana y Genoveva por la compañía y el apoyo que me brindan. Sé que cuento con ellas por siempre, agradezco también a mis sobrinos Adrián Lupita y Chucho.

A mi hermana Lulú[†]: Por todos los momentos felices y a quien me hubiese gustado que disfrutara de los logros obtenidos, pero que partió a un lugar donde algún día nos volveremos a encontrar.

A mis familiares: por la confianza y el afecto mostrado: María de la luz, Jesús Santacruz Aurora García, Javier Vega[†], Everardo García, Lilia Flores, Trinidad Manzanares, Caritína, Raúl, Agustín, Ricardo Santacruz, Concepción Flores, Eréndira, Berenice, Ricardo Jr., Gerardo, Mónica, Javier, Olimpia Irving, Gual, Bibiana.

A mis suegros y cuñadas por el confianza y cariño expresado durante los últimos años.

A mis amigos por la confianza y lealtad: Juan Carlos Cervantes, Pablo Aparicio, Manuel Gutiérrez, Jorge Cruz, Marcos Escandón, Omar Ortega, Oscar Eudoxio[†], Jesús Godínez, Mario Alanís, Fany, Luis Galván, Dulce, Jesús Godínez, Mariana y Esaú Antonio.

A Tecsein: Por la valiosa colaboración y apoyo brindado antes, durante y después de mis estudios, no solo de forma profesional, en especial al Ing. Jesús Andraca, Lic. Graciela Andraca y un abrazo para todos mis compañeros y amigos, América Herrera, Rosangel Torres, Ing. Graciela Andraca, Isaí Molina, Enoc Carvajal y Sr. Hortensia Vera.

Para Ahidzat: Representada por el Ing. Calos Rojo quien colaboro de forma invaluable en el presente trabajo, así como sus colaboradores Lic. Olga, Luis, Jesús y Camilo Benítez.

A mis maestros: Por su disposición y ayuda brindada durante y después de los estudios realizados en esta nuestra facultad, en especial a la Ing. Dominga Ortiz por su valiosa colaboración.

¡Gracias!

¡¡MEXICO, PUMAS, UNIVERSIDAD!!
GOOYA GOYA...CACHUN CACHUN... RA RA ...



DEDICATORIAS

Marcos Inocente Escandón Carmona.

La Presente Tesis se la dedico:

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto, por haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

Con mucho Cariño a mi Padre Catarino por brindarme los recursos necesarios y estar a mi lado apoyándome constantemente, a mi Madre Marcelina por apoyarme y estar aconsejándome siempre. Por ellos que han hecho de mí una mejor persona a través de sus consejos, enseñanzas, comprensión y amor, por todo esto les agradezco de todo corazón el que estén a mi lado.

A mis hermanos y sobrinas, Cuauhtémoc, Miguel Ángel, Cesar, Paola y Fernanda por su amor y cariño que me brindan, gracias por apoyarme siempre, los quiero mucho. A mis cuñadas por estar siempre conmigo.

A mi hermosa y futura esposa Dayra que gracias a su comprensión y apoyo daremos un paso más hacia la realización de nuestro futuro ya que con nuestro amor y perseverancia siempre estaremos juntos.

AGRADECIMIENTOS.

A mis tíos y primos que siempre han estado presentes para apoyarme incondicionalmente, gracias a Mi Tía Isabel, Mi Tío Raúl, Mi Tía Ignacia, Mi Primo Ernesto, Mi Primo Armando, Mi Prima Esmeralda, Mi Prima Graciela y Mi Primo Israel.

A todos mis amigos y compañeros de la facultad quienes me acompañaron en esta trayectoria de aprendizaje y conocimientos, gracias a Ernesto, Jorge, Yoana Omar, Miguel, Eduardo, Sairi, Yazmín, Araceli, Alfonso, Pablo, y a mi Carnal Oscar que Dios lo tenga en su Santa Gloria.

Un agradecimiento especial a mi Directora de Tesis, Profesora Dominga que gracias a su apoyo, así como la sabiduría que nos transmitió en el desarrollo de mi formación profesional.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, en especial a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza que me abrieron las puertas del conocimiento y ser parte de tan grandiosa institución.

¡Gracias!



INDICE

RESUMEN.....	9
JUSTIFICACION.....	10
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
OBJETIVOS GENERALES.....	12
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	12
CAPITULO I.....	13
TECNICAS EXISTENTES EN ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	13
1. Pruebas No Destructivas (PND o END).....	14
1.1 Clasificación de las Pruebas No Destructivas.....	15
1.1.1 Pruebas No Destructivas Superficiales.....	15
1.1.2 Pruebas No Destructivas Volumétricas.....	15
1.1.3 Pruebas No destructivas de Hermeticidad.....	15
1.2 Inspección Visual.....	15
1.3 Líquidos Penetrantes. (Liquid Penetrant Testing – PT).....	16
1.4 Partículas magnéticas (Magnetic Particle Testing – MT).....	17
1.5 Corrientes Electromagneticas (Eddy Current Testing – ET).....	18
1.6 Radiografiado Industrial (Radiographic Testing – RT).....	18
1.7 Ultrasonido Industrial.....	20
CAPITULO II.....	22
FUNDAMENTO FISICO Y DESCRIPCION DE LA TECNICA.....	22
<i>LIQUIDOS PENETRANTES</i>	22
2. El proceso de los líquidos penetrantes.....	23
2.1 Preparación de la superficie.....	23
2.2 Métodos de limpieza.....	23
2.2.1 Limpieza por medios químicos.....	24
2.2.2 Limpieza por métodos mecánicos.....	24
2.2.3 Limpieza con solventes.....	24
2.3 Aplicación de penetrante.....	25
2.3.1 Por inmersión.....	25
2.3.2 Por aspersion, atomización ó rociado.....	25
2.3.3 Aplicación con brocha, pincel ó rodillo.....	25
2.4 Tiempo de penetración.....	26
2.5 Remoción del exceso de penetrante.....	27
2.6 Aplicación de revelador.....	27
2.7 Inspección.....	28
2.8 Limpieza final.....	28
2.9 Clasificación de tipos y métodos de prueba por líquidos penetrantes.....	29



2.9.1 Líquidos penetrantes lavables con agua, método A tipo I y II,.....	30
2.9.2 Líquidos penetrantes fluorescentes post-emulsificables método B, tipo I, (lipofílico); y tipo I, método D (hidrofílico).....	31
2.9.3 Líquidos penetrantes removibles con solvente, método C tipo I y II,.....	32
2.10 Características de los materiales (penetrante)	33
2.10.1 Penetrantes fluorescentes.	33
2.10.2 Penetrantes visibles.....	33
2.10.3 Penetrante lavable con agua.....	33
2.10.4 Penetrante post-emulsificable.....	33
2.10.5 Agentes emulsificantes.	34
2.10.6 Penetrante removible con solvente.	34
2.11 Características de los materiales (revelador).....	35
2.11.1 El revelador.	35
2.11.2 Propiedades de los reveladores.	35
2.11.3 Tipos de reveladores.	35
2.11.3.1 Reveladores secos.	36
2.11.3.2 Reveladores en solución acuosa.	36
2.11.3.3 Reveladores en suspensión.....	36
2.11.3.4 Reveladores en suspensión acuosa.....	36
2.11.3.5 Reveladores en suspensión no acuosa.	36
2.12 Iluminación durante la inspección.....	37
2.12.1 Fuentes de luz normal (blanca ó visible).....	37
2.12.1 Niveles de iluminación para el penetrante visible.	37
2.12.2 Empleo de luz ultravioleta en la inspección con penetrantes fluorescentes.....	37
2.13 Interpretación de indicaciones.....	38
2.13.1 Interpretación de los resultados de la inspección.	38
2.13.2 Clasificación de las discontinuidades de acuerdo a su origen.....	39
2.13.3 Discontinuidades inherentes.	39
CAPITULO III	42
FUNDAMENTO FISICO Y DESCRIPCION DE LA TECNICA.	42
<i>ULTRASONIDO</i>	42
3. ULTRASONIDO INDUSTRIAL.....	43
3.1 Principios Básicos.....	43
3.2 Física del Ultrasonido.....	44
3.2.1 Ondas Mecánicas.....	44
3.2.2 Consideración de la Longitud de Onda en la Detección de Discontinuidades.....	46
3.2.3 Propagación de Ondas Mecánicas.....	46
3.2.4 La velocidad del sonido.	48
3.2.5 Impedancia acústica.	49
3.2.6 Coeficientes de transmisión y reflexión.	49



• Refracción y Ley de Snell.	50
• Conversión de Modo.	51
• Angulos críticos.	52
3.2.7 Atenuación.....	53
3.3 Transductores Ultrasónicos.	54
3.3.1 Características de los transductores.	55
3.3.2 Tipos de transductores.	55
• Transductores de contacto.....	55
• Transductores duales	56
• Transductores de haz angular.....	57
3.4 Cable Coaxial.	57
3.5 Haz Ultrasónico.....	57
3.5.1 Divergencia del Haz Ultrasónico.....	59
3.6 Equipos Ultrasónicos	60
3.6.1 Medidores de espesores.....	61
3.7 Acoplante.....	63
3.8 Inspección con haz recto.....	64
3.9 Calibración con haz recto.....	65
3.10 Detección de discontinuidades.....	66
3.11 Métodos de evaluación.....	67
CAPITULO IV.....	68
PROCEDIMIENTO DE EVALUACION Y RESULTADOS DE LA INSPECCION POR LIQUIDOS PENETRANTES (CASO PRACTICO)	68
4.1 Ficha técnica del equipo.....	69
4.2 Procedimiento de evaluación.....	70
4.3 Reporte de resultados de la inspección.....	80
4.4 Resultados.....	83
CAPITULO V.....	85
PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS DE LA INSPECCION POR ULTRASONIDO, MEDICION DE ESPESORES (CASO PRACTICO).....	85
5.1 Procedimiento de evaluación.	86
5.2 Reporte de resultados de la inspección.....	98
5.3 Resultados.....	102
Conclusiones.....	103
Bibliografía.....	104



RESUMEN

Dentro de la formación del Ingeniero químico se puede observar que las oportunidades de desarrollo son demasiado amplias, ya que se encuentra altamente capacitado para resolver problemas de diversa índole. El presente trabajo propone una área más de desarrollo, para el estudiante y profesionista que inicia sus actividades en el campo laboral, este campo es el de Pruebas No Destructivas (PND) a Recipientes Sujetos a Presión, son avaladas por los códigos ASME y ASTM, mismos que servirán como guía en la realización de las pruebas. La Seguridad Industrial es un área más que sirve para el desarrollo del I.Q., ya que el determinar el buen funcionamiento y la sanidad de los equipos sujetos a presión, representa una minimización del riesgo muy importante promoviendo la seguridad de los trabajadores y del centro de trabajo.

En este escrito se mencionan las técnicas existentes de PND y se incluye un caso práctico aplicado en la industria farmacéutica que de acuerdo con su proceso requiere de aire comprimido, mismo que es suministrado por un tanque de almacenamiento de aire que se encuentra operando a una presión de 7 kg/cm^2 con una capacidad de 4000 litros de tipo vertical con tapas semielípticas y costura en el cuerpo fabricado en acero al carbón, el cual fue evaluado para garantizar la seguridad de funcionamiento por medio de las técnicas de superficie y volumen, (Líquidos penetrantes visibles removibles con solvente tipo IIC y medición de espesores por ultrasonido), respectivamente.

Para realizar las pruebas se desarrollaron procedimientos con apego a los requisitos establecidos en las normas ASTM E-165 y ASTM E-797 que permitieron tener éxito en los resultados, todo esto tomando en consideración los criterios de aceptación establecidos en el código ASME sección V.

Una vez realizadas las PND de acuerdo con lo establecido por los métodos de prueba y según los reportes realizados que se encuentran en el presente trabajo se determina que el equipo instalado dentro de la empresa es seguro para continuar con su operación.



JUSTIFICACION.

En la actualidad la seguridad en la industria tiene un enfoque de gran importancia ya que la utilización de recipientes sujetos a presión (compresores, calderas, hidroneumáticos, reactores, etc.) representan un riesgo latente para la integridad de los trabajadores, así como del mismo centro de trabajo, por ello es necesario vigilar el correcto funcionamiento de estos equipos.

Por ello la importancia de la aplicación de métodos técnicos para detectar, localizar, medir, interpretar y evaluar las fallas o discontinuidades en los recipientes sujetos a presión son clasificadas en dos rubros:

- Ensayos destructivos.
- Ensayos no destructivos.

En los ensayos destructivos los equipos a evaluar son sometidos a una presión del 10% por arriba de la presión de operación, alterando o dañando las paredes del equipo, en dichos ensayos se pueden determinar discontinuidades o fallas si hay presencia de fugas o caídas de presión en los equipos evaluados.

Para los ensayos no destructivos en los cuales se pueden determinar las discontinuidades y fallas sin alterar o destruir los equipos a evaluar, dentro de estos ensayos se debe evaluar la superficie o el volumen del material del que está fabricado el equipo.

Por lo que la función principal de la realización de los diferentes tipos de ensayos, es la de detectar discontinuidades o fallas en los equipos con el objetivo de determinar si estos equipos pueden seguir operando o no, con la finalidad de salvaguardar la integridad de los trabajadores y del inmueble.

Cabe mencionar que el elemento legal en nuestro país en el cual se fundamenta el funcionamiento de los equipos, recipientes sujetos a presión y generadores de vapor o calderas instalados en los centros de trabajo se encuentra en el Reglamento Federal de Seguridad e Higiene y Medio Ambiente de Trabajo, Capítulo Tercero Artículos 29 al 34, así como a la Norma Oficial Mexicana NOM-020-STPS-2002, referente a los recipientes sujetos a presión y calderas, funcionamiento. Misma que indica los requisitos de evaluación para obtener la autorización de funcionamiento de recipientes a presión además de sus dispositivos y medidas de seguridad.



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

A través de los años en la industria a nivel mundial se han registrado un sin número de accidentes generados por el mal estado de los equipos a presión, dichos accidentes han cobrado bienes materiales y humanos, de ahí la importancia de generar métodos o técnicas que permitan determinar el estado de los equipos en operación, con el objeto de determinar en qué momento los equipos han cumplido con su vida útil.

Ante esta problemática existen diferentes formas de evaluar las condiciones de los equipos sujetos a presión como los son:

- Pruebas de Hermeticidad (Presión)
 - Integridad Mecánica.
 - Pruebas No Destructivas (PND o END).
- { Superficie
Volumen

Estas últimas son el objeto de estudio del presente trabajo ya que estas ofrecen amplias ventajas en la determinación y evaluación de discontinuidades de un recipiente a presión, ya que la correcta aplicación de dichas pruebas tienen la capacidad de emitir resultados confiables que ayudan a los técnicos especializados a tomar decisiones de rechazar o aceptar la operación del equipo evaluado.

Cabe señalar que existen un gran número de técnicas de PND, siendo todas ellas de gran aplicación, para este caso práctico se aplicarán técnicas de Superficie y Volumen (Líquidos Penetrantes y Ultrasonido Industrial medición de espesores)

Los Líquidos Penetrantes son considerados como una técnica de superficie y aun cuando es una técnica relativamente sencilla cuyo fundamento físico es la capilaridad, se deben considerar diferentes factores que permiten el éxito de la evaluación. Para llevar a cabo esta técnica se desarrollan procedimientos, fichas técnicas, especificación de materiales, determinación de criterios de aceptación y rechazo, es importante mencionar que la aplicación de todo lo anterior cumple con la normatividad aplicable como el código ASME sección V.

En tanto el Ultrasonido Industrial (medición de espesores) es una técnica que forma parte de las PND de volumen, siendo una de las más utilizadas y con un alto grado de dificultad, ya que el personal involucrado debe contar con amplia experiencia comprobable. Esta técnica se basa en la detección de cambios de impedancia acústica en materiales, de igual forma se realizarán procedimientos escritos que ayudaran al técnico evaluador a obtener el éxito durante la prueba.



Este trabajo contempla realizar en campo las dos técnicas antes descritas, se aplicarán en un tanque pulmón con capacidad de 4000 litros, cuya presión de operación es de 7 kg/cm² y cuenta con 12 años de operación. Los resultados de la evaluación del recipiente contemplan tomar la decisión de continuar con su operación o sustituirlo para evitar cualquier accidente.

OBJETIVOS GENERALES.

- Comprender y aplicar correctamente los procedimientos para Pruebas No Destructivas en recipientes a presión por medio de los métodos de superficie y volumen (líquidos penetrante y ultrasonido industrial medición de espesores)
- Adquirir experiencia en la aplicación de las PND y dar cumplimiento con los requerimientos establecidos en la práctica recomendada SNT-TC-1A-2006, para ser personal capacitado y autorizado en la aplicación de dichas pruebas.
- De acuerdo con los resultados obtenidos de las pruebas a realizar determinar si el equipo evaluado aún se encuentra en condiciones seguras de operación.
- Determinar por medios de los Ensayos No Destructivos (END) las condiciones actuales del equipo a evaluar a fin de garantizar la operación segura y evitar riesgos para los trabajadores y el centro de trabajo.

OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Aplicar las técnicas y códigos establecidos, para tener éxito en la determinación de discontinuidades y medición de espesores.
- Determinar las condiciones actuales de operación del equipo evaluado.
- Desarrollar procedimientos que describan la secuencia de las técnicas, esto con el fin de facilitar al personal interesado y que inicia su desarrollo en el campo de los Ensayos No Destructivos.
- Aplicar correctamente los criterios de aceptación y rechazo para sustentar la decisión continuar operando el equipo o que este sea sustituido por uno nuevo que represente menor riesgo.
- Obtener por medio de un organismo certificador las autorizaciones y el reconocimiento de personal capacitado para efectuar las PND.



CAPITULO I

TECNICAS EXISTENTES EN ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS



1. Pruebas No Destructivas (PND o END)

Las pruebas no destructivas son la aplicación de métodos físicos indirectos que tienen por finalidad verificar la sanidad de un material, sin alterar de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales, dichas pruebas pueden ser utilizadas en diversos sectores industriales como la industria química, petroquímica, energética, alimenticia, farmacéutica, metalúrgica etc. son de gran utilidad en las tareas de mantenimiento preventivo, predictivo y productivo, asimismo son una parte importante del control de calidad para la fabricación de piezas y elementos que serán sometidos a cargas y esfuerzos mecánicos. Por ejemplo la industria de la energía confía considerablemente en la transferencia, intercambio y acumulación de calor, a través de varios estados de agregación del agua. Primero se fabrican tuberías y recipiente sujetos a presión. Después, estos elementos tras varios años de operación y sometidos a esfuerzos, corrosión, erosión, etc. pueden provocar una falla durante su operación, de ahí la necesidad de verificar periódicamente las condiciones en que se encuentran dichos equipos, para ello podemos echar mano de las Pruebas No Destructivas.

La aplicación de una prueba no destructiva en el material en bruto, antes de la fabricación, durante la fabricación y por exámenes programados periódicamente durante la vida útil del equipo, se considera como apropiada.

También, las discontinuidades de fabricación, durante el proceso de soldadura, son muy importantes. Ya sea en la aplicación de soldadura o durante la vida de servicio, las discontinuidades pueden ser prevenidas o removidas. Durante el servicio, el inspector debe diferenciar entre fallas de fabricación, como porosidades, escoria, socavados y fallas de servicio, como desgaste, grietas por erosión, corrosión, etc.

En la industria del transporte existe un cambio mayor en el análisis de integridad, pues va desde la presión contenida y los ambientes corrosivos hasta los esfuerzos por cargas y la fatiga de los componentes en los sistemas de transporte y el uso del aluminio, manganeso, tungsteno, etc. acentúan las grietas por fatiga y el desgaste.

Las infraestructuras, como edificios, puentes, túneles, monorrieles, etc. están más enfocadas a la integridad estructural de columnas de soporte, vigas, paredes y la obstrucción de conductos en alcantarillas o sistemas de transferencia de fluidos (conductos o tubería).

Las aplicaciones en la industria del acero requieren la detección de fallas inherentes y las pérdidas en dimensiones sobre la base de un volumen grande.



1.1 Clasificación de las Pruebas No Destructivas.

Existe una variedad de Ensayos No destructivos que han sido utilizados por décadas y con el paso del tiempo se han desarrollado nuevas formas de detectar discontinuidades. En la actualidad existen trece técnicas establecidas en la Práctica Recomendada SNT-TC-1A-2006, pero de acuerdo con la a Norma NMX-B482-1991 (vigente en nuestro país) solo se contempla nueve métodos divididos en los siguientes grupos:

1.1.1 Pruebas No Destructivas Superficiales.

Nos permiten encontrar discontinuidades expuestas en la superficie del material de prueba, entre ellas encontramos a la Inspección Visual (VT), Líquidos Penetrantes (PT), Partículas Magnéticas (MT), Electromagnetismo (ET).

1.1.2 Pruebas No Destructivas Volumétricas.

Este tipo de pruebas nos proporcionan información de la integridad interna de los materiales inspeccionados, se consideran a la Radiografía (RT), Ultrasonido Industrial UT), Emisión Acústica (AE) y Radiografiado con Neutrones (NRT).

1.1.3 Pruebas No destructivas de Hermeticidad.

Para los recipientes o elementos sometidos a presión, encontramos los de tipo de pruebas que nos proporcionan datos sobre su integridad, los distintos tipos existentes son: Prueba Neumática, Prueba Hidrostática, Prueba de Burbuja, Prueba de fuga, Prueba con Espectrómetro de Masas.

Los métodos de Pruebas No Destructivas Tienen Ventajas y limitaciones; su principal ventaja es que se pueden complementar entre sí, **lo que en uno es limitación en otro es una ventaja**, en la evaluación de una parte o componente, al menos se debe aplicar un método **Superficial** y un método **Volumétrico**.

1.2 Inspección Visual

La inspección visual fue el primer método de Pruebas no Destructivas empleado por el hombre. Hoy en día, la inspección visual se encuentra entre los principales procedimientos de inspección para detectar y evaluar discontinuidades. Desde sus orígenes, se ha desarrollado una variedad de técnicas difíciles y complejas, además de realizar variadas investigaciones de óptica.

Debe ser el primer método de PND aplicado. El procedimiento de prueba es: limpiar la Superficie, una iluminación adecuada y observación. Un prerequisite para llevar a cabo la inspección visual es: conocer el proceso de fabricación de la



pieza, historia de servicio, modos potenciales de falla y experiencia en la industria relacionada.

Los accesorios que son utilizados para observar el interior de objetos son llamados “endoscopios”, que viene de las palabras Griegas “ver el interior”. En la actualidad el término “endoscopio” se aplica a instrumentos médicos. Los endoscopios industriales son llamados “boroscopios”, porque originalmente fueron utilizados en aperturas de máquinas y huecos tales como los cañones de armas.

1.3 Líquidos Penetrantes. (Penetrant Liquid Testing – PT)

Un antecedente que se tiene de la inspección por líquidos penetrantes, durante la Revolución Industrial en la Europa del siglo XIX, es la detección de grietas superficiales en ruedas y ejes de ferrocarril. Se dice que en las prácticas antiguas de inspección, las piezas eran sumergidas en aceite, posteriormente se limpiaban y se esparcían con un polvo (una mezcla de talco y alcohol). Cuando una grieta estaba presente, el aceite que se había filtrado en la discontinuidad, mojaba el polvo que se había esparcido, indicando que el componente estaba dañado. Esto condujo a formular nuevos aceites que serían utilizados específicamente para realizar estas y otras inspecciones; esta técnica de inspección ahora se llama prueba por líquidos penetrantes.

Los líquidos desarrollados para utilizarse en esta técnica, actualmente, han sido mejorados con la adición de tintes colorantes fluorescentes o visibles, para lograr un contraste con el color de las piezas inspeccionadas y poder identificar mejor alguna discontinuidad presente. Además han sido tratados para que no reaccionen químicamente con la superficie de las piezas de inspección, así como mejorar las propiedades de humedad, viscosidad, cohesión, adhesión, entre otras.

La aplicación de esta técnica es relativamente sencilla, aunque se deben considerar varios factores en la elección de tipos de materiales penetrantes. Además existen seis pasos muy importantes que se deben seguir para asegurar una correcta aplicación de los líquidos penetrantes.

Para la correcta elección del líquido a utilizar y el revelador, además del tiempo correcto de limpieza y revelado, se puede recurrir a los distintos procesos de inspección que están establecidos en algunas normas para aplicaciones específicas. Los documentos más comunes consideran generalmente dos grupos para su clasificación: procesos que utilizan penetrantes fluorescentes y otros que utilizan penetrantes visibles. Además existen diversos métodos que combinan el



tipo de penetrantes de acuerdo a la forma en que son removidos ya sean lavables con agua, post-emulsificantes y removibles con solvente.

1.4 Partículas magnéticas (Magnetic Particle Testing – MT)

En el año de 1920 William E. Hoke descubrió que un tipo de partículas magnéticas (limadura de metal) se podría utilizar, junto con el magnetismo, como un medio de localización de discontinuidades. Hoke comprobó que una discontinuidad superficial o sub-superficial presente en un material previamente magnetizado, provocaba que el campo magnético se distorsionara. El fenómeno fue descubierto mientras se observaba que la limadura de metal, resultante del maquinado de tornos, se concentraba en las discontinuidades que presentaban los controles magnetizados.

Con el paso del tiempo se ha desarrollado esta prueba para su adecuada aplicación en diferentes componentes. Las técnicas de magnetización son variadas dependiendo de la configuración física de la pieza de prueba. Por ejemplo, para barras sólidas se puede utilizar la magnetización entre cabezales en la cual dos placas de contacto introducen una corriente en la pieza, lo cual induce un campo magnético a su alrededor.

En algunas aplicaciones de inspección por partículas magnéticas se utiliza un equipo portátil en forma de “C” que se denomina yugo electromagnético, el cual induce un campo magnético longitudinal entre sus polos. Cuando se pone en contacto con la pieza a inspeccionar, induce dicho campo y la pieza se magnetiza.

Posteriormente se esparcen partículas de material ferromagnético en la superficie de la pieza, y en las zonas en que existen discontinuidades, dichas partículas se concentran por la acción del campo magnético sobre ellas, interrumpiendo las líneas de fuerza del campo.

El tipo de partículas que se utiliza en estas pruebas, también han sido desarrolladas y clasificadas de acuerdo a la forma en que se transportan y al contraste que proporcionan respecto a la pieza de prueba. Estas clasificaciones las consideran como partículas secas o húmedas (suspendidas en un vehículo líquido), así como partículas visibles o fluorescentes.

Las partículas magnéticas nos proporcionan muchas ventajas para su utilización como son:



- Es una inspección rápida y de bajo costo.
- Se utiliza un equipo simple.
- No se requiere lecturas electrónicas o calibraciones.

Entre sus desventajas podemos encontrar:

- Se utiliza solamente en materiales ferromagnéticos.
- Se necesita suministro de energía eléctrica.
- La rugosidad de la superficie es perjudicial a la prueba pues altera el campo magnético.

1.5 Corrientes Electromagnéticas (Eddy Current Testing – ET).

Esta prueba tiene sus orígenes en el descubrimiento de la inducción electromagnética por Michael Faraday en 1831. En 1879 el físico Inglés David Edward Hughes demostró que existían cambios en las propiedades de una bobina cuando entraba en contacto con metales de diferente conductividad y permeabilidad. Estas propiedades fueron aprovechadas hasta la Segunda Guerra Mundial en la inspección de componentes.

Este método de inspección se utiliza para detectar discontinuidades superficiales y sub-superficiales, medir espesores de material, clasificación de materiales. El principio con el que funciona es la inducción electromagnética, por tanto es un requisito que la pieza a inspeccionar sea un conductor.

Cuando una corriente alterna se aplica a un conductor, como un cable de cobre, se crea un campo magnético alrededor del conductor. Cuando se acerca otro conductor al primero, el campo magnético creado induce una corriente dentro del segundo conductor, misma que se conoce como corriente de Eddy. Esta corriente crea su propio campo magnético. Cuando existe alguna discontinuidad en el material, esta interrumpe el campo magnético creado por corrientes de Eddy.

Las aplicaciones industriales que existen para el uso de esta técnica, es tan variada que se han desarrollado equipos especializados, robustos y portátiles que puedan cumplir con los requisitos establecidos.

1.6 Radiografiado Industrial (Radiographic Testing – RT).

En 1895 el profesor Wilhelm Conrad Roentgen descubrió la presencia de un tipo de radiación, desconocida hasta entonces, cuando realizaba trabajos de investigación con un tubo de rayos catódicos. Por su naturaleza desconocida



llamo a este tipo de radiación (rayos X). Esta técnica tuvo una rápida aplicación en el sector médico, y es en este campo en el cual se ha desarrollado de forma más notable. La razón por la cual no se había aplicado esta técnica en la industria, ya que aún no se había logrado construir un tubo que operara con altos voltajes. En 1913 William David Coolidge contribuyó al desarrollo de la Radiografía Industrial, con el diseño de un tubo de alto vacío que permitía operar con voltajes superiores a 10,000 volts.

La Radiografía Industrial es utilizada para la detección de discontinuidades en la estructura interna de los materiales. El fenómeno en el que está basada es la interacción entre la radiación electromagnética y la materia.

Los rayos X, generados eléctricamente, y los rayos Gamma emitidos por isótopos radioactivos, son radiaciones que penetran en los materiales; sin embargo durante este fenómeno se presenta una atenuación de energía. Esta pérdida de energía es causada por diversos factores como la densidad del material, espesor y configuración del mismo, además de la cantidad de energía emitida.

Durante la exposición, se hace pasar radiación electromagnética a través de un material, la cual es registrada por la impresión en papel fotosensible (película), que se revela en un proceso posterior, para obtener la imagen de la pieza inspeccionada.

La Radiografía Industrial es utilizada en múltiples aplicaciones como son: la industria metalmecánica, automotriz, aeronáutica, petrolera, entre otras. Esta técnica es una de las más utilizadas y confiables debido a que tiene las siguientes ventajas:

- Puede ser aplicada en varios materiales.
- Se obtiene una imagen del interior del material.
- Se tiene un registro permanente de inspección.
- Nos ayuda a realizar evaluaciones del tipo de falla y su posible rechazo.

Sin embargo también tiene desventajas que afectan directamente la integridad del usuario, debido a que sobre-exposición tendría efectos nocivos para la salud del personal, otras desventajas son:

- Se requiere acceso a ambos lados de la pieza a inspeccionar.
- No se recomienda usar piezas de geometría aplicada.
- Las discontinuidades del tipo laminar no se detectan por este método.



1.7 Ultrasonido Industrial.

Antes de la Segunda Guerra Mundial, la técnica de enviar ondas acústicas a través del agua y de observar el retorno de los ecos para identificar los objetos sumergidos, inspiró a los investigadores del ultrasonido para explorar maneras de aplicar el concepto a los diagnósticos médicos.

En 1928 un científico soviético de nombre Sergei Y. Solokov presentó una técnica de transmisión de ondas ultrasónicas a través del material, para la detección de discontinuidades en los metales. Mulhauser, en 1931, obtuvo una patente para utilizar ondas ultrasónicas, usando dos transductores para detectar defectos en sólidos. Los equipos detectores de fallas fueron originalmente desarrollados, basándose en el principio de la intercepción de la energía ultrasónica por discontinuidades grandes, durante el paso del haz ultrasónico. Posteriormente, esta técnica recibió el nombre de inspección a través. Este sistema de inspección presentaba ciertas limitaciones, principalmente, la necesidad del acceso en ambas superficies de la pieza inspeccionada para colocar un transductor en cada superficie. No se encontró un método práctico de inspección hasta que el Dr. Floyd Firestone (1940) y Simons (1945) desarrollan la prueba ultrasónica pulsada, usando una técnica de pulso-eco. Inventaron un aparato empleado de ondas ultrasónicas pulsadas para obtener reflexiones de defectos pequeños, conocidos como "Reflectoscopio Supersónico". En el mismo periodo en Inglaterra, Sproule desarrolló equipos de inspección ultrasónica en forma independiente.

Poco después del término de la Segunda Guerra Mundial, los investigadores en Japón comenzaron a explorar las capacidades del diagnóstico médico del ultrasonido. El trabajo de Japón en ultrasonido era relativamente desconocido en los Estados Unidos y Europa hasta los años 50's. Los investigadores entonces presentaron sus resultados en el uso del ultrasonido para detectar los cálculos biliares, las masas del pecho y los tumores, a la comunidad médica internacional. Japón fue también el primer país en aplicar el ultrasonido de Doppler, un uso del ultrasonido que detecta objetos móviles internos tales como sangre que circula a través del corazón para la investigación cardiovascular.

El desarrollo de la Inspección Ultrasónica en la industria creció de manera muy rápida por los requerimientos. Al principio el propósito principal era la detección de discontinuidades en un material. La detección de tales discontinuidades, eran una causa para el retiro del componente en servicio. A principios de los años 70's, ocurrieron dos acontecimientos que provocaron un cambio importante en el campo de las PND. Primero, las mejoras en la tecnología aumentaron la capacidad de



detectar discontinuidades pequeñas, lo cual hizo que más piezas fueran rechazadas aun cuando la probabilidad de falla del componente no había cambiado. Sin embargo, surgió la disciplina de la mecánica de fractura, lo cual permitió predecir si una grieta de tamaño dado fallaría bajo alguna carga particular, cuando se conocen las características de un material. Otras leyes fueron desarrolladas para predecir el índice de crecimiento de grietas bajo carga cíclica (fatiga). Con el advenimiento de estas herramientas, llegó a ser posible aceptar las estructuras que contenían las discontinuidades, si los tamaños de estas se conocía. Esto formó la base para la nueva filosofía del diseño “tolerante de daños”. Los componentes que tenían discontinuidades conocidas podrían continuar en servicio mientras se establecía que esas discontinuidades no crecerían a un tamaño crítico, produciendo la falla.

Se presentó entonces un nuevo desafío a la comunidad que realizaba ensayos no destructivos. La detección no era suficiente. Se necesitaba obtener también información cuantitativa sobre el tamaño de la discontinuidad para utilizarlas como datos en las predicciones de fracturas mecánicas. La necesidad de la información cuantitativa estaba particularmente en las industrias de la defensa y la energía atómica, lo cual condujo a la aparición de la Evaluación No Destructiva Cuantitativa (QNDE) como nueva disciplina de la ingeniería de la investigación.

El ensayo por ultrasonido (UT) se ha practicado por muchas décadas. Los progresos rápidos en la instrumentación, estimulada por los avances tecnológicos a partir de los años 50's aún continúan. Desde los años 80's hasta el presente, las computadoras han proveído a los técnicos con instrumentos más pequeños, de uso rudo y con mayores capacidades.

La calibración de espesores es un ejemplo del uso donde los instrumentos se han refinado; realizan la recopilación de datos más fácilmente y de mejor manera. Las capacidades incorporadas del registro de datos permiten que los millares de medidas sean registrados y eliminan la necesidad de hacer un registro manual. Algunos instrumentos tienen la capacidad para capturar formas de onda así como lecturas de espesor.



CAPITULO II

FUNDAMENTO FISICO Y DESCRIPCION DE LA TECNICA.

LIQUIDOS PENETRANTES.



2. El proceso de los líquidos penetrantes.

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

1. *Preparación de la superficie.*
2. *Aplicación del penetrante.*
3. *Remoción del exceso del penetrante.*
4. *Aplicación del revelador.*
5. *Inspección*
6. *Limpieza final.*

2.1 Preparación de la superficie.

La inspección con líquidos penetrantes requiere, además de que las discontinuidades se encuentren en la superficie, que estén abiertas a esta, 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 especial 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 fisuras. Es evidente que el penetrante no puede fluir si la discontinuidad se encuentra cubierta u obstruida con aceite, agua, pintura, óxido o cualquier otro material.

Para obtener los 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 a examinar. En el código ASME BPV Secc. V, artículo 6, en la norma ASTM E65 se proporcionan algunas técnicas de limpieza recomendadas como las que se mencionan a continuación.

2.2 Métodos de limpieza.

Para la selección del método de limpieza se debe tener especial cuidado de que éste no enmascare cualquier indicación o que los residuos de los productos de limpieza actúen como contaminantes, influyendo en la sensibilidad del método. Los métodos se clasifican como:

- *Químicos.*
- *Mecánicos.*
- *Por solventes.*



2.2.1 Limpieza por medios químicos.

Este tipo de limpieza tiene poco efecto degradante sobre el acabado superficial, los principales métodos son:

Limpieza alcalina.- Remueve cascarilla, óxidos, grasas, material para pulir, aceites y depósitos de carbón. Este método se emplea en grandes piezas en las cuales las técnicas manuales suelen ser muy laboriosas.

Limpieza ácida.- Se emplean soluciones muy ácidas para remover cascarilla muy pesada o de gran tamaño.

Limpieza con sales fundidas.- Se emplea para remover cascarilla muy densa y óxidos fuertemente adheridos.

2.2.2 Limpieza por métodos mecánicos.

Este tipo de limpieza debe utilizarse con precaución, ya que puede cubrir o enmascarar las discontinuidades, los principales métodos son:

Pulido abrasivo. Remueve escama, rebaba, escoria de soldadura y óxido. Este método no debe utilizarse en metales suaves como aluminio, cobre, magnesio y titanio.

Aplicación de arena seca a alta presión. (Sandblast) Remueve escamas pesadas, capas de pintura o recubrimientos antioxidantes, depósitos de carbón, óxidos, fundentes, arena de fundición, etc.

Agua y vapor a alta presión. Se lleva a cabo con limpiador alcalino o con detergente. Residuos de lubricantes, aceites, compuestos de pulido, grasas y astillas. Se utiliza cuando debe protegerse el acabado superficial.

2.2.3 Limpieza con solventes.

Es ampliamente utilizado, ya que es capaz de disolver y remover casi cualquier tipo de componente orgánico que se encuentre sobre la superficie. Este método puede dividirse en desengrasado al vapor y enjuague con solventes.

Desengrasado con vapor.- Remueve aceite y grasa, por lo general se emplean solventes clorados. No es recomendable para titanio y sus aleaciones.

Enjuague con solventes.- Remueve aceite y grasa, puede emplear solventes no clorados. Los solventes más comúnmente empleados son acetona, percloroetileno, alcohol isopropílico, cloruro de metileno; todos estos se evaporan a la temperatura ambiente.

2.3 Aplicación de penetrante.

Antes de aplicar el penetrante es recomendable limpiar la superficie con el solvente removedor recomendado por 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.

El penetrante se aplica sobre la superficie limpia y seca de la pieza a inspeccionar, por cualquier método que la humedezca totalmente por ejemplo, inmersión, rociado, vaciado, con brocha, etc. Todas las superficies deben cubrirse totalmente para permitir que mediante la **acción capilar** el penetrante se introduzca en las discontinuidades como se muestra en la figura 1.



Figura 1.

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

2.3.1 Por inmersión.

Se recomienda cuando las piezas son pequeñas o de peso reducido; cuando se inspeccionan grandes lotes o bien toda una producción de componentes críticos. Otra razón de emplear la inmersión es la complejidad del objeto a inspeccionar en su forma o cuando se requiere cubrir toda la superficie de la pieza.

2.3.2 Por aspersion, atomización o rociado.

Es la forma más común de aplicar el penetrante, ya que el rocío se puede obtener empleando aire a presión o mediante aerosoles. No obstante la comodidad de su aplicación, debe tenerse cuidado en que el rocío sea homogéneo.

2.3.3 Aplicación con brocha, pincel o rodillo.

Es una de las formas más económicas y reduce el desperdicio de penetrante. Se recomienda su aplicación en piezas grandes y medianas de formas regulares; también cuando se van a inspeccionar áreas bien definidas como los cordones de soldadura, áreas pequeñas y zonas de difícil acceso.



2.4 Tiempo de penetración.

Se define como el tiempo necesario para que el penetrante se introduzca en 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.*
- Para diferentes tiempos de penetración existen tablas recomendadas por los fabricantes.

Los tiempos sugeridos son tiempos mínimos y debe verificarse que en este período la superficie de la pieza permanezca cubierta con el penetrante. En caso de que la aplicación inicial de penetrante sea insuficiente, éste se puede aplicar nuevamente, asegurando así que se introduzca en la discontinuidad.

Las tablas de tiempo de penetración se elaboraron tomando como base el rango de temperatura de 10° a 52° C (50° a 126° F). El penetrante no deberá utilizarse a temperaturas menores al límite inferior, porque disminuye su actividad y no se introduce en las discontinuidades a pesar de cumplir con el tiempo de penetración establecido en la norma. El empleo de tiempos de penetración mayores a los recomendados no afecta la sensibilidad de la inspección a menos que se permita que el penetrante se seque sobre la superficie de prueba.

En la siguiente tabla se muestran el tiempo recomendable dependiendo materiales, fabricación y tipo de discontinuidad detectable.

Tabla No. 1

Material	Método de fabricación	Tipo de discontinuidad	Tiempo de permanencia en minutos ^A	
			Penetración ^B	Revelado ^C
Aluminio, Magnesio, Acero, Latón, Bronce, Titanio y Aleaciones a alta temperatura	Fundición y soldadura	Traslapes, Porosidad, Faltas de fusión y grietas	5	10
	Materiales conformados por extrusión, Forjado o laminado	Traslapes y Grietas	10	10
Herramientas con puntas de carburo	-----	Faltas de fusión, porosidad y Grietas	5	10
Plásticos	Todas las formas	Grietas	5	10
Vidrio	Todas las formas	Grietas	5	10
Cerámica	Todas las formas	Grietas y porosidad	5	10

Fuente: Código ASME Secc VIII Div. 1 apéndice 8 inspección por líquidos penetrantes

^A Para un rango de temperatura de 10 a 38 °C (50 a 100 °F) para penetrantes fluorescentes y de 10 a 52°C (50 a 125°F) para penetrantes visibles.

^B El tiempo máximo de permanencia es establecido por el fabricante.

^C El tiempo de revelado inicia cuando el revelador se ha secado sobre la superficie de la pieza.

2.5 Remoción del exceso de penetrante.

La remoción del exceso de penetrante es el paso más importante en el proceso de inspección de las piezas, 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, como lo muestra la figura No. 2, se debe evitar que el penetrante se seque sobre ésta, ya que puede impedir que el penetrante emerja de las discontinuidades al aplicar el revelador.



Figura No. 2

2.6 Aplicación de 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 líquido penetrante, se aplica el revelador, la cual es una sustancia especialmente compuesta para extraer al penetrante atrapado en las discontinuidades; para que de esta forma sea visible al ojo humano, como lo muestra la figura No. 3



Figura No. 3

2.7 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 válida y no falsa, dando la impresión equivocada a causa de iluminación inadecuada puede arrojar interpretaciones erróneas.

Cuando se tenga duda sobre la inspección es preferible limpiar la pieza y repetir el proceso completo, después se determinará el tipo, localización y tamaño de la discontinuidad; así como la especificación aplicable para su evaluación. La calidad de la inspección está directamente relacionada con la habilidad del inspector para encontrar y evaluar las indicaciones que aparezcan en la superficie de prueba pero también por las condiciones en que ésta se realice, como lo muestra la siguiente figura.



Figura No. 4

2.8 Limpieza final.

Es importante que esta parte del proceso se efectúe 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 con líquidos penetrantes y se lleva a cabo en la muestra o piezas que se encuentren libres de discontinuidades, como lo muestra la figura No. 5



Figura No. 5



La limpieza final 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 semejante al de pre-limpieza. Los limpiadores del tipo detergente generalmente se utilizan para remover materiales base agua; mientras que el desengrase en vapor es más conveniente para la remoción de materiales base aceite.

Por ahora se han tocado las seis partes fundamentales del proceso con líquidos penetrantes; no obstante hace falta describirlas a fin de tener un conocimiento más profundo de ellas, así como de sus particularidades; los distintos sistemas que existen y el equipo necesario para realizar las pruebas.

2.9 Clasificación de tipos y métodos de prueba por líquidos penetrantes.

De acuerdo con la norma ASTM E 165 Ed. 2003

Los sistemas penetrantes cubiertos por esta práctica deben ser de acuerdo a los siguientes tipos y métodos

Tipos de sistemas de penetrantes.

Tipo I: Colorante Fluorescente.
Tipo II: Colorante Visible.

Métodos de sistemas penetrantes.

Método A: Lavable con agua.
Método B: Post-Emulsificable lipofílico.
Método C: Removible con solvente
Método D: Post-Emulsificable hidrofílico.

Los Penetrantes Visibles y Fluorescentes usados en combinación con los cuatro METODOS resultan seis sistemas de Líquidos Penetrantes

La selección del método a realizar estará en función del acabado superficial y de la sensibilidad deseada, según ASTM-165 Ed. 2003, la combinación de tipo y método se enlista en orden decreciente de sensibilidad.

- (ID) Líquido penetrante fluorescente post-emulsificable hidrofílico.
- (IB) Líquido penetrante fluorescente post-emulsificable lipofílico.
- (IC) Líquido penetrante fluorescente removible con solvente.
- (IA) Líquido penetrante fluorescente removible con agua.
- **(IIC) Líquido penetrante visible removible con solvente.**
- (IIA) Líquido penetrante visible lavable con agua.

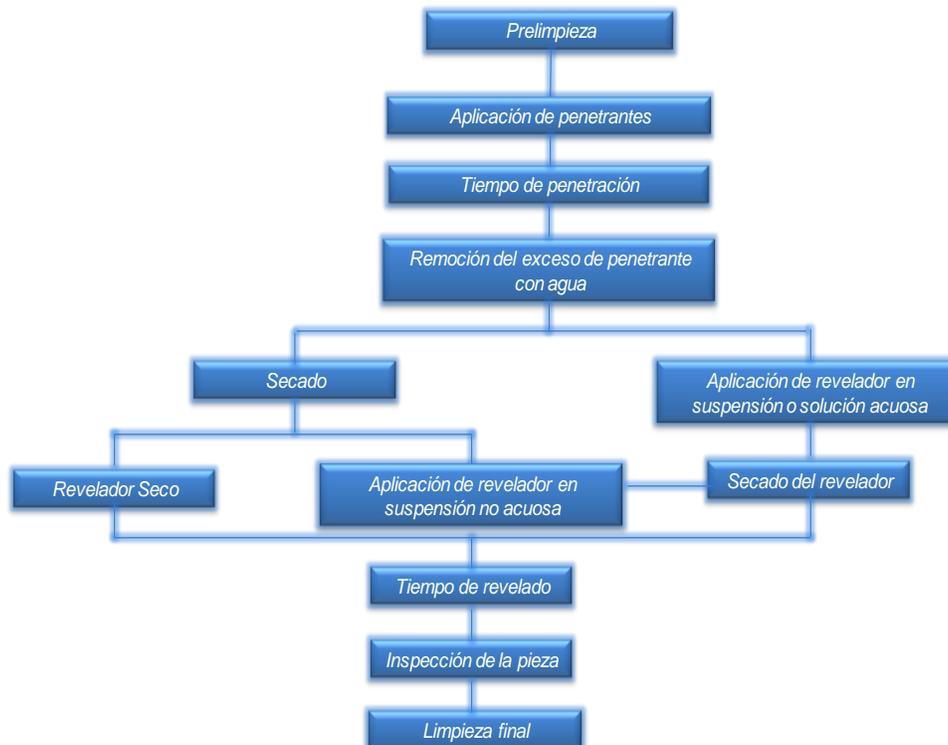
Es importante considerar que el tamaño, forma y peso de las piezas a inspeccionar, así como su número, influyen de manera determinante en la selección del sistema a emplear. Adicionalmente, la sensibilidad del método y su costo también son factores importantes para tal selección. Las técnicas capaces de desarrollar una alta sensibilidad son más costosas que las técnicas de baja sensibilidad.

2.9.1 Líquidos penetrantes lavables con agua, método A tipo I y II,

En los países altamente industrializados este proceso de inspección es uno de los más ampliamente utilizados. Difiere del proceso post-emulsificante en que no requiere de la aplicación de un emulsificante para remover el exceso de penetrante.

Existen diferentes tipos de penetrantes removibles con agua, con diferentes características y sensibilidades. Sin embargo, algunos penetrantes lavables con agua tienen una base o vehículo aceitoso y contiene un emulsificante que los convierte en autoemulsificables o lavables con agua. Poseen de buena a excelente capacidad de penetración, dependiendo del penetrante específico empleado a continuación se presenta la figura No. 6 donde se indican los pasos para la aplicación de estos métodos.

Figura No. 6



Las principales ventajas y limitaciones de este proceso se enlistan a continuación.

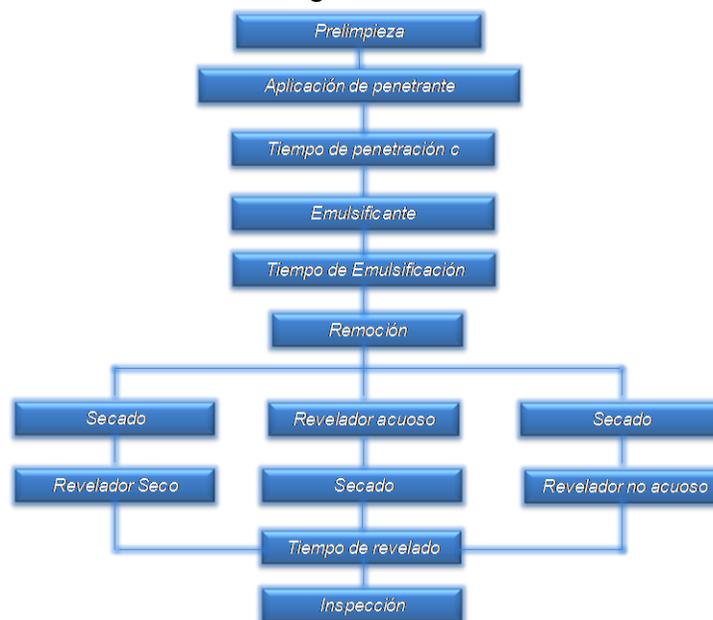
Ventajas.	Limitaciones.
<ul style="list-style-type: none"> • Tiene varios niveles de fluorescencia para una amplia gama de aplicaciones. • El exceso de penetrante de la superficie se remueve fácilmente con agua. • Se recomienda su empleo cuando existe un gran número de piezas pequeñas a inspeccionar o para piezas de gran dimensión. • Es junto con la técnica de penetrante visible removible con agua el más recomendable para piezas con superficies rugosas, así como para piezas forjadas y fundiciones de grandes dimensiones. • Es un buen método para la inspección de piezas roscadas y ranuradas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Un acabado superficial demasiado terso como es el caso del cromado o del niquelado puede afectar la sensibilidad de la prueba. • Este tipo de penetrante es de fácil remoción en discontinuidades abiertas poco profundas, causando con esto la posible omisión en la detección de las mismas, aunque en comparación con otros, el método post-emulsificable es más recomendable para este tipo de discontinuidades. • Requiere inspección en áreas oscuras con luz ultravioleta (luz negra). • Necesita de agua y de electricidad.

2.9.2 Líquidos penetrantes fluorescentes post-emulsificables método B, tipo I, (lipofílico); y tipo I, método D (hidrofílico).

Un penetrante post-emulsificable tiene una base o vehículo de aceite, al cual se le ha añadido un pigmento fluorescente y brillante. Este tipo de penetrante no puede removerse por el lavado con agua, pues no contiene un emulsificante.

Las ventajas de estas técnicas sobre el proceso de penetración removible con agua se basan principalmente en la flexibilidad en la etapa de aplicación del emulsificante y el hecho de que el penetrante no emulsificado no es fácilmente extraído de las discontinuidades.

Figura No. 7



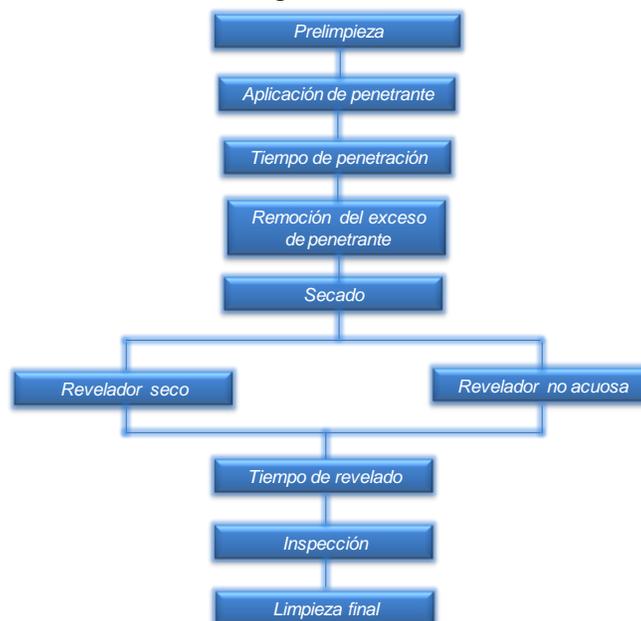
A continuación se enlistan las ventajas y limitaciones de este método.

Ventajas.	Limitaciones.
<ul style="list-style-type: none"> • Pueden detectar discontinuidades abiertas y poco profundas, las cuales no pueden localizarse con el método lavable con agua. • Es un sistema de alta sensibilidad para la detección de discontinuidades finas. • Tiene alta luminosidad o brillantes, ya que su formulación permite el uso de altas concentraciones de colorante fluorescente. • El tiempo de penetración se reduce porque el penetrante libre de emulsificante se introduce más rápidamente en las discontinuidades. 	<ul style="list-style-type: none"> • La principal limitación de esta técnica es que se requiere separar los pasos de penetración y de emulsificación para asegurar la detección de discontinuidades anchas lo que significa un tiempo mayor de proceso, utilización de equipo adicional y control de los dos pasos por separado. • El nivel de sensibilidad se define mediante un cuidadoso control del tiempo de emulsificación; se requiere especial cuidado durante este paso, para asegurar resultados consistentes.

2.9.3 Líquidos penetrantes removibles con solvente, método C tipo I y II,

En este método el exceso de penetrante es removido de la superficie de la pieza por medio de material absorbente seco y posteriormente con un material absorbente humedecido con solvente, se debe tener extremo cuidado de no saturar con solvente el material de limpieza para evitar la remoción del penetrante introducido en las discontinuidades. Este método se emplea con frecuencia en lugares en que no existe agua, en materiales con acabado terso o en zonas bien definidas.

Figura No. 8



Ventajas.	Limitaciones.
<ul style="list-style-type: none">• <i>Es una técnica rápida.</i>• <i>Puede emplearse en piezas donde el tamaño y forma lo permitan.</i>• <i>El equipo es portátil, no requiere del empleo de luz ultravioleta.</i>• <i>Puede emplearse sólo en algunas zonas de secciones grandes o en piezas que van a ser reparadas.</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>Es el de menor sensibilidad en comparación con los demás sistemas penetrantes.</i>• <i>Sólo detecta discontinuidades considerablemente grandes.</i>• <i>El volumen del penetrante atrapado en las discontinuidades es muy susceptible de ser extraído o diluido durante el proceso de remoción del exceso de penetrante.</i>

2.10 Características de los materiales (penetrante)

2.10.1 Penetrantes fluorescentes.

La sensibilidad de los sistemas de penetrantes fluorescentes es influida principalmente por la concentración del pigmento e intensidad de color. Sin embargo, existen muchas otras variables que pueden controlarse. En general los sistemas de penetrantes fluorescentes presentan un número mayor de aplicaciones potenciales que los sistemas de penetrantes visibles.

2.10.2 Penetrantes visibles.

Debido a que los penetrantes deben ser visibles después de que han sido extraídos por el revelador, se emplea por lo general un pigmento de color rojo, que produce un alto contraste con un fondo color blanco. Los pigmentos rojos se obtienen con facilidad en una amplia gama de tonos, son baratos y fáciles de mezclar con aceite.

2.10.3 Penetrante lavable con agua.

A este penetrante se le denomina también autoemulsificable, ya que tiene incorporado un emulsificante que lo hace soluble, por lo que puede lavarse directamente con agua. Es importante que la operación de lavado se controle cuidadosamente, para evitar un sobre lavado y con ello remover el penetrante de las discontinuidades.

2.10.4 Penetrante post-emulsificable.

Un penetrante post-emulsificable tiene una base aceite o un vehículo al que se le ha añadido un pigmento. Este sistema difiere del lavable con agua en que no puede ser removido directamente con ese medio, pues no contiene un agente emulsificante. Los penetrantes post-emulsificables generalmente tienen alta



calidad de penetración. Puesto que los penetrantes utilizados en el proceso post-emulsificable no son lavables con agua, es necesario aplicar sobre las piezas de prueba un emulsificante después de que ha transcurrido el tiempo de penetración y antes del proceso de lavado.

En este método el tiempo de emulsificación es un factor crítico, ya que debe ser el suficiente para que el emulsificante se mezcle con el penetrante en la superficie, pero debe ser el mínimo posible para evitar que se mezcle con el penetrante de las discontinuidades.

2.10.5 Agentes emulsificantes.

Los emulsificantes se combinan con el penetrante de la superficie de la pieza por difusión y por mezcla turbulenta cuando se drena y provoca que el penetrante y el emulsificante puedan removerse con agua corriente. De forma ideal, el penetrante que se encuentra en las discontinuidades no debe emulsificarse. Cuando se cumple esta condición es posible lavar todo el penetrante de la superficie, sin eliminar el que se encuentra atrapado en las discontinuidades.

2.10.6 Penetrante removible con solvente.

Cuando es necesario inspeccionar superficies tersas o solamente una pequeña sección de la pieza, es conveniente el empleo de penetrantes removibles con solventes. Normalmente se utiliza el mismo solvente para la pre-limpieza y para la remoción del exceso de penetrante.

El exceso de penetrante se elimina con un material absorbente, que no deje residuos, frotando la superficie de inspección (preferentemente en una sola dirección); después con el material absorbente, ligeramente humedecido en el solvente, se remueve el exceso de penetrante que haya quedado en la superficie. Para verificar que la pieza se encuentra libre de penetrante, es recomendable pasar un material absorbente limpio sobre la superficie, el cual debe estar exento de color. En el caso de penetrante fluorescente, el exceso de penetrante debe removerse bajo luz ultravioleta siguiendo el procedimiento antes descrito.

Es importante mencionar que el exceso de penetrante no debe removerse aplicando directamente el solvente sobre la superficie de la pieza, ya que podría extraerse el penetrante de las discontinuidades.



2.11 Características de los materiales (revelador)

2.11.1 El revelador.

La cantidad de penetrante que emerge de una discontinuidad superficial es muy reducida, por lo que es necesario ampliar su visibilidad. Los reveladores están diseñados de tal forma que extraen el penetrante atrapado en las discontinuidades, para que sean visibles al ojo humano. La acción del revelador es una combinación de tres efectos; solvencia, adsorción y absorción. El polvo revelador ejerce un efecto adsorción y absorción sobre los residuos del penetrante, llevándolos hacia la superficie de la pieza. Cuando el penetrante se dispersa a través del polvo revelador, puede ser fácilmente observado. En el caso de los reveladores en suspensión no acuosa, la acción solvente juega un papel importante para promover la extracción del penetrante de las discontinuidades y el mejoramiento de las indicaciones.

2.11.2 Propiedades de los reveladores.

El revelador debe poseer las siguientes características para efectuar de forma adecuada su función:

- *Alto poder de absorción del penetrante.*
- *Un tamaño de partícula adecuado, para que el revelador se disperse y esponga el penetrante sobre la mayor área posible, además de producir indicaciones intensas y bien definidas.*
- *Ser capaz de eliminar colores que interfieran con el fondo y proporcionar un buen contraste con las indicaciones, especialmente cuando se emplean penetrantes con tinte visible.*
- *Ser de fácil aplicación.*
- *Deben formar una capa delgada y uniforme sobre la superficie.*
- *Gran afinidad con el penetrante.*
- *De fácil remoción después de la inspección.*
- *No debe contener ingredientes que dañen las piezas inspeccionadas o el equipo empleado en el proceso de inspección.*
- *No deben ser tóxicos para el operador.*
- *Presentar alto contraste con el penetrante visible con luz normal.*

2.11.3 Tipos de reveladores.

Existen tres tipos de reveladores:

- *Secos.*
- *En solución acuosa (solubles en agua).*
- *En suspensión: acuosa y no acuosa.*



2.11.3.1 Reveladores secos.

Se aplican a la superficie seca por aspersion, aspersion electrostática o inmersión. Se utilizan generalmente con penetrantes fluorescentes. Tienen poco uso con los penetrantes visibles. Están constituidos por un polvo fino, que al aplicarse sobre la superficie, tiene la capacidad de adherirse a ella y formar una película muy delgada.

2.11.3.2 Reveladores en solución acuosa.

Con la utilización de este tipo de reveladores, se han eliminado muchos problemas inherentes a las suspensiones, ya que proveen una capa uniforme y adecuada para la inspección. Una limitante de este tipo de revelador es que la capa formada en la superficie se compone de material cristalizado que disminuye la capacidad de absorción del penetrante, comparado con la del revelador en suspensión.

2.11.3.3 Reveladores en suspensión.

Existen dos tipos de reveladores en suspensión, el primero es una suspensión de revelador en agua y el segundo es una suspensión en un solvente adecuado.

La formulación del material para el revelador en suspensión es compleja que para el revelador seco. Éste debe contener agentes que logren una buena suspensión. Son necesarios agentes dispersantes y agentes que retarden el aglutinamiento, así como inhibidores de la corrosión.

2.11.3.4 Reveladores en suspensión acuosa.

Para agilizar la aplicación en la inspección de piezas de tamaño mediano y pequeño, se utiliza un revelador suspendido en agua, mediante el proceso fluorescente.

El material para los reveladores en suspensión se suministra como polvo seco, al cual se le adiciona agua, por lo general en porciones de 50 a 150 gramos de polvo por litro de agua.

2.11.3.5 Reveladores en suspensión no acuosa.

La técnica de la suspensión en solvente es un medio efectivo para proporcionar una capa ligera de revelador sobre la superficie, ya que los solventes usados son de secado rápido.

Tiene la función de ayudar a extraer el penetrante de la discontinuidad y lo disuelve dándole mayor movilidad y produciendo una indicación del penetrante más grande y clara. En superficies rugosas este tipo de reveladores no es adecuado, ya que absorbe todo indicio de penetrante de la fisura.



Los reveladores suspendidos en solventes, generalmente se emplean para mostrar discontinuidades muy finas. Si el rociado se hace en forma rápida y ligera sobre la superficie, el penetrante es extraído de las discontinuidades, pero su difusión es minimizada por la rápida evaporación de solvente. Los solventes utilizados con mayor frecuencia son el alcohol o los solventes clorados, que tienen la ventaja de no ser inflamables.

2.12 Iluminación durante la inspección.

La iluminación es de gran importancia para los resultados obtenidos en la inspección por cualquiera de los métodos de líquidos penetrantes, además de la capacidad del inspector para observar las indicaciones de discontinuidades.

La iluminación empleada en la inspección está determinada por el proceso utilizado; cuando el método utilizado es el de penetrante visible, la inspección se efectúa bajo luz normal; para el método de penetrantes fluorescentes, la observación se realiza en un cuarto oscuro bajo luz ultravioleta.

2.12.1 Fuentes de luz normal (blanca o visible).

Las fuentes de luz normal utilizadas en las pruebas de inspección con penetrantes visibles no difieren de las empleadas en otras aplicaciones de inspección visual.

Algunos medios de iluminación son:

- *Luz solar*
- *Lámparas incandescentes.*
- *Lámparas fluorescentes.*
- *Lámparas de vapor de mercurio.*

2.12.1 Niveles de iluminación para el penetrante visible.

La intensidad de la iluminación está determinada por la naturaleza de la inspección a realizar. Para discontinuidades densas o gruesas, donde las indicaciones son grandes, por lo general es suficiente un nivel de iluminación de 300 a 550 luxes (30–50 pies-candelas) sobre la superficie de la muestra. Para inspecciones críticas que requieren intensidades mayores, donde los niveles de iluminación deben estar en el rango de 1000 luxes (100 pies-candelas).

2.12.2 Empleo de luz ultravioleta en la inspección con penetrantes fluorescentes.

Para obtener mejores resultados la inspección de las indicaciones fluorescentes debe efectuarse en un área de inspección lo más oscura posible, puesto que de esta manera las indicaciones fluorescentes aparecerán con mayor brillantez. Esto



es particularmente importante cuando la inspección se lleva a cabo en piezas que presentan indicaciones muy finas, como pueden ser las producidas por grietas, que solo pueden atrapar pequeñas cantidades de penetrante. Es recomendable cuidar que el área de inspección esté libre de materiales fluorescentes que puedan interferir con la inspección.

2.13 Interpretación de indicaciones.

En esta sección se resumen las características de diferentes tipos de discontinuidades detectables con el método de Líquidos Penetrantes, así como la definición de una serie de conceptos importantes para la interpretación de resultados; como por ejemplo proceso de manufactura del que se obtienen (tratamiento térmico, maquinado, depósitos metálicos, etc.), indicaciones relevantes y no relevantes, discontinuidad, tipos de discontinuidad (inherente de proceso y de servicio), etc.

Así mismo, se definen las funciones del Inspector, remarcando que requiere experiencia para efectuar las pruebas, además de una absoluta honestidad en la interpretación y evaluación de las indicaciones.

2.13.1 Interpretación de los resultados de la inspección.

En todos los métodos de ensayos no destructivos, incluyendo la inspección con líquidos penetrantes, se producen indicaciones indirectas, que deben ser correctamente interpretadas antes de obtener información útil.

Existe una gran tendencia por parte de los Inspectores de confundir los términos “interpretación y evaluación”. Actualmente éstos se refieren a dos etapas completamente diferentes en el proceso de inspección y requieren distintas categorías de conocimiento y de experiencia por parte del Inspector.

El término **interpretar** una indicación significa tomar una decisión de las causas que la originan.

La **evaluación** es posterior a la interpretación. Si por ejemplo existe una grieta, debe evaluarse su efecto antes de usar la pieza o de pasarla a su proceso posterior.

Para interpretar las indicaciones correctamente, el inspector debe familiarizarse con el proceso que esté empleando. Debe saber si se efectuó correctamente, además de ser capaz de obtener toda la información acerca de una discontinuidad y sus consecuencias en la pieza.

Esta tarea se vuelve muy sencilla cuando el Inspector posee conocimientos acerca de la pieza de prueba, como el proceso de fabricación, los defectos característicos del material, etc.



Puesto que la evaluación correcta de las indicaciones obtenidas depende de la interpretación exacta de las mismas, el Inspector es un elemento clave del proceso. Generalmente el operador de una máquina solamente separa las piezas que no cumplen las especificaciones y deja la decisión de su destino a otras personas. En muchas ocasiones se espera que el Inspector si observa la indicación, también la interprete, por lo que un inspector hábil y con experiencia puede ser de gran utilidad para mejorar los métodos de inspección.

2.13.2 Clasificación de las discontinuidades de acuerdo a su origen.

En cuanto a las discontinuidades en particular, éstas se dividen en tres clases:

- Inherentes
- De proceso
- De servicio.

2.13.3 Discontinuidades inherentes.

Son aquellas que se forman durante la fusión y solidificación del metal fundido, existen dos tipos:

De fundición primaria.- Estas discontinuidades están directamente relacionadas con la fundición y solidificación original del metal o lingote antes de ser transformado en tochos, palanquillas, placas, etc.

De fundición secundaria.- Son discontinuidades que se relacionan con el fundido, el vaciado y la solidificación del metal, incluyendo aquellas discontinuidades que pueden ser propias de las variables de manufactura, tales como una alimentación inadecuada, vertedero en mal estado, temperatura alta de vaciado y gases atrapados.

2.11.7 Discontinuidades de proceso.

Las discontinuidades de proceso de aquellos que se relacionan con los procesos de manufactura como maquinado, tratamientos térmicos, recubrimientos metálicos, forja, extrusión, rolado, etc. Es importante recordar que durante los procesos de manufactura, muchas discontinuidades que son sub-superficiales se convierten en superficiales.

2.11.8 Discontinuidades de servicio.

Son discontinuidades que se forman por las diferentes condiciones de servicio, como son:

- *Esfuerzos de tensión o compresión*
- *Por corrosión*
- *Fatiga o fricción*



2.11.9 Mecanismo de la formación de las indicaciones.

Cualquier indicación del penetrante señala la ubicación de una discontinuidad superficial, por lo que para detectar discontinuidades como inclusiones, segregaciones, metal extraño o cualquier otra anomalía, éstas deben estar abiertas a la superficie. Por ello los líquidos penetrantes se emplean para detectar discontinuidades superficiales.

2.11.10 Evaluación de una discontinuidad.

La presencia de una indicación plantea cuatro interrogantes:

¿Qué tipo de discontinuidad causa esta indicación?

¿Cuál es extensión de la discontinuidad?

¿Qué efecto provoca la discontinuidad sobre el servicio posterior de la pieza?

¿Cuáles son las tolerancias establecidas por el documento aplicable?

Con base en las respuestas de estas preguntas es posible determinar si la pieza se acepta o se rechaza. El tipo y tamaño de la discontinuidad no sólo se determina con respecto a la inspección superficial, sino también a la experiencia del Inspector ya que de ello depende la estimación del posible daño de la pieza.

2.11.11 Apariencia de las indicaciones.

Si se usa un penetrante fluorescente y el examen se realiza bajo luz ultravioleta (luz negra) las áreas sanas aparecerán de un color azul-violeta intenso, mientras que las discontinuidades se observarán resplandecientes con una luz brillante verde-amarilla. La intensidad de la fluorescencia. Está asociada con el volumen y concentración de penetrante retenido en la discontinuidad. Si se usa penetrante con colorante, el examen se deberá hacer bajo la luz natural. El revelador forma un fondo blanco y las discontinuidades son visibles mediante una indicación de color rojo, la cual está estrechamente relacionada con el volumen de penetrante atrapado en la discontinuidad.

2.12 Establecimiento de las normas de aceptación.

Las especificaciones en dibujos de la pieza bajo inspección deben precisar el método de ensayo no destructivo requerido para la aceptación; además de especificar los criterios de aceptación y rechazo proporcionando al Inspector los documentos suplementarios, como las especificaciones aplicables para la aceptación o rechazo. Si éstas indican inspecciones a piezas críticas como quipo nuclear o componentes de motores de reacción, se deben contar con la ayuda de un experto, para la evaluación de las indicaciones y obtener así un juicio adecuado. Para establecer el criterio de aceptación o rechazo, es necesario llevar a cabo un extenso estudio de correlación entre las indicaciones de pruebas no destructivas y sus resultados, siendo éste el último pasó del procedimiento. Pero



pueden prevalecer ciertas dudas, ya que las discontinuidades o indicaciones no siempre se presentan en el mismo lugar, con la misma frecuencia ni la misma magnitud.

Algunas especificaciones han sido preparadas por agencias gubernamentales y otras por sociedades técnicas, tales como el código **ASME** (American Society of Mechanical Engineers), la norma **ASTM** (The American Society for Testing and Materials) y el código **SAE** (Society of Automotive Engineers)

Los criterios de aceptación y rechazo aplicados en el presente trabajo se apegan a los requerimientos establecidos en el Código ASME **BPV Secc. VIII Div. 1 Appendix 8 Ed. 2004 “Método para el examen por líquidos penetrantes (PT)”**



CAPITULO III

FUNDAMENTO FISICO Y DESCRIPCION DE LA TECNICA.

ULTRASONIDO.



3. ULTRASONIDO INDUSTRIAL.

3.1 Principios Básicos.

En la inspección por ultrasonido (Ultrasonic Testing) se utiliza la energía del sonido de alta frecuencia para detectar discontinuidades internas en los materiales y hacer mediciones del espesor del material. También puede ser utilizada para la evaluación de discontinuidades, mediciones dimensionales, clasificación de materiales y más. Las ondas ultrasónicas son vibraciones mecánicas transmitidas, en un medio elástico (la pieza inspeccionada), por medio de un transductor con un cristal piezoeléctrico excitado por un voltaje eléctrico. Todas las sustancias materiales están formadas por átomos, que pueden ser forzados en el movimiento vibratorio a nivel atómico, sin embargo, la mayoría de ellos son irrelevantes para la prueba ultrasónica. La acústica se centra en las partículas que contienen muchos átomos que mueven en unisonó al producto por medio de una onda mecánica. Cuando un material no se tensa o se comprime más allá de su límite elástico, sus partículas individuales realizan oscilaciones elásticas. Cuando las partículas de un medio se desplazan de sus posiciones de equilibrio, se presentan fuerzas (electrostáticas) internas de restauración. Estas fuerzas de restauración elásticas entre las partículas, combinadas con la inercia de las partículas, conducen a los movimientos oscilatorios del medio.

En sólidos, las ondas acústicas pueden propagarse en cuatro principales formas, basadas en la manera en que oscilan las partículas. El sonido se puede propagar como ondas longitudinales, ondas superficiales y en materiales delgados como ondas laminares. Las ondas longitudinales y transversales son los dos modos de propagación más ampliamente utilizados en la prueba ultrasónica. Las frecuencias típicas de las ondas ultrasónicas están en el rango de 0.1 MHz a 50 MHz. La mayoría de las aplicaciones industriales requieren frecuencias entre 0.5 y 25 MHz.

Dentro de los elementos que constituyen este modelo básico encontramos por ejemplo al emisor/receptor que es un dispositivo electrónico que puede producir pulsos eléctricos de alto voltaje, excitado por el pulso eléctrico. El transductor genera energía ultrasónica de alta frecuencia. La energía ultrasónica es introducida y propagada a través de los materiales en forma de ondas. Cuando existe una discontinuidad (como una grieta) en la trayectoria de la onda, parte de la energía será reflejada. La señal reflejada de la onda es transformada en una señal eléctrica por el transductor y mostrada en una pantalla. En la pantalla, la fuerza reflejada de la señal se grafica contra el tiempo desde la generación de la señal hasta que el eco fue recibido, lo que se conoce comúnmente como “barrido-



A". El tiempo del recorrido de la señal se puede relacionar directamente con la distancia a la que viaja la señal. Se pueden obtener de la señal, la información sobre la localización del reflector, el tamaño, la orientación y otras características.

Existen cinco elementos que conforman un **Sistema de Inspección Ultrasonica** y son:

- **El generador de señal eléctrica o equipo ultrasónico.** Es importante mencionar que todos los equipos de ultrasonido solo emiten y reciben pulsos eléctricos, que son graficados en la pantalla del equipo.
- **Un conductor de señal eléctrica.** El cable coaxial permite la comunicación entre el transductor y el equipo emisor/receptor de señales eléctricas.
- **El Transductor.** Es un accesorio que contiene un cristal con propiedades piezoeléctricas, es decir, puede transformar energía eléctrica en energía mecánica y viceversa.
- **Acoplante.** Es un medio que permite el paso de las ondas ultrasónicas entre el transductor y la pieza de prueba. Su función principal es la de eliminar el aire en esta interface.
- **La pieza inspeccionada.** La dificultad en una inspección por ultrasonido depende de la resistencia que oponga la pieza al paso de las ondas ultrasónicas.

3.2 Física del Ultrasonido.

3.2.1 Ondas Mecánicas.

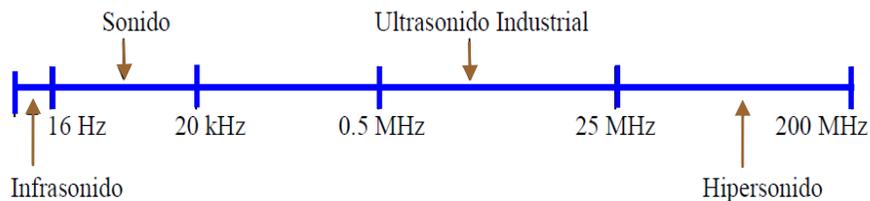
Una onda es una perturbación que avanza o que se propaga en un medio natural o incluso en el vacío. A pesar de la naturaleza diversa de las perturbaciones que pueden originarlas, todas las ondas tienen un comportamiento semejante. El sonido es un tipo de onda que se propaga únicamente en presencia de un medio que haga de soporte la perturbación.

Algunas clases de ondas pueden propagarse gracias a la existencia de un medio material, y se denominan ondas mecánicas. El sonido, las ondas que se forman en la superficie del agua, las ondas en muelles o en cuerdas, son algunos ejemplos de ondas mecánicas y corresponden a compresiones, deformaciones y, en general, a perturbaciones del medio que se propagan a través suyo. Sin embargo,

existen ondas que pueden propagarse aun en ausencia de medio material, es decir, en el vacío. Son las ondas electromagnéticas o campos electromagnéticos viajeros; a esta categoría pertenecen las ondas luminosas.

El sonido y el Ultrasonido son ondas acústicas de la misma naturaleza, lo único que la diferencia es el número de oscilaciones o vibraciones que sufren las partículas del medio durante su propagación. Las aplicaciones industriales utilizan comúnmente frecuencias desde 0.5 hasta 25 MHz (millones de ciclos por segundo), en la siguiente figura se muestra el espectro del sonido

Figura No. 9 Espectro del sonido



Existen ciertas características que son comunes a todas las ondas, cualquiera que sea su naturaleza, y que en conjunto definen el llamado comportamiento ondulatorio, esto es, una serie de fenómenos típicos que diferencian dicho comportamiento propio de las partículas.

Un ciclo representa el movimiento complejo de una onda. Cuando una partícula de la onda regresa a su posición original, se dice que ha completado un ciclo.

Por otro lado, la longitud de onda es la distancia entre dos puntos que oscilan en la misma fase y que se requiere para completar un ciclo. Por ejemplo la distancia entre dos crestas o entre dos valles de onda. Esta propiedad es identificada por la letra griega " λ ".

Al número de ciclos que ocurren en la unidad de tiempo, (por lo general el segundo), se denomina frecuencia " f ". La unidad de medida para la frecuencia son los ciclos por segundo o Hertz (1 Hz=ciclo/segundo).

Una propiedad de los materiales, que es una característica propia de cada uno, es la velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas a través de ellos. La singularidad de este valor se debe a que está en función del mundo de elasticidad y la densidad del material. Se identifican con las letras " v " o " c ".

Estas tres características son ampliamente utilizadas en la inspección por ultrasonido, ya que determinan el tipo de transductor que se va a ocupar, la calibración del equipo, y el tamaño mínimo de discontinuidad que se podrá encontrar.

Matemáticamente exista una ecuación que relaciona estas tres características, y es la siguiente:

$$\text{Longitud de onda } (\lambda) = \frac{\text{Velocidad } (V)}{\text{Frecuencia } (F)} \text{ ----- Ecuación (1)}$$

3.2.2 Consideración de la Longitud de Onda en la Detección de Discontinuidades.

Uno de los propósitos de la inspección ultrasónica es la detección de discontinuidades, razón por la cual el inspector debe tomar una decisión en cuanto al tipo de transductor que deberá emplear. Existe una cantidad extensa de variables que se deben considerar en la elección de un transductor, para una aplicación de particular. La longitud de la onda emitida por un tipo de transductor, puede ser la primera variable a estudiar, debido a que la teoría señala que una discontinuidad deberá tener un tamaño de $(\lambda/2)$ para poder ser localizada. En la práctica se considera el tamaño de λ completo.

3.2.3 Propagación de Ondas Mecánicas.

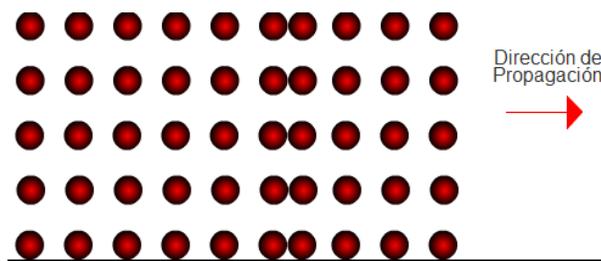
La prueba de ultrasonido está basada en el tiempo que tarda una onda ultrasónica en recorrer el espesor de un material, misma que es graficada contra la cantidad de energía que se perdió durante el recorrido. Todos los materiales que conocemos, están constituidos por pequeñas partículas elementales, llamadas átomos, los cuales pueden propagar una onda mecánica siempre que se fuerce a vibrar dentro de sus límites de equilibrio. Las fuerzas de restauración elástica de las partículas combinadas con la inercia de las mismas partículas permiten esta propagación. Existen diferentes modos de vibración a nivel atómico, sin embargo no todos son relevantes para la inspección ultrasónica.

En los materiales sólidos existen cuatro modos principales de propagación, que son: ondas longitudinales, ondas transversales, ondas superficiales, y ondas de placa. Para este caso solo se estudiara el caso de las ondas longitudinales y

transversales, ya que son los dos tipos de propagación comúnmente utilizados en las aplicaciones industriales.

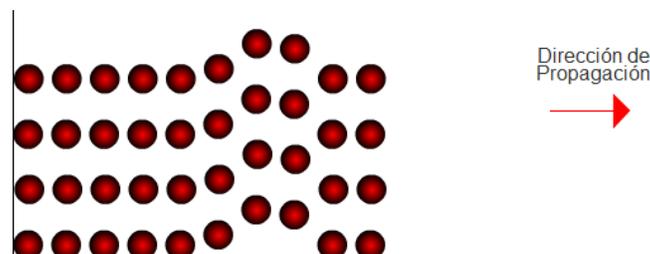
Ondas longitudinales.- También conocidas como ondas de compresión, debido a que su propagación ocurre de manera paralela respecto la dirección de propagación de la onda. Esto provoca que en los átomos se encuentren zonas con mayor densidad que fluctúan durante el movimiento. Este tipo de onda se puede propagar a través de sólidos, líquidos y gases. Cuando se utilizan, en la inspección ultrasónica las ondas longitudinales, se recurre a transductores de haz recto, en la siguiente figura se muestra la forma de propagación de las ondas longitudinales.

Figura No. 10 Propagación de ondas longitudinales



Ondas Transversales.- A este tipo de ondas se les llama también ondas de corte, y se caracterizan porque el movimiento de las partículas es en forma perpendicular a la dirección de propagación de onda. En las inspecciones por ultrasonido se utiliza un accesorio que permite inclinar el transductor, conocido como zapata, y a este tipo de aplicaciones se les denomina como aplicaciones haz angular. Otra característica importante de este tipo de ondas es que su velocidad de propagación es aproximadamente la mitad de la velocidad con ondas transversales, para un mismo material.

Figura No. 11 Propagación de ondas transversales





Las ondas acústicas se propagan debido a las vibraciones o a los movimientos oscilatorios de las partículas dentro de un material. Una onda Ultrasónica se puede visualizar como número infinito de masas o de partículas oscilantes conectadas por medio de resortes elásticos. Cada partícula individual es influenciada por el movimiento de su vecino más cercano y las fuerzas elásticas de restauración e inercia actúan sobre cada partícula.

3.2.4 La velocidad del sonido.

La ley de Hooke, cuando se utiliza junto con la segunda ley de Newton, puede explicar algunas cosas sobre la velocidad del sonido. La velocidad del sonido dentro de un material está en función de las características del material y es independiente de la amplitud de la onda acústica.

En ultrasonido podemos definir que la velocidad es un valor constante para cada material; depende de las propiedades del medio (densidad y propiedades elásticas) en que se propague y del tipo de onda.

Es afectada por el proceso de fabricación (tipo de estructura) y por la temperatura. En la siguiente tabla se muestra la velocidad acústica de materiales según las ondas de propagación.

Tabla No. 2 tabla de velocidades e impedancia acústica.

Material	Ondas longitudinales		Ondas transversales		Impedancia acústica
	In/segx10 ⁶	km/seg	In/segx10 ⁶	km/seg	
Aire	0.13	3.3	-	-	0.0004
Aluminio	0.25	6.3	0.12	3.1	17.0
Berilio	0.51	12.9	0.35	8.9	23.0
Cadmio	0.11	2.8	0.059	1.5	24.0
Cobre	0.18	4.7	0.89	2.3	41.6
Glicerina	0.75	1.9	-	-	2.42
Oro	0.13	3.2	0.47	1.2	62.6
Hielo	0.16	4.0	0.8	2.0	3.5
Plexiglass	0.11	2.7	0.43	1.1	3.1
Polietileno	0.7	1.9	0.02	0.5	1.7
Cuarzo	0.23	5.8	0.087	2.2	15.2
Plata	0.14	3.6	0.06	1.6	38.0
Acaro al carbón	0.23	5.9	0.13	3.2	46.0
Titanio	0.24	6.1	0.012	3.1	27.3
Zinc	0.17	4.2	0.09	2.4	29.6

Fuente: Tabla de velocidades Krautramer ultrasonic systems



3.2.5 Impedancia acústica.

El sonido viaja a través de los materiales bajo influencia de las fuerzas de compresión. Esto debido a que las moléculas o los átomos de un sólido están limitados elásticamente uno a otro, el exceso de presión da lugar a una onda que se propaga a través del sólido.

La impedancia acústica (**Z**) es la resistencia que opone un material a la propagación del sonido y está definida como el producto de su densidad (**ρ**) y la velocidad acústica (**V**).

$$Z = \rho V \text{ ----- Ecuación (2)}$$

La impedancia acústica es importante en:

- La determinación de la transmisión y la reflexión acústicas en el límite de dos materiales que tienen diversas impedancias acústicas.
- El diseño de transductores ultrasónicos.
- La determinación de la absorción del sonido en un medio.

3.2.6 Coeficientes de transmisión y reflexión.

El sonido tiene un comportamiento en los materiales que es semejante a un haz de luz dirigido a un recipiente con agua. En esta analogía, el haz de luz se refleja en la superficie del agua como si fuera un espejo, pero parte de esa energía traspasa la superficie y se introduce en el recipiente.

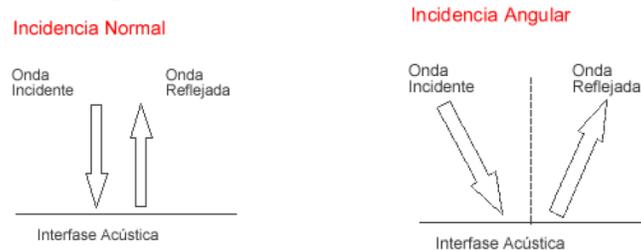
Las ondas ultrasónicas se reflejan en los límites donde hay una diferencia en las impedancias acústicas (**Z**) de los materiales en cada lado del límite. A estos límites se les llama **interfaces acústicas**. Esta diferencia en **Z** se conoce comúnmente como la unión mal hecha entre materiales. Cuanto mayor es el mal acoplamiento de los materiales, mayor es el porcentaje de energía que será reflejado en la interfaz o el límite entre un medio y otro. Cuando se conocen las impedancias acústicas de los materiales a ambos lados del límite, la fracción de la intensidad de la onda incidente que se refleja se puede calcular con la siguiente ecuación. El valor obtenido se conoce como el **coeficiente de reflexión**. Multiplicado el coeficiente de reflexión por 100 obtenemos la cantidad de energía reflejada como un porcentaje de la energía original.

$$E_R = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \right)^2 \text{ ----- Ecuación (3)}$$

Comúnmente encontraremos dos situaciones que se relacionan con la reflexión:

- Cuando la onda que incide es perpendicular a la interface acústica (incidencia normal), la reflexión se presentara hacia la fuente generadora, en la misma dirección pero con el sentido opuesto.
- Cuando la onda incidente es oblicua a la interface acústica (incidencia angular), la onda se refleja con un ángulo igual al de incidencia.

Figura No 12 Formas de incidencia



De la cantidad total de energía incidente una parte es reflejada, y la otra parte es transmitida al segundo medio. Existe una relación entre la intensidad de la onda que es transmitida al segundo medio y el total de energía incidente. Esta relación se conoce como el **coeficiente de transmisión**.

$$E_T = T = 100\% - E_r \text{ -----Ecuación (4)}$$

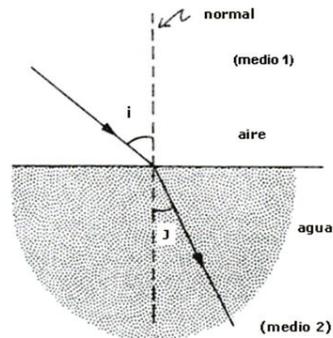
Por lo tanto del 100% de energía que incide, una parte es reflejada en la interface hacia la fuente generadora y la otra parte se transmite al segundo medio. Entonces se establece que de la suma de los coeficientes de reflexión y transmisión se obtiene el 100% de la incidencia original.

$$E_i = 100\% = E_R + E_T \text{ -----Ecuación (5)}$$

- **Refracción y Ley de Snell.**

Cuando una onda ultrasónica pasa a través de una interfaz entre dos materiales a un ángulo oblicuo (que no es recto), y los materiales tienen diversos índices de refracción, se producen ondas reflejadas y ondas refractadas. Esto también ocurre con la luz, cuando los objetos que se ven a través de una interfaz parecen ser cambiados del lugar donde realmente están.

Figura No. 13 Refracción de ondas



La refracción ocurre en una interfaz debido a las diversas velocidades de las ondas acústicas dentro de los materiales. La velocidad del sonido en cada material es determinada por sus características físicas (módulos elásticos y densidad) para ese material. En la siguiente figura se pueden ver una serie de ondas planas que viajan en un material y se incorporan a un segundo material que tiene una velocidad acústica más alta. Por lo tanto, cuando la onda encuentra la interfaz entre estos materiales, la porción de la onda en el segundo material se está moviendo más rápidamente que la porción de la onda en el primer material.

La siguiente ecuación, que describe la relación entre los ángulos y las velocidades de las ondas, que se conoce como la ley de **Snell**. La cual compara el cociente de las velocidades acústicas de los materiales V_1 y V_2 al cociente del seno del ángulo incidente (α) y del ángulo refractado (θ).

$$\frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \theta} = \frac{V_1}{V_2} \text{-----Ecuación (6)}$$

- **Conversión de Modo.**

Cuando el sonido viaja en un material sólido, una forma de energía de la onda se puede transformar en otra. Por ejemplo, cuando las ondas longitudinales golpean una interfaz de manera angular, algo de la energía puede causar el movimiento de la partícula en dirección transversal para comenzar una onda de corte (transversal). La conversión de modo ocurre cuando una onda encuentra una interfaz entre los materiales de diversas impedancias acústicas y el ángulo incidente no es normal a la interfaz.

Cuando las ondas acústicas pasan a través de una interfaz entre los materiales que tienen diversas velocidades acústicas, la refracción ocurre en la interfaz.

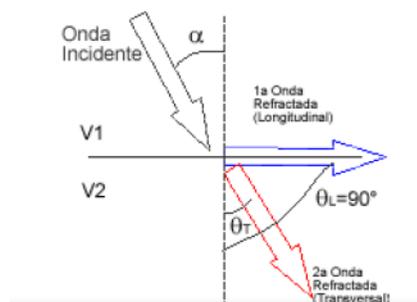
Cuanto más grande es la diferencia de velocidades acústicas entre los dos materiales, se refracta más el sonido. La onda de corte no se retracte tanto como la onda longitudinal. Esto ocurre porque las ondas de corte viajan más lentamente que las ondas longitudinales. Por lo tanto, la diferencia de velocidades entre la onda longitudinal incidente y la onda de corte no es tan grande, como lo es entre la onda incidente y las ondas longitudinales refractadas. También se observa que cuando una onda longitudinal se refleja dentro del material, la onda de corte se refleja a un ángulo más pequeño que la onda longitudinal reflejada. Esto es también debido al hecho de que la velocidad de corte es menor que la velocidad longitudinal dentro de un material dado.

- **Ángulos críticos.**

Cuando una onda longitudinal se mueve desde un material con una velocidad de propagación más lenta a uno con una velocidad de propagación más rápida, hay un ángulo incidente que hace que el ángulo de refracción para la onda longitudinal sea de 90° . Este se conoce como el **primer ángulo crítico**. El primer ángulo crítico se puede encontrar con la ley de Snell poniendo un ángulo de 90° para el ángulo del haz refractado. En el ángulo de incidencia crítica, mucha de la energía acústica está bajo la forma de onda de compresión no homogénea, que viaja a lo largo de la interfaz y decae en forma exponencial con la profundidad de la interfaz. Esta onda se conoce a veces como “onda de deslizamiento”. Debido a su naturaleza no homogénea y el hecho de que decaen rápidamente, las ondas de deslizamiento no se utilizan en PND.

La siguiente imagen nos muestra gráficamente el ángulo de incidencia α , necesario para que el ángulo θ_L de las ondas longitudinales refractadas sea de 90° . Con esto se puede decir, que eligiendo un primer ángulo específico se pueden eliminar las ondas longitudinales refractadas que pueden causar interferencias o señales equivocadas en el equipo.

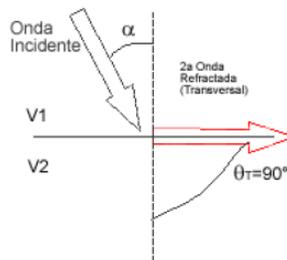
Figura No. 14 Envío de ondas longitudinales a la superficie



Generalmente los fabricantes de zapatas y transductores hacen este cálculo para manufacturar sus productos, sin embargo también es necesario realizarlo en aplicaciones de inmersión, es decir, en donde se introduce un transductor automatizado en un recipiente con una columna de material líquido que funciona como acoplante para inspeccionar una pieza.

Por otro lado, el ángulo de incidencia α necesaria para refractar una onda de corte θ_T a 90° se le conoce como segundo ángulo crítico y se muestra en la siguiente imagen No. 15

Figura No. 15 Envío de ondas transversales a la superficie



La mayoría de las inspecciones con haz angular se realizan entre el primero y segundo ángulo crítico, por lo que se propagan en el material únicamente las ondas de corte. Es importante señalar, que los fabricantes de zapatas para estas aplicaciones, graban en la zapata el valor del ángulo al que es refractada la onda dentro del material. Por tanto este valor no es la inclinación de la zapata sino el ángulo de la onda de corte refractada.

3.2.7 Atenuación.

Cuando el sonido viaja a través de un medio, su intensidad se disminuye con la distancia. En materiales ideales, la presión del sonido (amplitud de la señal) es reducida solamente por la propagación de la onda. Los materiales reales, sin embargo, producen un efecto que debilita el sonido mientras se encuentra más lejos. Este debilitamiento posterior resulta de la dispersión y de la absorción. La dispersión es la reflexión del sonido en otras direcciones diferentes a la dirección original de propagación. La absorción es la conversión de la energía ultrasónica a otras formas de energía. El efecto combinado de la dispersión y de la absorción se llama atenuación. La atenuación ultrasónica el índice de decaimiento de la onda que se propaga a través del material.

La atenuación del sonido dentro de un material por sí mismo no es, a menudo de interés intrínseco. Sin embargo, las características y las condiciones de carga naturales se pueden relacionar con la atenuación. La atención sirve como

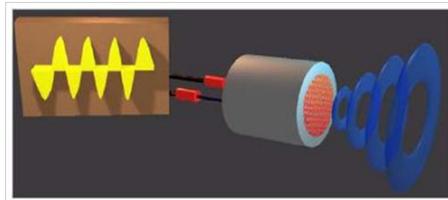
herramienta de medición que conduce a la transformación de teorías para explicar el fenómeno físico o químico que disminuye la intensidad ultrasónica.

3.3 Transductores Ultrasónicos.

La conversión de pulsos eléctricos a vibraciones mecánicas y viceversa es la base para la prueba ultrasónica. El fenómeno de la piezoelectricidad o el cristal piezoeléctrico es el corazón del transductor, pues convierte la energía eléctrica en vibraciones.

El elemento activo es básicamente un pedazo de material polarizado (es decir algunas partes de la molécula se cargan positivamente, mientras que otras partes de la molécula se cargan negativamente) con dos electrodos unidos a sus caras opuestas. Cuando una carga eléctrica se aplica a través del material, las moléculas polarizadas se alinean con la carga eléctrica, dando como resultado dipolo inducidos dentro de la estructura molecular o cristalina del material. Esta alineación de moléculas hace que el material cambie sus dimensiones, este fenómeno se conoce como electrostricción. Además, es un material permanentemente polarizado tal como el cuarzo (SiO_2) o el Titanio de Bario (BaTiO_3) producirá una carga eléctrica cuando el material cambie sus dimensiones, como resultado de una fuerza mecánica impuesta. Este fenómeno se le conoce como efecto piezoeléctrico.

Figura No. 15 piezoelectricidad conversión de pulsos Eléctricos a ondas ultrasónicas



Actualmente la mayoría de los transductores acústicos utilizados son elementos de cerámicas polarizadas que se obtienen por sintonización los cuales han resultado con grandes ventajas como lo son:

- Mejores transmisores
- Temperatura máxima de trabajo de 300°C

El espesor del elemento activo es determinado por la frecuencia deseada del transductor. Un elemento fino vibra con una longitud de onda que es dos veces su espesor. Por lo tanto, los cristales piezoeléctricos se cortan a un espesor que sea de media longitud de onda deseada.



3.3.1 Características de los transductores.

El transductor es una parte muy importante del sistema ultrasónico de instrumentación.

El traductor contiene un elemento piezoeléctrico, que convierte señales eléctricas en vibraciones mecánicas y viceversa. Muchos factores, incluyendo el material, contracción mecánica y eléctrica, y las condiciones de carga mecánica y eléctrica externas, influyen en el comportamiento de un traductor. La construcción mecánica incluye parámetros tales como el área superficial, amortiguamiento mecánico, el contenedor del cristal, el tipo de conector y otras variables de la construcción física. Los traductores de contacto también incorporan una placa de desgaste para proteger el elemento activo contra la fricción.

Los transductores se construyen para soportar un cierto uso rudo, pero deben ser manejados cuidadosamente. Emplear mal, por ejemplo, dejarlo caer, puede causar que se agriete la placa de desgaste, del elemento, o del material de respaldo. Los daños a un transductor se observan a menudo en una presentación de barrido-A, como ampliación del pulso inicial.

3.3.2 Tipos de transductores.

Los transductores ultrasónicos son manufacturados para una variedad de usos y aplicaciones. Se debe prestar atención al momento de seleccionar el transductor apropiado para un determinado uso. Se han expresado algunos factores que afectan la detectabilidad de una discontinuidad. Se sabe que es importante elegir los transductores que tenga la frecuencia. Ancho de banda y focalización deseada para optimizar la capacidad de la inspección. El transductor se elige, la mayoría de las veces, para mejorar la sensibilidad o la resolución del sistema.

Los transductores se pueden clasificar de acuerdo a su aplicación:

- **Transductores de contacto**

Se utilizan para las inspecciones de contacto directo, y son generalmente manipulados a mano. Tienen una cubierta de protección para soportar la fricción al contacto con una variedad de materiales. Estos transductores tienen un diseño ergonómico de modo que son fáciles de agarrar y de moverse a lo largo de una superficie. Tiene a menudo cubiertas reemplazables de desgaste para alargar su vida útil. Los materiales acoplantes como agua, grasa aceites o materiales

comerciales, se utilizan para quitar el exceso de aire entre el transductor y el componente que es examinado.

Figura No. 16 Transductores de contacto.



- **Transductores duales**

Contienen dos elementos funcionando independientemente en una sola cubierta. Unos de los elementos transmite y otro recibe la señal ultrasónica. Los elementos activos se pueden elegir para que sus capacidades de emisión y recepción proporcionen al transductor una señal más clara, así como los transductores para usos especiales, tales como los utilizados en la inspección de materiales granulosos. Los transductores duales están especialmente adaptados para hacer medidas en aplicaciones donde los reflectores están muy cerca del transductor, puesto que este diseño elimina el efecto de anillo que experimenta los transductores de un solo elemento (cuando los transductores de un solo elemento están funcionando en modo pulso-eco, el elemento no puede comenzar a recibir señales reflejadas hasta el elemento ha parado de emitir sonido desde su función de transmisión). Los transductores duales son muy útiles al hacer medidas del espesor de materiales finos y al examinar las discontinuidades cercanas superficiales. Los dos elementos están orientados en ángulo, uno con respecto al otro para crear una trayectoria del sonido de haz cruzado en el material de prueba.

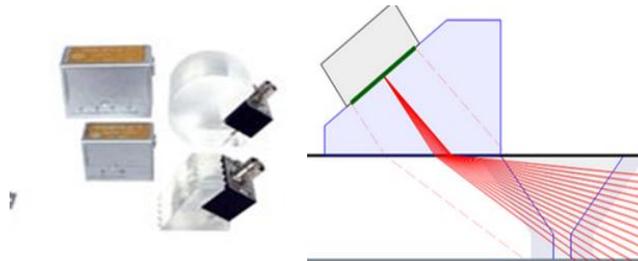
Figura No. 17 Transductor dual.



- **Transductores de haz angular**

Son utilizados típicamente para inducir una onda refractada de corte en el material de prueba. Los traductores se pueden comprar en una variedad de ángulos fijos o en las versiones ajustables donde el usuario determina los ángulos de incidencia y la refracción. En las versiones de ángulo fijo, el ángulo de refracción que está marcado en el traductor, es solamente para un material en particular, que es generalmente de acero. La trayectoria angular del sonido permite que el haz ultrasónico sea reflejado, desde la pared posterior, para mejorar la detectabilidad de discontinuidades, dentro y alrededor de áreas soldadas. También se utiliza para generar ondas superficiales para el uso en la detección de discontinuidades en la superficie de un componente.

Figura No. 18 Transductor de haz angular.



3.4 Cable Coaxial.

Es un accesorio más del sistema de ultrasonido, el cual en sus extremos posee conectores que unen el instrumento y el palpador. Los tipos más comunes son:

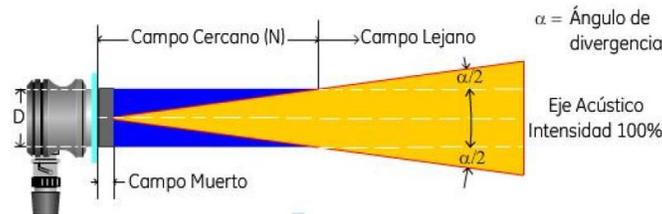
- Microdot: para palpadores muy pequeños con rosca
- BNC: de medio giro
- UHF: para muy alta frecuencia con rosca, usado en inmersión.
- Lemo: de media presión, los hay de dos tamaños 0 y 00

3.5 Haz Ultrasónico.

El sonido que emana de un transductor piezoeléctrico no se origina en un punto, sino que por el contrario se origina en la mayor parte de la superficie del elemento piezoeléctrico.

Los transductores redondos se conocen a menudo como transductores de fuente de pistón, porque el haz ultrasónico se asemeja a una masa cilíndrica delante del transductor. El haz ultrasónico de un transductor piezoeléctrico típico se muestra en la figura No 20.

Figura No. 19 Haz Ultrasónico.



Puesto que el ultrasonido se origina de un número de puntos a lo largo de la cara del transductor, la intensidad del ultrasonido a lo largo del haz. Es afectada por la interferencia constructiva y destructiva de la onda. Estos efectos, a veces, también se conocen como efectos de la difracción. Esta interferencia de la onda conduce a fluctuaciones extensas en la intensidad ultrasónica cerca de la fuente y se conoce como el campo cercano, puede ser extremadamente difícil evaluar discontinuidades en los materiales, cuando se encuentran dentro de esta área. La longitud del campo cercano puede calcularse en forma teórica con la siguiente ecuación:

$$N = \frac{D^2 F}{4 V} \text{-----Ecuación (7)}$$

- N = Longitud del campo cercano
- D = Diámetro del transductor
- f = Frecuencia del transductor
- v = Velocidad de la onda ultrasónica
- λ = Longitud de onda
- A= Área de la superficie de contacto del transductor

Las ondas de presión se combinan para formar un frente relativamente uniforme en el extremo del campo cercano. El área más allá del campo cercano donde está más uniforme el haz ultrasónico se llama el campo lejano o Zona de Fraunhofer. En el campo lejano, el haz se separa hacia fuera en un patrón que se origina desde el centro del transductor. La transición entre el campo cercano y el campo lejano ocurre en un a distancia N, y se conoce como el "foco natural" de un transductor plano (o deslocalizado). El área, más allá del campo cercano, es donde la onda acústica se comporta bien y en donde tiene su fuerza máxima. Por lo tanto, los resultados óptimos de la detección serán obtenidos cuando las discontinuidades se encuentran en esta área.

3.5.1 Divergencia del Haz Ultrasónico.

Los transductores redondos se conocen a menudo como transductores de fuente de pistón, porque el campo ultrasónico se asemeja a una masa cilíndrica delante del transductor. Sin embargo, la energía en el haz no se propaga en forma de un cilindro, sino que por el contrario se separa del haz hacia afuera mientras se propaga a través del material. El fenómeno se conoce generalmente como extensión de haz, pero algunas veces también es conocido como divergencia del haz o difracción ultrasónica. Se debe observar que hay realmente una diferencia entre la extensión del haz y la divergencia del mismo. La extensión del haz es una medida de ángulo completo, de lado a lado del lóbulo principal del haz ultrasónico en el campo lejano. La divergencia del haz es una medida del ángulo a partir un lado del haz ultrasónico al eje central de haz, en el campo lejano. Por lo tanto, la extensión del haz es dos veces la divergencia del mismo.

Aunque la extensión del haz debe ser considerada al realizar una inspección ultrasónica es importante observar que el campo lejano, o la zona de Fraunhofer, la onda de presión máxima se encuentra siempre a lo largo del eje acústico (línea central) del transductor. Por lo tanto, las reflexiones más fuertes vienen con mayor probabilidad del área directamente delante del transductor. La extensión del haz ocurre porque la partícula del material que vibra (con la cual está viajando la onda) no transfiere siempre toda su energía en la dirección de propagación de la onda. La extensión del haz es determinada en gran parte por la frecuencia y el diámetro del transductor. La extensión del haz es mayor al usar un transductor de baja frecuencia que al usar un transductor de alta frecuencia. Si el diámetro del transductor aumenta, la extensión del haz será reducida.

El ángulo de divergencia del haz es una consideración importante de la selección del traductor por un par de razones. Primero, la extensión del haz baja la amplitud de las reflexiones puesto que los campos ultrasónicos se concentran menos y, por lo tanto es más débil. En el segundo lugar, la extensión del haz puede hacer más difícil la interpretación de las señales debido a las reflexiones de los lados laterales del objeto de prueba, o de otras características fuera del área de inspección. La caracterización del campo ultrasónico generado por un transductor, es un requisito previo para entender las señales observadas.

La mitad del ángulo de divergencia (γ) se calcula en forma teórica utilizando la fórmula siguiente:



$$\text{Sen } \gamma = \frac{1.22 V}{DF} \text{----- Ecuación (8)}$$

Dónde:

γ = la mitad del ángulo de divergencia.

D = Diámetro del transductor.

F = Frecuencia del transductor.

V = Velocidad de la onda ultrasónica

La constante 1.22 en la ecuación anterior es usada para una intensidad teórica nula (energía del haz ultrasónico 0%)

3.6 Equipos Ultrasónicos

En esencia los equipos ultrasónicos cumplen la función de generar y recibir señales eléctricas, mismas que son medidas e interpretadas con ayuda de distintos accesorios que proporcionan algunos modelos diversos. Básicamente en el mercado existen **detectores de fallas y medidores de espesores**, con diferentes presentaciones y funciones que facilitan el trabajo de interpretación del inspector, sin embargo todos los equipos cuentan con las mismas funciones básicas, para configurar los parámetros más importantes de la inspección como son la frecuencia, el rango, entre otros.

Los instrumentos ultrasónicos son equipos de comparación contra un estándar de referencia, por lo tanto, un instrumento ultrasónico se debe calibrar antes de ser utilizado. Entonces, podemos decir que la **calibración** es el proceso de ajustar el instrumento utilizando un estándar de referencia.

La mayoría de los instrumentos ultrasónicos considerados para utilizarse en la industria, son unidades que operan por la técnica pulso-eco con presentación tipo "A" los cuales, incluyen una gran variedad de configuraciones que difieren en cuanto al grado de complejidad, portabilidad, tipo de pantalla, capacidad de almacenamiento de datos en la memoria integrada, etc.

En el funcionamiento de un instrumento ultrasónico incluye la determinación del tiempo de aparición y el tiempo de amplitud de la señal, así como diferentes aplicaciones que se pueden encontrarse integrados y entre los cuales destacan:

- La curva DAC electrónica
- Compuertas
- Monitor
- Medición de espesores digitalmente

- Cálculos matemáticos de distancias también en forma digital, cuando se utiliza haz angular.

Figura No. 20 Equipos ultrasónicos.



3.6.1 Medidores de espesores

Este tipo de instrumentos están diseñados, específicamente, para determinar las dimensiones del espesor de algún material y determinar si existe algún desgaste debido a la corrosión producida por la reacción entre el fluido contenido y las paredes internas del elemento de inspección. Los programas que controlan estos dispositivos, realizan una compensación automática del viaje de onda ultrasónica, debido a la configuración de los transductores duales, que son construidos con una ligera inclinación de los cristales para provocar una focalización que le proporciona la sensibilidad necesaria a la inspección. A causa de esta inclinación, el viaje de la onda resulta ser mayor, y el cálculo final del recorrido del viaje depende de la eficiencia del instrumento para realizar la compensación.

Dentro de la variedad de medidores de espesores existentes, se pueden encontrar modelos básicos que proporcionan únicamente valores numéricos del espesor sin embargo aún el modelo más austero cuenta con funciones para modificar la velocidad de propagación en el material, así como el retardó del palpador, para poder ejecutar una calibración en distancia del instrumento. La siguiente figura muestra un equipo básico medidor de espesores.

Figura No. 21 Equipo ultrasónico medidor de espesores.



Hay otros tipos de equipos ultrasónicos que contienen funciones extras, pueden complementar a un medidor de espesores, para su utilización en aplicaciones específicas como puede ser la medición o discriminación de algún recubrimiento de pinturas u otro tipo de material aislante de la temperatura. En algunas ocasiones dichas funciones son actividades con la adaptación de transductores especiales, fabricados en configuraciones particulares para una aplicación. Por ejemplo, la discriminación de recubrimientos se lleva a cabo por medio de una función llamada **Dual-Mult** (aunque puede conocerse con otro nombre según el fabricante). En este método un pulso ultrasónico se trasmite desde el transductor (elemento activo) del palpador al material inspeccionado, sin embargo, en este método de medición con eco múltiple, una parte de la energía del pulso ultrasónico se refleja en la interface entre el recubrimiento (capa de pintura) y el material inspeccionado. El resto de la energía del pulso transmitido continua su viaje a través del material inspeccionado y regresa como eco de pared posterior.

El tiempo de vuelo entre dos ecos sucesivos de pared posterior se utiliza junto con la velocidad del ultrasonido en el material, para determinar el espesor del material. Los ecos procedentes del recubrimiento son ignorados. El principio de funcionamiento del modo de medición con eco múltiple, utilizando un palpador de elemento sencillo (emisor-receptor), se muestra en la siguiente figura.

Figura No. 22 Equipo ultrasónico medidor de espesores sin estimación de recubrimiento.



La dimensión mínima del espesor del recubrimiento representa una variable importante en su medición, debido a la capacidad del equipo y al rango de inspección del transductor. Para estos casos se puede contar con medidores de espesores de pequeñas dimensiones, que además pueden tener transductores de altas frecuencias.

Así también es posible recurrir a instrumentos de alta precisión en espesores pequeños, que trabajan con ayuda de transductores especiales de diámetros reducidos y altas frecuencias.

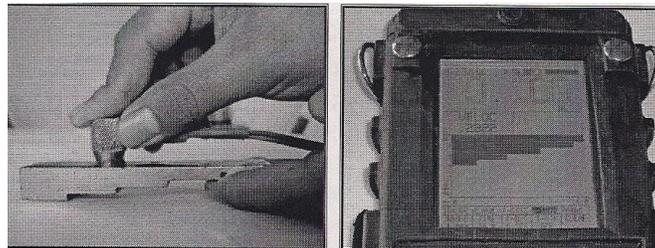
Además de este tipo de funciones, también existen medidores de espesores con herramientas y presentaciones de inspección más avanzadas, como son barrido A y el barrido B. Las presentaciones visuales del barrido representan una ventaja para el inspector, ya que conociendo el comportamiento del sonido en el material, se puede determinar si el eco considerado por las compuertas es realmente la pared posterior o alguna otra discontinuidad, esto en el caso del **barrido “A”**.

Figura No. 23 Equipos ultrasónicos con imagen barrido tipo A.



El **barrido “B”** es considerado como un corte transversal de la pieza inspeccionada, el cual muestra cómo se presenta físicamente el deterioro o cambio de sección.

Figura No. 24 Equipos ultrasónicos con imagen barrido tipo B.



Estos equipos le permiten al personal realizar, en algunos casos, planes de inspección para determinados componentes, como por ejemplo recipientes sometidos a presión; cuentan además con una memoria interna que permite almacenar los archivos de configuración y la toma de lecturas.

3.7 Acoplante

Para realizar una inspección por ultrasonido en forma satisfactoria es necesario que exista la transmisión de las ondas ultrasónicas desde el transductor a la pieza de prueba, para lograrlo se recurre al uso de un medio líquido o semilíquido acústicamente conductor que sirve como puente, este medio es conocido como acoplante.

Como sabemos, el aire es un transmisor muy pobre de las ondas ultrasónicas. Ya que la diferencia de impedancias acústicas entre él y la mayoría de sólidos es muy grande, una capa muy delgada de aire evita severamente la transmisión de las ondas ultrasónicas.

El objetivo principal del acoplante es eliminar el aire atrapado en el espacio entre las superficies del transductor y de la pieza inspeccionada. De igual manera también tiene una utilidad bastante importante, la cual es de servir como lubricante para reducir la fricción entre la pieza de prueba y el palpador y así de alguna manera garantizar el tiempo de vida del propio palpador facilitando a su vez el desplazamiento del mismo en la inspección.

Las propiedades de un acoplante deben cubrir ciertos requisitos para que no dañen la superficie del material examinado. Se utiliza por lo general agua, que es un elemento fácil de conseguir y accesible, pero se le pueden agregar algunos agentes antioxidantes para evitar una reacción con la superficie. Otros acoplantes incluyen a los aceites, grasas, glicerinas, gel pastas, etc. Para la venta en el mercado se pueden encontrar presentaciones especiales de acoplante, desde gel químicamente apropiado para no reaccionar con los materiales inspeccionados, que además cuenta con altos puntos de evaporación, viscosidad y humectabilidad adecuadas; hasta presentaciones en polvo para preparar la cantidad necesaria y poder almacenarlo más fácilmente.

Figura No. 25 Acoplante.



3.8 Inspección con haz recto.

Para realizar la inspección con haz recto se requiere de un transductor de un cristal o de dos cristales, dependiendo de la aplicación, ya sea detección de fallas o medición de espesores, respectivamente. El método de acoplamiento comúnmente utilizado, en las inspecciones generales es el contacto entre el transductor y la pieza de prueba, y la técnica de inspección más utilizada es la denominada Pulso-Eco, es decir, el transductor emite una onda ultrasónica a través del material, y cuando la onda encuentra a su paso una interface acústica o algún reflector o discontinuidad, esta onda regresa a la fuente emisora. Los



equipos de ultrasonido se encargan de emitir y recibir señales eléctricas provenientes del transductor las cuales son graficadas en la pantalla en una presentación llamada barrido tipo “A”

Dicha presentación se compone por un sistema de dos ejes; el eje vertical que representa la cantidad de energía que la onda va perdiendo mientras recorre el espesor de la pieza de prueba. Esta escala esta seccionada en cinco o diez divisiones; la altura máxima de la escala es del 100% de energía. La altura que alcanza una señal en esta escala, puede ser regulada con el control de amplitud o ganancia de la señal, el cual contienen todos los equipos ultrasónicos. El control de ganancia se modifica en unidades de decibeles (dB), que es la unidad de medida utilizada para el nivel de potencia o intensidad del sonido.

Por otro lado el eje horizontal (línea de tiempo base) esta seccionada en diez divisiones que cuentan con cinco subdivisiones las cuales pueden ser configuradas de acuerdo al rango en el que se realizaran las mediciones, para fines prácticos de inspección se utiliza como una escala de distancia, ya que el tiempo es directamente proporcional a la distancia.

En este tipo de inspecciones existe siempre una señal, ubicada cerca del costado izquierdo de la pantalla, la cual es generada por las vibraciones existentes en el campo cercano del haz ultrasónico. Esta señal es conocida como pulso inicial o campo muerto lo cual limita la posibilidad de detectar discontinuidades cercanas a la superficie.

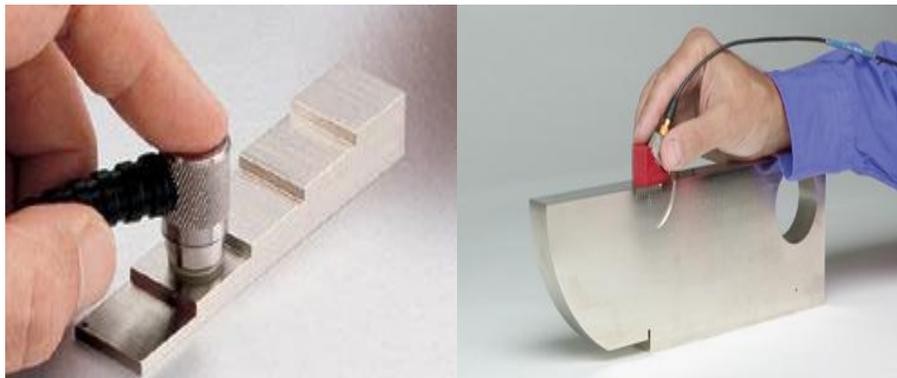
3.9 Calibración con haz recto.

Antes de realizar una inspección con un equipo ultrasónico, es necesario calibrar el equipo para obtener las lecturas de distancia, exactas y confiables. Hay dos parámetros importantes que se deben ajustar al calibrar el equipo, el primero es la velocidad de propagación de la onda ultrasónica, a través del material de prueba; este ajuste es relativamente debido a que se trata de una propiedad específica de cada material, lo que obliga al inspector a realizar una calibración por cada material que se deba inspeccionar. El segundo es el retardo del probador que es la distancia a partir de la cual se considera el cero en la lectura de longitud. Esta distancia la toma el equipo, inicialmente, desde la superficie inferior del elemento activo y no desde la superficie de contacto.

Es necesario contar con bloques de calibración, que tengan diferentes espesores conocidos, y es recomendado por algunos documentos que sea fabricado bajo las mismas condiciones que las de la pieza de prueba. Los fabricantes suelen entregar los bloques certificados, fabricados en acero estructural, con el que se puede corroborar el buen funcionamiento del equipo; sin embargo para inspeccionar un material en especial, es recomendable siempre realizar la calibración sobre un bloque hecho con las especificaciones anteriores, o en su

defecto sobre espesores conocidos de la misma pieza, en la siguiente imagen se muestran algunos bloques de calibración, aunque existen gran variedad de estos para cada aplicación.

Figura No. 26 Bloques de calibración.

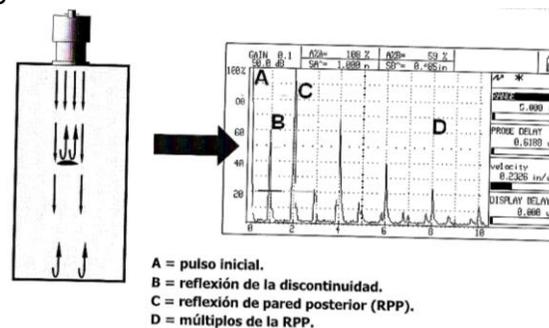


Se deben generar dos señales a diferentes distancias, con ayuda de los espesores del bloque, para configurar el equipo ultrasónico. A este tipo de calibración se le conoce como calibración a dos puntos, se realiza el ajuste en dos rangos de espesores. Esto significa que los resultados más confiables se obtendrán en piezas que tengan un espesor que se encuentre en este rango.

3.10 Detección de discontinuidades.

Una vez que se ha realizado la calibración en distancia del equipo, se puede proceder a una inspección de una pieza en la figura No. 27 se puede ver que una discontinuidad afecta el paso del haz ultrasónico hasta la pared posterior, es por eso que en el equipo se puede ver un eco producido por la discontinuidad.

Figura No. 27 Detección de discontinuidades.



La localización de los defectos en un material de prueba está en función de la detectabilidad, que corresponde a la habilidad de un sistema de inspección ultrasónica para detectar la presencia de una discontinuidad. La detectabilidad está determinada por una serie de variables tanto de la pieza que está siendo inspeccionada como de la propia discontinuidad.



Variables de la pieza a inspeccionada

a) Condición superficial. La rugosidad superficial y superficies con pintura mal adherida, óxido o corrosión pueden alterar los resultados de la inspección y pueden evitar que se realice una inspección completa debido a que se produzca dispersión del ultrasonido o por que exista un mal acoplamiento, lo anterior puede causar:

- Pérdida de la amplitud de indicaciones de discontinuidades.
- Pérdida del poder de la resolución debido al incremento en la longitud de onda del campo muerto.

Para minimizar estos efectos se debe remover tanto la pintura, el óxido y la corrosión antes de realizar la prueba.

b) Geometría de la pieza. Cuando la superficie posterior no es paralela a la superficie frontal, o cuando la divergencia del haz alcanza una superficie lateral de la pieza, se puede producir dispersión y conversión de modo, por lo que se pueden generar indicaciones sobre la pantalla del instrumento que puedan crear confusión. En la inspección de piezas con superficies paralelas es importante monitorear la reflexión de pared posterior para evaluar y asegurar que la onda ultrasónica pasa adecuadamente a través de la pieza.

3.11 Métodos de evaluación

Las pruebas no destructivas pueden ser diseñadas y especificadas para validar aplicaciones individuales, esto significa que pueden ser específicas para resolver un problema. Para ello, cada prueba debe ser del total entendimiento de la naturaleza y función de la pieza que está siendo inspeccionada y las condiciones de su servicio.

El nivel calificado como Nivel II o III en cualquier método debe estar familiarizado con el manejo e interpretación de documentos aplicables al método que está calificando y a los productos que debe inspeccionar. La inspección de un componente que este regulado o que sea critico dentro de la industria puede estar cubierta por múltiples documentos como códigos, normas, especificaciones y procedimientos.

Existe un gran número de organizaciones responsables de la edición y revisión de estos documentos, por mencionar algunos: ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos), AWS (Sociedad Americana de Soldadura), API (Instituto americano del Petróleo), etc.



CAPITULO IV

PROCEDIMIENTO DE EVALUACION Y RESULTADOS DE LA INSPECCION POR LIQUIDOS PENETRANTES (CASO PRACTICO)

4.1 Ficha técnica del equipo

El presente trabajo, además de establecer el campo de aplicación e importancia de los Ensayos No Destructivos en el ámbito de la seguridad, se incluye la evaluación de un caso práctico donde se efectúan las técnicas de líquidos penetrantes removibles con solvente y la medición de espesores con ultrasonido.

En este capítulo se muestran los datos del equipo, así como su uso dentro de la empresa, planos con cálculos de acuerdo con el código ASME, procedimientos de cada prueba, criterios de aceptación y desde luego resultados, todo esto con el objetivo de determinar si el equipo aún se encuentra en condiciones seguras de operación, o en caso contrario si este debe ser remplazado.

Datos de la empresa:	
Nombre, razón o denominación social del propietario: Confidencial	
Domicilio completo del centro de trabajo en donde se ubica el equipo: Confidencial	
Datos Generales del equipo:	
Nombre o número de identificación: Tanque Pulmón de 4000 litros	
Número de serie: 09860	
Ubicación física del equipo: Cuarto de máquinas.	
Tipo y uso: Cilindro vertical para almacenamiento de aire utilizado en maquinaria y equipo con operaciones de tipo neumática como empaque y limpieza de equipos con pistolas de aire a presión.	
Especificaciones técnicas del equipo:	Figura
Fabricante, lugar y año de fabricación: No Disponible, México, 1996 Código principal de diseño y fabricación: A.S.M.E. Presión de diseño: 10.5 Kg/cm ² Presión de operación: 7.0 Kg/cm ² Presión máxima de trabajo permitida: 12.9664 kg/cm ² Temperatura de diseño: 70°C. Temperatura de operación: 35°C Capacidad volumétrica: 3998.60 L. Tipo de tapas: Semielípticas Espesor del cuerpo y tapas: Tiempo de operación: 12 años Diámetro exterior: 1219.40mm Longitud del cuerpo: 3100mm Número y tipos de dispositivos de seguridad: 2 Válvulas de seguridad 19 mm Ø calibradas a 7.7 Kg/cm ² Y 1 Manómetro de 0 - 10 Kg/cm ² .	
Técnicas de inspección:	
Tipo de inspección (Superficie): Líquidos penetrantes visibles removibles con solvente (IIC) en soldaduras, boquillas y bridas.	
Tipo de inspección (Volumen): Ultrasonido industrial (UT) Medición de espesores en cuerpo y tapas	



4.2 Procedimiento de evaluación

Procedimiento	P-PT-001
Procedimiento para la aplicación de Líquidos Penetrantes Visibles removibles con Solvente Método IIC	

Objetivo

- Establecer los parámetros técnicos y criterios de aceptación para realizar la inspección por medio de ensayos no destructivos (END) utilizando líquidos penetrantes visibles removibles con solvente (Tipo IIC)
- Evaluar la integridad del Tanque Pulmón de 4000 litros, por medio de Líquidos Penetrantes visibles removibles con solvente (tipo IIC), de acuerdo con lo establecido en el método de la norma ASTM E-165 Standard Test Method for Liquid Penetrant Examination (Procedimiento General Para la Inspección con Líquidos Penetrantes) edición 2000. Y aplicando los criterios de aceptación y rechazo establecidos en el Código para Recipientes a Presión y Calderas de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME), Secciones V y VIII, División 1, edición 2004.

Alcance:

- **Líquidos penetrantes visibles removibles con solventes** Se aplicaron para la inspección de las soldaduras del cuerpo y tapas a fin de detectar discontinuidades superficiales tales como poros, grietas, socavados, etc. que pudiera provocar un riesgo en la integridad de las mismas. Ver detalle en el reporte.

Tabla de contenido.

- 1.0 Campo de aplicación
- 2.0 Referencias
- 3.0 Materiales
- 4.0 Requisitos generales
- 5.0 Etapas y áreas de examen
- 6.0 Desarrollo de la técnica.
- 7.0 Aplicación de penetrante
- 8.0 Tiempo de penetración
- 9.0 Interpretación de Indicaciones
- 10.0 Evaluación de indicaciones
- 11.0 Criterios de aceptación y rechazo.
- 12.0 Limpieza posterior.
- 13.0 Apéndices



1.0 Campo de aplicación.

- 1.1 El presente procedimiento describe la exanimación por Líquidos Penetrantes Visibles removibles con solvente en materiales metálicos (ferrosos y no ferrosos) y no metálicos de naturaleza no porosa.
- 1.2 Este procedimiento es aplicable para la detección de discontinuidades abiertas a la superficie tales como grietas, poros traslapes, laminaciones, faltas de fusión etc.
- 1.3 Este procedimiento puede ser aplicado en superficies con acabado normal de soldadura, rolado, de fusión, de forjado, etc.

2.0 Referencias.

- 2.1 ASTM Standard Test Method for Liquid Penetrant Examination ASTM E165 Método Normalizado para la exanimación con líquidos penetrantes.

3.0 Materiales.

- 3.1 Líquidos penetrantes visibles
- 3.2 Removedor/Limpiador
- 3.3 Revelador
- 3.4 Accesorios para limpieza (cepillo de alambre, papel trapo, estopa etc.)

4.0 Requisitos Generales.

- 4.1 El personal que realice la prueba, interprete, evalúe y reporte los resultados de la inspección por líquidos penetrantes debe tener conocimientos teóricos necesarios como Nivel I, Nivel II o Nivel III, de acuerdo al procedimiento PTE-CT-001 “de calificación y certificación del personal el cual cumple con los requisitos establecidos en la Practica Recomendada SNT-TC-1A-2006.
- 4.2 No se debe mezclar materiales penetrantes de familias o marcas diferentes, ya que no todos los materiales son compatibles entre sí, los materiales deben ser especificados de acuerdo con el tipo de técnica a aplicar.
- 4.3 Para la exanimación con líquidos penetrantes visibles, la temperatura del material a inspeccionar deberá estar comprendida entre los 10 a 52°C (50 a 127°F) durante todo el desarrollo de la prueba.



4.4 Cuando se lleve a cabo la inspección, las indicaciones pueden ser examinadas con luz natural o artificial. Se debe tener una intensidad de al menos 1000 luxes (100cd/pie) en el sitio del examen.

4.5 El personal que realice la inspección deberá contar con exámenes de agudeza visual para garantizar la correcta inspección.

5. Etapas y áreas de examen.

5.1 La zona inspeccionada deberá ser seleccionada por el cliente. (Cuerpo uniones soldadas, piezas fundidas, etc.)

5.2 En uniones soldadas, la zona de interés incluye, al menos 1 pulgada adyacente a ambos extremos del cordón de soldadura.

6. Desarrollo de la técnica.

6.1.1 Preparación de la superficie.

6.1.2 La superficie a ser examinada debe estar libre de óxido, tierra, polvo, escamas, suciedad, pintura, grasa o cualquier material extraño que pueda interferir con el desarrollo de la prueba.

6.1.3 La superficie a ser examinada puede ser acondicionada con cepillo de alambre (si fuera necesario) más removedor/limpiador y finalmente aplicando removedor/limpiador directamente sobre la superficie a inspeccionar tallando la superficie con el material absorbente (papel, trapo o estopa)

6.1.4 Es esencial que la superficie a ser inspeccionada se deje secar a temperatura ambiente por lo menos 3 minutos antes de la aplicación del penetrante, ya que cualquier residuo puede impedir que el penetrante se introduzca por capilaridad en las discontinuidades expuestas.

6.2 Aplicación del penetrante.

6.2.1 El líquido penetrante debe ser aplicado sobre la superficie a examinar con brocha y/o rociado, evitando su aplicación excesiva o innecesaria y asegurándose cubrir con una capa homogénea toda el área a examinar evitando la formación de encharcamientos.



6.3 Tiempo de penetración.

6.3.1 El tiempo de penetración no debe ser menor al tiempo recomendado por el fabricante, en caso de que se desconozca el tiempo de penetración recomendado, puede ser utilizado el tiempo de penetración especificado en la siguiente tabla No. 1.

Tabla No. 1

Material	Método de fabricación	Tipo de discontinuidad	Tiempo de permanencia en minutos ^A	
			Penetración _B	Revelado _C
Aluminio, Magnesio, Acero, Latón, Bronce, Titanio y Aleaciones a alta temperatura	Fundición y soldadura	Traslapes, Porosidad, Faltas de fusión y grietas	5	10
	Materiales conformados por extrusión, Forjado o laminado	Traslapes y Grietas	10	10
Herramientas con puntas de carburo	-----	Faltas de fusión, porosidad y Grietas	5	10
Plásticos	Todas las formas	Grietas	5	10
Vidrio	Todas las formas	Grietas	5	10
Cerámica	Todas las formas	Grietas y porosidad	5	10

Fuente: Código ASME Secc VIII Div. 1 apéndice 8 inspección por líquidos penetrantes

^A Para un rango de temperatura de 10 a 38 °C (50 a 100 °F) para penetrantes fluorescentes y de 10 a 52°C (50 a 125°F) para penetrantes visibles.

^B El tiempo máximo de permanencia es establecido por el fabricante.

^C El tiempo de revelado inicia cuando el revelador se ha secado sobre la superficie de la pieza.

6.3.2 Debe evitarse que el penetrante se seque sobre la superficie examinada, en caso de que esto ocurriera, debe aplicarse penetrante y nuevamente.

6.3.3 Si el penetrante se ha secado completamente, debe removerse con completamente con abundante removedor/limpiador, ya que el penetrante alojado en las discontinuidades no podrá emerger al aplicarse el revelador. Se tendrá que repetir el proceso desde la preparación de la superficie.

6.4 Remoción del exceso de penetrante.

6.4.1 Una vez transcurrido el tiempo de penetración, el exceso de penetrante debe ser removido de la superficie de la pieza teniendo cuidado de no remover el penetrante alojado en las discontinuidades.



- 6.4.2 Puede removerse el exceso de penetrante con el uso de material absorbente limpio y seco y repetir la operación hasta que la mayoría de las tazas de penetrante ha sido retirada; después con el material absorbente ligeramente humedecido con removedor/limpiador se frota ligeramente (entre dos o tres pasadas)
- 6.4.3 Está prohibido aplicar directamente removedor/limpiador sobre la pieza, ya que podría ocasionar un sobre lavado del penetrante.
- 6.4.4 Una vez que sea removido el exceso de penetrante esta se debe secar con material absorbente, aire a presión o a temperatura ambiente por lo menos 5 minutos antes de aplicar el revelador.

6.5 Aplicación del revelador.

- 6.5.1 La aplicación del revelador puede ser en polvo o en suspensión no acuosa.
- 6.5.2 En polvo seco debe espolvorearse en toda la superficie de prueba, removiendo el exceso por medio de aire a baja presión (soplando ligeramente la superficie) o golpeando ligeramente la pieza. (este tipo de revelador proporciona mejores resultados con penetrantes fluorescentes en acabados burdos)
- 6.5.3 La aplicación del revelador en suspensión no acuosa (para este caso) debe ser aplicado por aspersion en toda la superficie de prueba, de tal manera que se obtenga una capa de revelador homogénea y uniforme.

6.6 Tiempo de revelado.

- 6.6.1 El tiempo de revelado no debe ser menor a 10 minutos
- 6.6.2 El tiempo de revelado inicia inmediatamente después de:
 - La aplicación del revelador (en polvo)
 - Cuando la capa húmeda (en suspensión no acuosa) que se seque la superficie de la pieza.
- 6.6.3 El tiempo máximo permitido para reveladores no acuosos es de 1 hora.

7. Interpretación de indicaciones.

- 7.1 Las superficies deben observarse después de la aplicación del revelador y mientras transcurre el tiempo de revelado, para monitorear el desarrollo de las indicaciones que tiendan a sangrar en exceso, ya que esto ayudara a la interpretación de las indicaciones.



7.2 La interpretación de las indicaciones debe efectuarse después de que el revelador haya permanecido durante un tiempo de revelado no menor de 10 minutos.

7.3 La interpretación de las indicaciones obtenidas con líquidos penetrantes visibles debe efectuarse bajo las condiciones de iluminación establecidas en el numeral 4.4.

8. Evaluación de indicaciones.

8.1 Las indicaciones detectadas durante el desarrollo de la prueba deben ser evaluadas después de haber sido interpretadas.

9. Criterios de aceptación y rechazo.

9.1 Los criterios de aceptación y rechazo deben ser aplicados para evaluar las indicaciones detectadas, para la evaluación de recipientes a presión se apegara al criterio establecido en el siguiente documento:



Documento Original
Código ASME BPV Sec. VIII Div. 1 Appendix 8 Ed. 2004
“Methods for liquids penetrants examination (PT)”

APPENDIX 8
METHODS FOR
LIQUID PENETRANT EXAMINATION (PT)

NOTE: Satisfactory application of this method of examination requires special skills in the techniques involved and in interpreting the results. The requirements specified herein presume application by suitably experienced personnel.

8-1 SCOPE

- (a) This Appendix describes methods which shall be employed whenever liquid penetrant examination is specified in this Division.
- (b) Article 6 of Section V shall be applied for detail requirements in methods, procedures and qualifications, unless specified within this Appendix.
- (c) Liquid penetrant examination shall be performed in accordance with a written procedure, certified by the Manufacturer to be in accordance with the requirements of T-150 of Section V.

8-2 CERTIFICATION OF
COMPETENCY
OF NONDESTRUCTIVE
EXAMINATION PERSONNEL

The manufacturer shall certify that each liquid penetrant examiner meets the following requirements.

- (a) He has vision, with correction if necessary, to enable him to read a Jaeger Type No. 2 Standard Chart at a distance of not less than 12 in. (305 mm), and is capable of distinguishing and differentiating contrast between colors used. These requirements shall be checked annually.
- (b) He is competent in the techniques of the liquid penetrant examination method for which he is certified, including making the examination and interpreting and evaluating the results, except that, where the examination method consists of more than one operation, he may be certified as being qualified only for one or more of these operations.

8-3 EVALUATION OF INDICATIONS

An indication is the evidence of a mechanical imperfection.

Only indications with major dimensions greater than 1/16 in. shall be considered relevant.

- (a) A linear indication is one having a length greater than three times the width.
- (b) A rounded indication is one of circular or elliptical shape with the length equal to or less than three times the width.
- (c) Any questionable or doubtful indications shall be reexamined to determine whether or not they are relevant.

8-4 ACCEPTANCE STANDARDS

These acceptance standards shall apply unless other more restrictive standards are specified for specific materials or applications within this Division.

All surfaces to be examined shall be free of:

- (a) relevant linear indications;
- (b) relevant rounded indications greater than 3/16 in. (4.8 mm);
- (c) four or more relevant rounded indications in a line separated by 1/16 in. (1.6 mm) or less (edge to edge);
- (d) an indication of an imperfection may be larger than the imperfection that causes it; however, the size of the indication is the basis for acceptance evaluation.

8-5 REPAIR REQUIREMENTS

Unacceptable imperfections shall be repaired and reexamination made to assure removal or reduction to an acceptable size. Whenever an imperfection is repaired by chipping or grinding and subsequent repair by welding is not required, the excavated area shall be blended into the surrounding surface so as to avoid sharp notches, crevices, or corners. Where welding is required after repair of an imperfection, the area shall be cleaned and welding performed in accordance with a qualified welding procedure.

(a) *Treatment of Indications Believed Nonrelevant.* Any indication which is believed to be nonrelevant shall be regarded as an imperfection unless it is shown by reexamination by the same method or by the use of other nondestructive methods and/or by surface conditioning that no unacceptable imperfection is present.

(b) *Examination of Areas From Which Defects Have Been Removed.* After a defect is thought to have been removed and prior to making weld repairs, the area shall be examined by suitable methods to ensure it has been removed or reduced to an acceptably sized imperfection.

(c) *Reexamination of Repair Areas.* After repairs have been made, the repaired area shall be blended into the surrounding surface so as to avoid sharp notches, crevices, or corners and reexamined by the liquid penetrant method and by all other methods of examination that were originally required for the affected area, except that, when the depth of repair is less than the radiographic sensitivity required, reradiography may be omitted.



Documento en español
Código ASME BPV Secc. VIII Div. 1 Appendix 8 Ed. 2004
“Método para el examen por líquidos penetrantes (PT)”

APENDICE OBLIGATORIO 8
METODO PARA EL EXAMEN POR LIQUIDOS PENETRANTES.

NOTA: Aplicaciones satisfactorias de este método de inspección requiere habilidad especial en la técnica y en la interpretación de resultados. Los requisitos aquí especificados supone la adecuada aplicación por personal con experiencia.

8-1 ALCANCE

- a) Este apéndice describe el método que debe emplearse cuando la inspección por líquidos penetrantes sea especificada en esta división.
- b) El artículo 6 de la sección V debe aplicarse para los detalles en los requisitos del método, procedimiento y calificación, a menos que este especificado dentro de este apéndice.
- c) El examen por líquidos penetrantes debe realizarse de acuerdo a un procedimiento escrito, certificado por el patrón de acuerdo con los requisitos T-150 de la sección V.

8-2 CERTIFICACION DEL PERSONAL DE INSPECCION EN PRUEBAS
NO DESTRUCTIVAS.

El patrón deberá certificar que cada inspector de líquidos penetrantes cumple con los siguientes requisitos.

- a) Su visión, con corrección si es necesario, le permite leer la Carta estándar Jaeger Tipo No. 2 a una distancia no menor de 12 pulgadas (300 mm), y es capaz de distinguir y diferenciar el contraste en los colores usados. Este requisito debe ser verificado anualmente.
- b) Es competente en la técnica de inspección por líquidos penetrantes para el cual ha sido certificado, incluyendo la realización de la prueba, interpretación y evaluación de resultados, excepto que, el método de inspección consista de más de una operación, el que puede certificarse solamente para una o más de estas operaciones.



8-3 EVALUACION DE INDICACIONES.

La indicación de una imperfección puede ser más grande que la imperfección que la causa, sin embargo, el tamaño de la indicación es la base para el criterio de aceptación. Solo indicaciones con dimensiones mayores que 1/16 pulgadas deben considerarse relevantes.

- a) Una indicación lineal es aquella que tenga una longitud mayor que tres veces su ancho.
- b) Una indicación redondeada es aquella de forma circular o elíptica con una longitud igual o menor que tres veces su ancho.
- c) Cualquier indicación dudosa o cuestionable, debe examinarse para determinar si es o no relevante.

8-4 ESTANDAR DE ACEPTACION.

Este estándar de aceptación debe aplicarse a menos que otro estándar más restrictivo este especificado para materiales específicos o para aplicaciones dentro de esta división.

Todas las superficies a ser examinadas deben estar libres de:

- a) Indicaciones lineales relevantes.
- b) Indicaciones redondeadas relevantes mayores de 3/16 pulgadas (5 mm).
- c) Cuatro o más indicaciones redondeadas relevantes en una línea separada por 1/16 pulgadas (1.5 mm) o menos (de borde a borde).

8-5 REQUISITOS DE REPARACION.

Las imperfecciones inaceptables deben repararse e reinspeccionarse para asegurar su remoción o reducción a un tamaño aceptable. Cada vez que una imperfección es reparada por tallado o esmerilado y no se requiera una subsecuente reparación por soldadura, la zona excavada debe ser devastada dentro de la superficie circundante y tratar de evitar muescas afiladas, grietas, o esquinas. Cuando la soldadura sea requerida después de la reparación de una imperfección, el área debe limpiarse y soldarse de acuerdo con un procedimiento de soldadura calificado.

- a) Tratamiento de indicaciones que se tomaran como no Relevantes. Cualquier indicación que se haya tomado como no relevante debe ser considerada como una imperfección a menos que se muestre por una reinspección por el mismo



método o por el uso de algún otro método no destructivo y/o por condiciones superficiales que la imperfección es aceptable.

- b) Inspección de las zonas en las cuales los defectos hayan sido removidos. Después de que un defecto haya sido removido y antes de hacer una reparación con soldadura., la zona debe ser inspeccionada por un método adecuado para asegurar que fueron removidos o reducidos a un tamaño de imperfección aceptable.
- c) Reinspección de las zonas reparadas. Después de que la reparación se haya hecho, la zona reparada debe ser desvastada dentro de la superficie circundante así como evitar muescas afiladas, grietas, o esquinas y reinspeccionar por el método de líquidos penetrantes y por todos los métodos de inspección que originalmente fueron requeridos para el área afectada, excepto que, la profundidad de la reparación sea menor que la sensibilidad radiográfica requerida, la radiografía puede ser omitida.

10. Limpieza posterior.

- 10.1 Después de haber realizado el procedimiento de inspección se deberá limpiar la pieza o equipo inspeccionado utilizando material absorbente y posteriormente aplicando un poco de limpiador/removedor para eliminar cualquier residuo presente.

11. Los resultados de la inspección.

- 11.1 Deben ser reportados como se muestra a continuación.



4.3 Reporte de resultados de la inspección.

REPORTE DE INSPECCION CON LIQUIDOS PENETRANTES

No. de informe:	RLP-01-001
Sección:	LP
Página:	1-2

1. INFORMACION GENERAL

REPORTE No. RLP-01-001 FECHA: 12 DE FEBRERO DE 2011 HOJA 1 DE 2
 CLIENTE: CONFIDENCIAL
 DESCRIPCION DE LA PIEZA: TANQUE PULMON DE 4000 L ACERO AL CARBON
 No. DE IDENTIFICACIÓN: 09860 MATERIAL: SA-285-C
 DIMENSIONES: 1,249 mm DE DIAMETRO EXTERIOR x 3100 mm DE LONGITUD DEL CUERPO
 ZONA INSPECCIONADA: SOLDADURAS CIRCUNFERENCIALES Y DE UNION CUERPO-BOQUILLAS
 ACABADO SUPERFICIAL: NORMAL DE SOLDADURA

2. CONDICIONES DEL EXAMEN

PROCEDIMIENTO No. PT-LP-001 REVISION: 01 NORMA: ASTM-E165, ED. 2000
 METODO DE EXAMINACION: ASPERSION TIPO DE PENETRANTE: TIPO II METODO: C
 TIEMPO EN SECADO PENETRACION EMULSIFICACION REVELADO
 MINUTOS: 05 05 NO APLICA 10
 TIPO DE REVELADOR: EN SUSPENSION NO ACUOSA MATERIAL ABSORBENTE: PAPEL ABSORBENTE
 TIPO DE ILUMINACIÓN: NATURAL: XX BLANCA ARTIFICIAL: ULTRAVIOLETA:
MATERIAL UTILIZADO: **MARCA** **CODIFICACION** **No. DE LOTE**
 PENETRANTE: MAGNAFLUX SKL-WP 05601K
 EMULSIFICADOR: NO APLICA NO APLICA NO APLICA
 REMOVEDOR: MAGNAFLUX SKC-S 08E12K
 REVELADOR: MAGNAFLUX SKD-S2 08M17K
 OBSERVACIONES:

3. RESULTADOS DE LA INSPECCION:

ACEPTADO: XX RECHAZADO:
 CRITERIO DE ACEPTACIÓN: ASME SECCION VIII, DIVISIÓN I. 2004

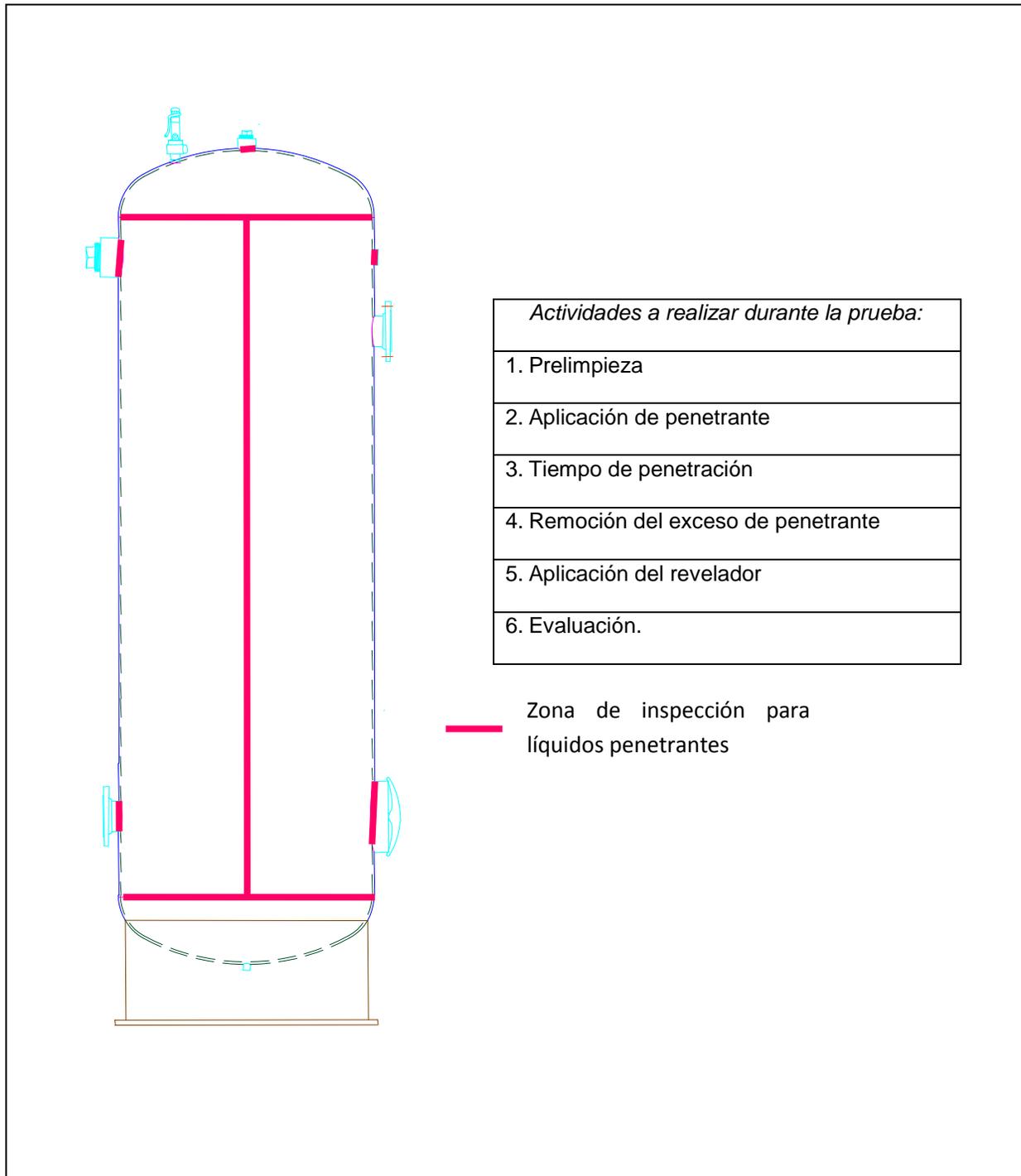
ELABORO		EVALUO		RECIBIO	
NOMBRE: <u>ERNESTO VILLANUEVA S</u>		NOMBRE: <u>MARCOS ESCANDON.</u>		NOMBRE: <u> </u>	
NIVEL: <u> </u>		NIVEL: <u> </u>		CARGO: <u> </u>	
<u> </u>		<u> </u>		<u> </u>	
FECHA	FIRMA	FECHA	FIRMA	FECHA	FIRMA



REPORTE DE INSPECCION CON LIQUIDOS PENETRANTES

No. de informe:	RLP-01-001
Sección:	LP
Página:	2-2

REPORTE No.: RLP-01-001 FECHA: 12 DE FEBRERO DE 2011 HOJA 2 DE 2



Memoria fotográfica de la realización de la prueba de líquidos penetrantes



4.4 Resultados.

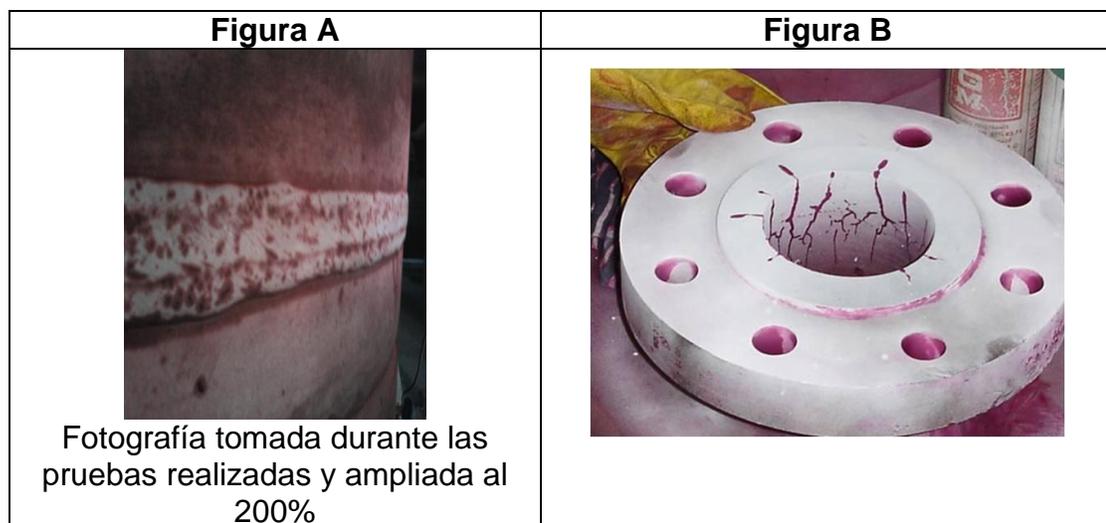
- Con base en los resultados obtenidos durante la inspección y prueba efectuada de líquidos penetrantes. el **TANQUE PULMON DE 4000 LITROS, CUMPLE** con los requerimientos indicados en el Código ANSI/ASME BPV, Secc. VIII, Div. 1, edición 2004. Ya que no se detectaron indicaciones de discontinuidades rechazables.

Conclusiones.

Líquidos Penetrantes:

Las áreas inspeccionadas no presentan discontinuidades superiores a las establecidas en los criterios de aceptación establecidos en el **Código ASME BPV Secc. VIII Div. 1 Appendix 8 Ed. 2004.**

Lo anterior se puede complementar al comparar las siguientes imágenes:



Como se puede observar, el equipo evaluado no muestra fisuras como las que se encontraron en la figura la figura B, las cuales en su momento ocasionaron que dicha pieza fuera retirada de servicio.

- Podemos mencionar que se encontraron porosidades en cordones de soldadura principalmente en las uniones de tapas, mismas que no representan riesgos mayores.



- Se identificó un golpe entre el cuerpo y la tapa inferior del equipo el cual es únicamente superficial y se puede concluir que no representa riesgo en la operación segura del equipo.
- Que de acuerdo con la inspección realizada por Líquidos Penetrantes Visibles Removibles con Solvente (Tipo II C), se puede determinar que el equipo puede seguir en servicio bajo las condiciones de operación actuales y de acuerdo a la Norma NOM-020-STPS-2002.
- Como se puede observar, la aplicación de los procedimientos realizados para llevar a cabo la prueba de líquidos penetrantes, resulto satisfactoria, ya que dichos procedimientos resultaron indispensables y de gran utilidad para la correcta aplicación de la inspección.
- Por otra parte, se puede mencionar que la experiencia obtenida durante la realización de la prueba es para nosotros fundamental para la acumulación de experiencia y la obtención de una certificación de acuerdo con lo establecido en la NMX-B-482-1991 basada en la práctica recomendada SNT-TC-1A-2006.



CAPITULO V

PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS DE LA INSPECCION POR ULTRASONIDO, MEDICION DE ESPESORES (CASO PRACTICO)



5.1 Procedimiento de evaluación.

Procedimiento	PUT-002
Procedimiento Técnico para la medición de Espesores con Haz Recto por el método de contacto directo	

Objetivo

Establecer los parámetros técnicos y criterios de aceptación para realizar la medición indirecta de espesores de pared de recipientes a presión utilizando el método de ultrasonido por la técnica de contacto directo con un sistema pulso-Eco.

Tabla de contenido.

- 1.0 Objetivo
- 2.0 Campo de aplicación
- 3.0 Notaciones y definiciones.
- 4.0 Referencias
- 5.0 Materiales
- 6.0 Instrucciones
- 7.0 Responsabilidades
- 8.0 Anexos



1.0 Objetivo.

- 1.1 Establecer los parámetros técnicos y criterios de aceptación para realizar la medición indirecta de espesores de pared de generadores de vapor o recipientes a presión utilizando el método de ultrasonido por la técnica de contacto directo con un sistema Pulso-Eco.

2.0 Campo de aplicación.

- 2.1 El presente procedimiento establece los lineamientos necesarios para llevar a cabo la medición de espesores por medio de ultrasonido industrial de calderas y recipientes sujetos a presión que se encuentren a temperaturas que no exceden de 93 °C (200F)
- 2.2 Este procedimiento es aplicable para la medición de espesor de pared de calderas y recipientes sujetos a presión, donde las ondas ultrasónicas pueden ser propagadas a una velocidad constante a través del material y se generen reflexiones de pared posterior.
- 2.3 Este procedimiento considera casos particulares, los cuales se mencionan a continuación:
Caso I palpadores de un solo cristal
Caso II palpador de un solo cristal con línea de retardo.
Caso III palpadores de doble cristal (dual)
Caso IV secciones con espesor grueso.

3.0 Notaciones y Definiciones

3.1 Notaciones.

- | | | |
|-------|------|---|
| 3.1.1 | ASTM | American Society for Testing Materials. |
| 3.1.2 | ASME | American Society of Mechanical Engineers. |

3.2 Definiciones.

- 3.2.1 **Acoplante:** Sustancia líquida o semi-líquida usada entre el palpador y la superficie de prueba que permite la transmisión acústica.
- 3.2.2 Agrupación de indicaciones: una agrupación de indicaciones es definida como cinco o más indicaciones localizadas en un volumen que represente un cubo de 2 in (50mm) o un cubo menor de la forja.
- 3.2.3 Área de Interés: porción específica del objeto que va ser evaluado.



- 3.2.4 Bloque de calibración: bloque que es empleado como una escala de medida y como un medio para proporcionar reflexiones ultrasónicas con características conocidas.
- 3.2.5 Defecto. Cuando el incremento de tamaño, forma, orientación, localización o propiedades no cumplen con los requisitos de aceptación especificados y sean inaceptables, una o más discontinuidades.
- 3.2.6 Discontinuidad: falta de continuidad o cohesión; una interrupción intencional o no intencional en la estructura física o configuración de un material o componente.
- 3.2.7 Indicación: respuesta o evidencia de una inspección de END que requiere ser interpretada para determinar su relevancia.
- 3.2.8 Inspección: observación de cualquier operación realizada a materiales o componentes para determinar su aceptabilidad de acuerdo con los criterios proporcionados.
- 3.2.9 Operación: fase específica de un método o técnica.
- 3.2.10 Palpador: dispositivo electroacústico usado para transmitir o recibir energía ultrasónica o ambos. El dispositivo generalmente consiste de un placa, conector, carcasa, material de respaldo, elemento piezoeléctrico y zapata (en algunos casos)
- 3.2.11 Procedimiento: documento que describe la secuencia de instrucciones o los pasos a seguir para la elaboración de una tarea o cumplimiento de una metodología dentro de la empresa.
- 3.2.12 Método pulso-eco: Inspección en la cual la presencia y posición de un reflector indica el tiempo y amplitud del eco.
- 3.2.13 Reflector: interface en la cual un equipo de ultrasonido detecta un cambio en la impedancia acústica y el mínimo de energía reflejada por un objeto. Es cualquier superficie reflejante de las ondas ultrasónicas.
- 3.2.14 Transductor: Dispositivo electroacústica para convertir energía eléctrica en energía acústica o viceversa.
- 3.2.15 Socavado: ranura producida dentro del metal base adyacente al pie o a la raíz de una soldadura.

4.0 Referencias.

- 4.1 Standard practice for measuring thicknesses by manual ultrasonic pulse-echo contact method ASTM E-797, 2000 Edition (práctica normalizada para la medición de espesores por el método manual de pulso-eco y contacto directo ASTM E 797-95, edición 2000).



4.2 ASME Boiler and pressure vessel code Section V non destructive examination, article 5; 2001 edition (codigo ASME para recipientes a presión y caderas, sección V artículo 5 edición 2004)

4.3 ASME Boiler pressure vessel code, section VIII división 1 part, ug 27 y ug 32 1998 edition (Código ASME para recipientes a presión y calderas, sección VIII, división 1 edición 2004).

5.0 Materiales.

5.1 Requisitos de equipo y accesorios de inspección.

5.1.1 instrumento ultrasónico.

5.1.2 Se podrían utilizar cualquiera de los siguientes equipos

Equipo	Marca	Modelo
Medidor de espesores de lectura directa	Danatronics	EHC-09
Medidor de espesores de lectura directa	Magnaflux	MT-2100-DL

5.1.3 Palpadores. Los palpadores serán de doble cristal marca Danatronics modelos: DK-537, para uso general con diámetros de 4.75 mm a 9.52 mm (0.187 in a 20.00in) en acero también se podrán utilizar palpadores de un solo cristal de 5 Mhz y diámetros equivalentes a los anteriores.

5.1.4 Acoplante se empleara aceite, goma de celulosa, gel o vaselina como acoplante. Se debe emplear el mismo acoplante para la calibración y la inspección. La selección del acoplante será de acuerdo al acabado superficial del material a inspeccionar.

5.1.5 Bloque de calibración: se deberá emplear un bloque de calibración escalonado de cuatro o cinco pasos fabricado en acero, de velocidad conocida o del mismo material a ser inspeccionado. Los espesores a ser medidos deben estar comprendidos en el rango del bloque de calibración. Cuando la inspección sea de materiales de acero inoxidable el bloque de calibración deberá ser fabricado de acero inoxidable. El sistema de inspección debe ser calibrado en al menos 2 o preferente en 3 espesores de calibración en el rango de espesores a ser medido.

5.1.6 Cables coaxiales: los cables a ser utilizados serán con terminaciones Microdot y BNC.

6.0 Instrucciones del personal.

6.1 Calificación del personal.

- 6.1.1 El personal que realice la medición de espesores debe estar calificado y certificado como Nivel I, Nivel II o Nivel III en el método de inspección por ultrasonido, de acuerdo al procedimiento PTE-CT-001 “de calificación y certificación del personal el cual cumple con los requisitos establecidos en la Practica Recomendada SNT-TC-1A-2006.
- 6.1.2 Para la toma de las lecturas, el personal debe estar calificado al menos como nivel I en el método de ultrasonido o aprendiz.
- 6.1.3 Para la evaluación de resultados y dictámenes de los mismos, el personal debe estar certificado al menos como Nivel II o Nivel III en el método de ultrasonido.

6.2 Requisitos generales.

- 6.2.1 Antes de iniciar la medición de espesores de recipientes sujetos a presión se deberá contar con la siguiente información obtenida de la placa de datos del equipo o proporcionada por el cliente y rastreada al equipo a través de marcas y registros en base a la memoria de cálculo en el plano correspondiente.

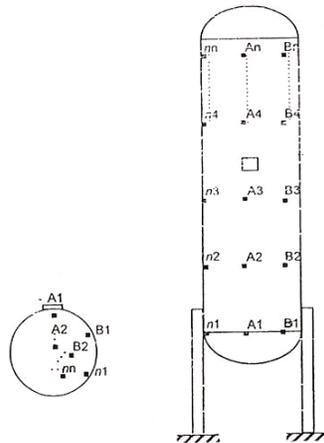
- a) No. De identificación.
- b) No de serie.
- c) Fabricante.
- d) Fecha de fabricación.
- e) Material de fabricación (si se conoce)
- f) Capacidad volumétrica
- g) Presión de diseño y presión de trabajo.
- h) Longitud total.
- i) Diámetro (interno y externo).
- j) Espesor nominal del cuerpo.
- k) Espesor nominal de tapas.
- l) Servicio.

- 6.2.2 En caso de no contar con la información requerida en los incisos e), j) y k) o la memoria de cálculo en el plano y a menos que se indique otra cosa por parte del gerente técnico No se llevara a cabo la inspección puesto que estos son parámetros básicos en la evaluación.



- 6.2.3 Los datos mencionados en el inciso 6.2.1 se registraran en el formato de reporte de la inspección, por cada recipiente inspeccionado.
- 6.2.4 Todas las lecturas se tomara a una distancia no menor de 25 mm de cualquier soldadura.
- 6.3 Procedimiento de inspección.
 - 6.3.1 marcaje de los puntos de inspección.
 - 6.3.2 Los puntos de inspección en el sentido longitudinal así como la circunferencia serán marcados a cada lado de las soldaduras circunferenciales y longitudinales y a distancias como se indica a continuación:
 - 6.3.3 Para equipos con longitud igual o menor a 3000mm, la distancia de marcaje de los puntos de inspección se realizara cada 200 mm.
 - 6.3.4 Para equipos con longitud mayor a 3000mm, y menor o igual a 7000mm, la distancia de marcaje de los puntos de inspección será cada 400mm.
 - 6.3.5 Para equipos con longitud mayor a 7000 mm, la distancia de marcaje de los equipos de inspección será de 500mm.
 - 6.3.6 La vista frontal para los equipos en posición horizontal como en posición vertical será con respecto a la placa de datos de dicho equipo, los equipos que no cuenten con esta quedara a criterio del inspector.
 - 6.3.7 Marcaje de los puntos en el cuerpo.
 - 6.3.8 El marcaje de cada punto de inspección para equipos en posición horizontal se realizara de la soldadura circunferencial de unión tapa izquierda-cuerpo a la soldadura circunferencial de la unión derecha-cuerpo con respecto a la longitud del equipo y con respecto a la circunferencia el marcaje se realizara en el sentido de las manecillas del reloj, todo esto considerando la vista frontal del equipo, articulo 6.3.3 la identificación de estos puntos será alfanumérica empezando en la parte superior del equipo con A1 a partir de la soldadura circunferencial de unión tapa izquierda cuerpo.
 - 6.3.9 El marcaje de cada punto de inspección para equipos en posición vertical se realizara de la soldadura circunferencial de unión tapa inferior-cuerpo a la soldadura circunferencial de la unión tapa superior-cuerpo, y con respecto a la circunferencia el marcaje se realizara en el sentido de la manecillas del reloj, todo esto considerando la parte frontal del equipo, articulo 6.3.3 la identificación de estos puntos será alfanumérica, empezando de la parte inferior frontal del equipo con A1 a

partir de la soldadura circunferencial de la unión de tapa inferior-cuerpo, como se muestra en la siguiente figura.



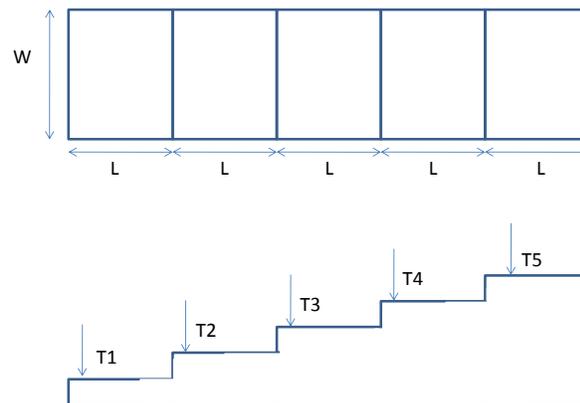
- 6.3.10 Marcaje de los puntos de inspección en tapas.
- 6.3.11 El marcaje de los puntos de inspección tanto para las tapas de los equipos en posición horizontal o vertical se realizara en el sentido de las manecillas del reloj de la vista correspondiente.
- 6.3.12 La vista correspondiente depende de la posición del equipo, para equipos en posición horizontal las vistas son: vista lateral izquierda y vista lateral derecha, para equipos en posición vertical las vistas son; vista inferior y vista superior o de planta, todo esto de acuerdo con el artículo 6.3.3.
- 6.3.13 El marcaje de los puntos de inspección de tapas de equipos en posición horizontal (tapa izquierda y tapa derecha), se realizara con respecto a la vista lateral izquierda y a la vista lateral derecha respectivamente. La identificación de estos puntos será alfanumérica empezando en la parte superior del equipo con A1 y en sentido de las manecillas del reloj. Ver figura 6.3.9
- 6.3.14 El marcaje de los puntos de inspección en tapas de equipos en posición vertical (tapa inferior y tapa superior), se realizara con respecto a la vista inferior y a la vista superior o de planta respectivamente. La identificación de estos puntos será alfanumérica empezando en la parte frontal del equipo con A1 y en sentido de las manecillas del reloj. Ver figura 6.3.9
- 6.3.15 Preparación de la superficie.
 - 6.3.15.1 Hasta donde sea prácticamente posible se eliminará la pintura correspondiente a los puntos de inspección; en este caso realizar la calibración como lo establece el numeral 6.2.6 y proceder a hacer la medición de espesores.



- 6.3.15.2 Sin embargo, derivado de la inspección visual se considera que la pintura tiene buena adherencia, entonces no será necesario retirar la pintura, siempre y cuando se siga el procedimiento que se menciona en la sección 6.2.7 o se emplee un equipo con función multi-eco (discrimina el espesor de pintura), como los modelos indicados en los incisos 3, 4, 5, 6,7 y 8 del párrafo 5.1.1.
- 6.3.15.3 Se deberá eliminar cualquier material extraño que pudiera interferir con el examen tal como grasa suciedad, grumos de pintura, escorias, aceite, etc.

6.3.16 Calibración del instrumento ultrasónico para realizar inspecciones sin pintura.

- 6.3.16.1 Realizar la calibración del instrumento ultrasónico de acuerdo al procedimiento siguiente.
- 6.3.16.2 Después de conectado el cable del palpador y encendido el instrumento, colocarlo en el modo espesor (THK)
- 6.3.16.3 Aplicar acoplante sobre el bloque del instrumento, marcado como Prb0.
- 6.3.16.4 Presionar CAL para iniciar la calibración a CERO. Acoplar el palpador sobre el bloque manteniendo durante aproximadamente 10 segundos, observar el indicador de acoplamiento para asegurarse que el palpador permanece acoplado. Observar que después de transcurridos dos segundos aparece una línea punteada.
- 6.3.16.5 Quitar el palpador del bloque. La línea punteada deberá permanecer y el indicador de acoplamiento destellará.
- 6.3.16.6 Aplicar acoplante sobre el bloque de calibración en un espesor conocido, ligeramente superior el que se va a inspeccionar y colocar el palpador sobre el bloque de calibración de cuatro o cinco pasos, según el espesor a determinar.
- 6.3.16.7 El valor mostrado no será necesariamente el del espesor del bloque de calibración.
- 6.3.16.8 Utilizando las flechas hacia arriba o hacia abajo, hacer que el valor mostrado en la pantalla coincida con el espesor del bloque de calibración. Una vez logrado lo anterior presione CAL para terminar con la calibración.
- 6.3.16.9 Comprobar la calibración del instrumento tomando las lecturas en los escalones intermedios de los bloques de calibración (cuatro o cinco pasos) como los que se muestran en la siguiente figura.



6.3.17 Calibración del instrumento ultrasónico para realizar la inspección con pintura

- 6.3.17.1 Cuando la inspección pueda llevarse a cabo sin remover la pintura en el recipiente y en al menos seis puntos alrededor de los mismos sobre la pintura.
- 6.3.17.2 Proceder a medir y registrar el espesor en tres puntos sin pintura en el recipiente y en al menos seis puntos alrededor de los mismos sobre la pintura.
- 6.3.17.3 Proceder a calibrar en el punto con pintura que muestre el espesor promedio de las lecturas obtenidas. La calibración será de tal forma que sobre ese espesor se obtenga el valor del espesor sin pintura utilizando para este fin el procedimiento siguiente:
 - 6.3.17.3.1 Aplicar acoplante sobre el bloque marcado Prb0
 - 6.3.17.3.2 Presionar CAL para iniciar la calibración a CERO. Acoplar el palpador sobre el bloque manteniendo durante aproximadamente 10 segundos, observar el indicador de acoplamiento para asegurarse que el palpador permanece acoplado. Observar que después de transcurridos dos segundos aparece una línea punteada.
 - 6.3.17.3.3 Quitar el palpador del bloque. La línea punteada deberá permanecer y el indicador de acoplamiento destellará.
 - 6.3.17.3.4 Aplicar acoplante sobre el tanque en el punto con pintura que indique el espesor promedio y colocar el palpador sobre ese punto.
 - 6.3.17.3.5 Quitar el palpador y eliminar el exceso de acoplante de la cara del palpador.
 - 6.3.17.3.6 Utilizando las flechas hacia arriba o hacia abajo, hacer que el valor mostrado en la pantalla coincida con el espesor del bloque de calibración. Una vez logrado lo anterior presione CAL para terminar con la calibración.



- 6.3.17.3.7 Una vez realizada la calibración anterior, registrara el valor de la velocidad del material en el reporte de inspección.
- 6.3.18 Calibración del instrumento ultrasónico usando la función multieco para discriminar la capa de pintura.
 - 6.3.18.1 Una vez activada la función multieco se debe posicionar la compuerta “a” en la primera reflexión de pared posterior y la compuerta “b” en la segunda reflexión de pared posterior, el umbral de las compuertas deberá estar entre un 30% y 40%; utilizar la función flanco para el palpador de doble cristal y el modo pico para el palpador de haz recto.
- 6.3.19 Registro de lecturas
 - 6.3.19.1 después de efectuar la calibración del instrumento como establecen las secciones 6.2.6 o 6.2.7 se procederá a tomar las lecturas sobre los puntos marcados del recipiente.
 - 6.3.19.2 Las lecturas serán registradas en el formato del reporte de inspección y/o en el registrador DR-1 o en la función de memoria del instrumento que se esté utilizando.
 - 6.3.19.3 Se registrara la lectura obtenida después que esta se ha estabilizado en la pantalla digital u oscilograma.
 - 6.3.19.4 Cuando por razones de la estructura del recipiente existan localizaciones que no puedan ser registradas la lectura se marcara vacía.
 - 6.3.19.5 Cuando se encuentre una lectura fuera de la tolerancia mínima o máxima calculada de acuerdo con el párrafo 6.4.1 se rastreará una zona de 100mm X 100mm alrededor del punto para asegurarse si se trata de una indicación puntual.
 - 6.3.19.6 Si se determina que es una indicación puntual, entonces se tomara cinco lecturas alrededor del punto y se registrara la lectura mínima obtenida fuera de la indicación puntual. (2) una indicación puntual es aquella que está contenida en un área menor al área del transductor y que desaparece al mover el palpador a una distancia igual al radio del transductor.
 - 6.3.19.7 Cuando se obtengan lecturas de espesores menores al mínimo aceptable diferentes a las mencionadas en el párrafo anterior, todas las lecturas o cinco lecturas, lo que sea menor, serán reinspeccionadas sin pintura para corroborar los resultados con pintura.
 - 6.3.19.8 Cuando se obtengan lecturas de espesores mayores al espesor de la placa de datos o del certificado del fabricante más del 5%, todas las



lecturas o cinco lecturas, lo que sea menor, será reinspeccionado sin pintura para corroborar los resultados con pintura.

- 6.3.19.9 En caso de que durante la inspección para la medición de espesores se encuentre una discontinuidad de material, se deberá requerir la inspección para determinar sanidad mediante el empleo de un detector de fallas ultrasónico.

6.4 Criterios de Aceptación

- 6.4.1 Se realizarán los cálculos de espesor mínimo para el cuerpo y tapas como se establece en el Código ASME, Sección VIII, División 1. Se considera no aptos para seguir operando los recipientes que tengan un espesor menor al espesor de retiro recomendado por el fabricante.

Sección del equipo	Ecuaciones para el cálculo del espesor (según la presión de diseño)	Ecuaciones para cálculo de la presión (según los espesores obtenidos)
Cuerpo	$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} + C$	$P = \frac{SE(T - C)}{R + 0.6(T - C)}$
Tapas semielípticas	$t = \frac{PD}{2SE - 0.2P}$	$P = \frac{2SE(T - C)}{D + 0.2(T - C)}$

Fuente: Código ASME Sección VIII, División 1

Donde:

t = Espesor mínimo requerido del cuerpo.

P = Presión interna de diseño o máxima presión permitida.

R = Radio interior del cuerpo bajo consideración.

S = Valor de tensión máxima permisible.

T = Espesor real.

E = Eficiencia de la soldadura apropiada en cuerpos cilíndricos, esféricos, o eficiencia de los ligamentos entre aberturas.

A continuación se presenta el plano del equipo realizado por el fabricante, donde se especifican los espesores mínimos de retiro, los cuales son nuestro criterio de aceptación o rechazo.



6.5 Disposición de recipientes

- En caso de que los espesores obtenidos estén por arriba del espesor mínimo de diseño, el gerente técnico tiene la facultad para aprobar el recipiente.
- En caso de que los espesores sean menores al espesor mínimo de diseño, se notificará al cliente del rechazo del recipiente o la posibilidad de seguir operando el equipo a una presión menor.

7.0 Responsabilidades.

7.1 La responsabilidad del inspector de la empresa, realizar la inspección de acuerdo con los requisitos establecidos en este procedimiento.

7.1.1 Es la responsabilidad de la gerencia de aseguramiento de calidad el control y actualización de este procedimiento.



5.2 Reporte de resultados de la inspección

REPORTE DE MEDICION DE ESPESORES

No. de informe:	RUT-01-001
Sección:	UT
Página:	1-4

1. INFORMACION GENERAL

REPORTE No. RUT-01-001 FECHA: 12 DE FEBRERO DE 2011 HOJA 1 DE 4
 CLIENTE: CONFIDENCIAL
 DESCRIPCION DE LA PIEZA: TANQUE PULMON DE 4000 L ACERO AL CARBON
 No. DE IDENTIFICACION: 09860 MATERIAL: SA-285-C
 DIMENSIONES: 1219.40 mm DE DIÁMETRO EXTERIOR x 3100 mm DE LONGITUD DEL CUERPO
 ZONA INSPECCIONADA: CUERPO Y TAPAS
 ACABADO SUPERFICIAL: LISO

2. EQUIPO UTILIZADO EN LA INSPECCION

MARCA: PANAMETRICS-NDT MODELO: EPOCH XT No. DE SERIE: 091265206
 TIPO DE PALPADOR: DHC706-RM TAMAÑO: 12.7 mm Ø FRECUENCIA: 2.25 MHZ ANGULO: N/A

3. CONDICIONES DEL EXAMEN

TIPO DE INSPECCION: DETERMINAR EL ESPESOR REMANENTE DE LAS PAREDES.
 PROCEDIMIENTO No.: PUT-002 NORMA: ASTM E-797, EDICION 2000
 CRITERIO DE ACEPTACION: ASME SECCION VIII, DIVISION 1, EDICION 2004
 MÉTODO DE CALIBRACION: REFLEXION DE PARED POSTERIOR
 BLOQUE DE CALIBRACIÓN: BLOQUE DE 5 PASOS
 ETAPA DEL EXAMEN: MANTENIMIENTO PREVENTIVO ACOPLANTE: GEL

4. RESULTADOS DE LA INSPECCION

ELEMENTO	CANTIDAD DE LECTURAS	ESPESOR DE RETIRO(mm)	ESPESOR MÍNIMO(mm)	ESPESOR MÁXIMO(mm)	ESPESOR PROMEDIO(mm)	RESULTADO DE LA EVALUACIÓN
CUERPO	120	6.477	7.31	7.92	7.660	ACEPTADO
TAPA SUPERIOR	32	5.475	10.32	10.95	10.601	ACEPTADO
TAPA INFERIOR	N.D.	5.475	No se pudo verificar por falta de acceso			ACEPTADO

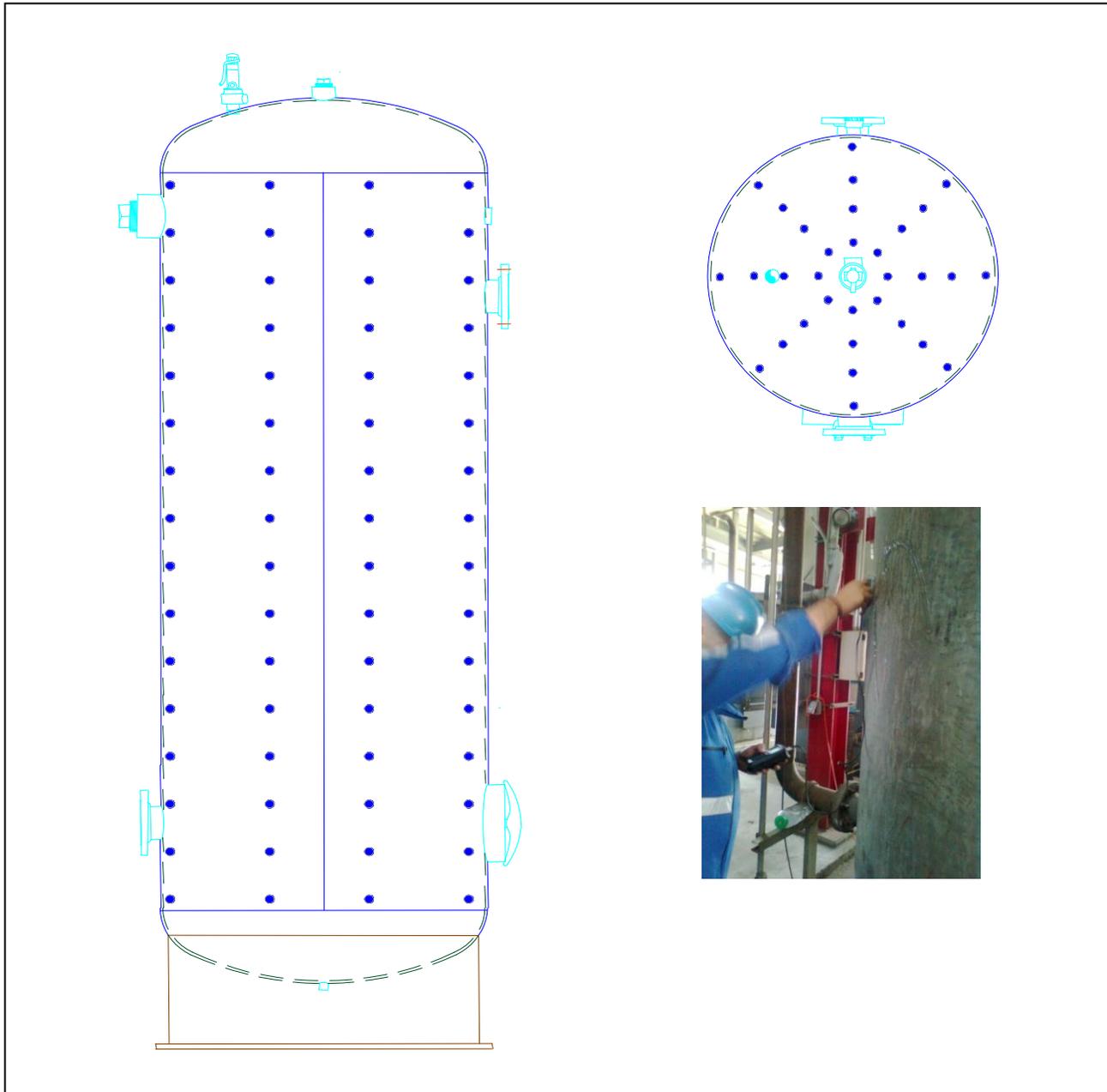
OBSERVACIONES:

ELABORÓ		EVALUÓ		RECIBIÓ	
NOMBRE: <u>MARCOS ESCANDON</u>	NOMBRE: <u>ERNESTO VILLANUEVA</u>	NOMBRE: _____	NOMBRE: _____	NOMBRE: _____	NOMBRE: _____
NIVEL: _____	NIVEL: _____	NIVEL: _____	NIVEL: _____	CARGO: _____	CARGO: _____
12/02/2011	12/02/2011	12/02/2011	12/02/2011	12/02/2011	12/02/2011
FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA
FIRMA	FIRMA	FIRMA	FIRMA	FIRMA	FIRMA

REPORTE DE MEDICION DE ESPESORES

No. de informe:	RUT-01-001
Sección:	RME
Página:	2-4

REPORTE No.: RUT-01-001 FECHA: 12 DE FEBRERO DE 2011 HOJA 2 DE 4





REPORTE DE MEDICION DE
ESPESORES

No. de informe:	RUT-01001
Sección:	RME
Página:	3-4

REPORTE No.: RUT-01-001

FECHA: 12 DE FEBRERO DE 2011

HOJA 3 DE 4

CLIENTE: CONFIDENCIAL

RECIPIENTE

No. DE IDENTIFICACION:

Determinación de medición de espesores del CUERPO

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	7.36	7.49	7.62	7.75	7.52	7.64	7.46	7.84
2	7.42	7.59	7.49	7.56	7.39	7.48	7.35	7.67
3	7.59	7.51	7.39	7.45	7.87	7.56	7.49	7.57
4	7.80	7.59	7.80	7.58	7.55	7.66	7.76	7.68
5	7.69	7.79	7.76	7.90	7.69	7.80	7.74	7.89
6	7.80	7.69	7.70	7.69	7.79	7.67	7.92	7.80
7	7.59	7.69	7.57	7.54	7.69	7.59	7.80	7.64
8	7.49	7.64	7.74	7.80	7.58	7.45	7.76	7.72
9	7.59	7.78	7.89	7.91	7.60	7.80	7.67	7.88
10	7.48	7.85	7.68	7.78	7.54	7.54	7.60	7.71
11	7.69	7.74	7.79	7.59	7.47	7.64	7.50	7.34
12	7.73	7.90	7.59	7.87	7.87	7.83	7.74	7.55
13	7.84	7.69	7.54	7.54	7.49	7.92	7.56	7.44
14	7.89	7.87	7.69	7.60	7.59	7.71	7.67	7.31
15	7.90	7.80	7.79	7.48	7.69	7.80	7.49	7.67

NUMERO DE
LECTURAS

120

ESPELOR MINIMO
ESPELOR MAXIMO
ESPELOR
PROMEDIO

Milímetros

7.31

7.92

7.660



REPORTE DE MEDICION DE
ESPESORES

No. de informe:	RUT-01-001
Sección:	RME
Página:	4-4

REPORTE No.: UT-01-001 FECHA: 12 DE FEBRERO DE 2011 HOJA 4 DE 4

CLIENTE: CONFIDENCIAL

RECIPIENTE.

No. DE IDENTIFICACION:

Determinación de medición de espesores de la TAPA SUPERIOR.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	10.93	10.90	10.88	10.95	10.90	10.91	10.89	10.93
2	10.61	10.67	10.65	10.59	10.69	10.62	10.71	10.74
3	10.41	10.55	10.43	10.39	10.48	10.48	10.38	10.63
4	10.33	10.39	10.38	10.32	10.35	10.40	10.33	10.42

NUMERO DE
LECTURAS

32

ESPELOR MINIMO
ESPELOR
MAXIMO
ESPELOR
PROMEDIO

Milímetros

10.32

10.95

10.601



5.3 Resultados.

Con base en los resultados obtenidos durante la inspección y prueba efectuada de medición de Espesores con Ultrasonido. **EL TANQUE PULMON DE 4000 LITROS, CUMPLE** con los requerimientos indicados en el **Código ASME Sección VIII, División 1, Edición 2004**, ya que el espesor remanente medido, se encuentra en condiciones óptimas de operación.

Conclusiones.

Ultrasonido:

- De acuerdo con las mediciones realizadas se puede concluir que el equipo puede continuar en operación, ya que los espesores registrados en el cuerpo y tapa superior son mayores al espesor de retiro recomendado por el fabricante para soportar una presión máxima de 10.5kg/cm^2 .
- Como se observa, no se realizaron mediciones del espesor en la tapa inferior, esto debido a la imposibilidad de acceso a esta zona del equipo, sin embargo se considera que durante los años de operación no se ha sometido el equipo a esfuerzos mayores según lo registrado en las bitácoras de mantenimiento por lo cual se asume que las condiciones de la tapa inferior son similares a la opuesta, por tal situación el equipo puede continuar en operación.
- De acuerdo con los objetivos planteados, se puede concluir que el Equipo evaluado por medio de medición de espesores para determinar el espesor remanente aun cuenta con características necesarias para operar sin ningún riesgo.



Conclusiones.

En general:

- De acuerdo con los resultados obtenidos y cumpliendo con los objetivos trazados en el presente trabajo de puede concluir que las Pruebas No Destructivas (PND) son técnicas que nos ayudan a determinar las condiciones de seguridad del equipo evaluado, esto con el fin de evitar accidentes y garantizar la integridad física de los trabajadores y del centro de trabajo, ya que hoy en día las industrias deben destinar recursos a los temas de seguridad a fin de promover planes y programas que garanticen la seguridad dentro y fuera de sus instalaciones.
- Como se puede observar la aplicación de ambas técnicas resultaron satisfactorias por lo que se puede concluir que el equipo se encuentra en condiciones óptimas de operación.
- El presente trabajo primordialmente contempló la evaluación de un recipiente a presión, (Caso práctico), no obstante se establecieron una serie de términos y definiciones que resultan de gran importancia para el entendimiento de las técnicas aplicadas, sabemos que son técnicas con un grado de dificultad importante, ya que se requiere de amplia experiencia y conocimientos en la materia, es por ello que este documento integra la práctica y la teoría con el fin de facilitar a toda aquella persona que se encuentre interesada en incursionar en los Ensayos No Destructivos.



Bibliografía.

- Gómez de León E. Ensayos No Destructivos Ultrasonido Nivel II. España, Editorial Fundación Confemetal, 1ª Edición 2009.
- American Society for Non Destructive Testing (ASNT) Práctica Recomendada SNT-TC-1A-2006. Estados Unidos, ASNT, 2001.
- Curso Líquidos Penetrantes Nivel I y II, Capacitación y Pruebas No Destructivas de México, S.C., México, 2009.
- Curso Ultrasonido Industrial Nivel I, Capacitación y Pruebas No Destructivas de México, S.C., México, 2009.
- Thompson Donald and E. Chimenti Dale, “Review of progress in quantitative non destructive evaluation” Edit: Plenum Press, New York U.S.A. 1995, pp. 2483.
- J. Shull Peter, “Non-destructive evaluation” Edit: Marcel Dekker, New York U.S.A. 2002, pp. 841.
- Van Hemelrijck Danny, Anastasoulou Athanasios and E. Melanitis Nikolaos, “Emerging technologies in non destructive testing” Edit: Swets & Zeitlinger, The Netherlands 2004, pp. 368.
- Código de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME), Secciones V y VIII, División 1, edición 2004.
- Procedimiento de evaluación por ultrasonido medición de espesores ASTM-E-797-2000
- Procedimiento de evaluación por Líquidos Penetrantes ASTM-E165-2003