



# Reporte Final de Estadía

Luisa Luz Tlaxcala Martínez

Procedimiento escrito de medición de espesores  
para tuberías forzadas a presión.



Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz

Programa Educativo de Ingeniería en Mantenimiento Industrial

Reporte para obtener título de  
Ingeniero en Mantenimiento Industrial

Proyecto de estadía realizado en la empresa  
PROENERMEX S.A. de C.V.

Nombre del proyecto  
Procedimiento escrito de medición de espesores  
para tuberías forzadas a presión.

Presenta  
Luisa Luz Tlaxcala Martínez

Cuitláhuac, Ver., a 20 de abril de 2018.



# Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz

Programa Educativo de Ingeniería en Mantenimiento Industrial

Nombre del Asesor Industrial  
Ing. Christian Trujillo Hernández

Nombre del Asesor Académico  
Ing. Uriel Alejandro Hernández Sánchez

Jefe de Carrera  
Ing. Gonzalo Malagón González

Nombre del Alumno  
Luisa Luz Tlaxcala Martínez

## AGRADECIMIENTOS

*A mis padres por darme absolutamente todo.*

*A mis hermanos por hacerme inmensamente feliz.*

*A toda mi familia por apoyarme y compartir su vida a mi lado.*

*A mi pareja por tanta paciencia y amor hacia mí.*

*A mis amigos por ser una segunda familia, por su cariño y lealtad.*

*A toda la gente que creyó en mí.*

*Pero principalmente a mi Dios por permitirme llegar hasta aquí.*

*“Por la misericordia de Jehová no hemos sido consumidos,  
porque nunca decayeron sus misericordias.*

*Nuevas son cada mañana;  
grande es tu fidelidad.”*

*Lm. 3:22-23*

*“Tomó luego Samuel una piedra  
y la puso entre Mizpa y Sen,  
y le puso por nombre Eben-ezer, diciendo:*

***Hasta aquí nos ayudó Jehová.”***

*1 S. 7:12*

## RESUMEN

En este proyecto se explica el procedimiento de medición de espesores utilizando el método de ultrasonido industrial para su posterior utilización en análisis de tuberías de agua forzadas a presión que se localizan en la central hidroeléctrica Santa Gertrudis perteneciente a la empresa PROENERMEX S.A. de C.V. El presente trabajo concluye con el cumplimiento de la hipótesis y los objetivos establecidos.

## Contenido

<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>1</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>2</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Estado del Arte .....	3
1.2 Planteamiento del Problema.....	4
1.3 Objetivos .....	5
1.4 Definición de variables .....	5
1.5 Hipótesis.....	6
1.6 Justificación del Proyecto .....	6
1.7 Limitaciones y Alcances.....	7
1.8 La Empresa PROENERMEX S.A. de C.V. ....	7
<b>CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA .....</b>	<b>15</b>
2.1 Marco de Antecedentes.....	16
2.2 Marco teórico.....	18
2.3 Marco Legal.....	45
<b>CAPÍTULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO .....</b>	<b>52</b>
3.1 Recopilación y organización de la información.....	52
3.2 Análisis de la información.....	54
3.3 Propuesta de solución .....	55
3.4 Desarrollo del proyecto.....	56
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>68</b>
4.1 Resultados.....	69
4.2 Trabajos Futuros .....	69
4.3 Recomendaciones .....	70
<b>ANEXOS .....</b>	<b>71</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>82</b>
<b>Tabla de ilustraciones</b>	

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El interés de la industria en la garantía de calidad y la inspección ha influido notablemente en el conocimiento y el desarrollo de métodos de ensayo que benefician prácticamente a todas las industrias. En los últimos 40 años, los métodos de inspección que suelen conocerse colectivamente como ensayos no destructivos (END) han dejado de ser un puñado de técnicas primitivas utilizadas en unas pocas industrias y se ha convertido en una disciplina generalizada y un componente esencial de todo mecanismo industrial.

Por su propia naturaleza, los métodos de END permiten el examen a fondo de los componentes para detectar sus propiedades o defectos sin afectar su utilidad ni su comercialización. Así, han llegado a hacerse indispensables en el control de calidad de los productos industriales y de las estructuras técnicas durante la adquisición, la construcción y el servicio.

Dado su uso generalizado en apoyo de la garantía de calidad, la producción económica y la seguridad pública, estos métodos constituyen una parte decisiva de toda infraestructura industrial. En los países en desarrollo, la utilización eficaz de los END reviste especial importancia para garantizar el funcionamiento adecuado de productos difíciles de sustituir, así como para verificar la construcción de grandes proyectos de inversión en condiciones de seguridad.

En los diferentes procesos encontramos siempre la mejora continua en procesos de elaboración, almacenamiento, control de calidad, entre otros. Para alcanzar estos objetivos se tienen nuevas tecnologías, aplicando técnicas más apropiadas.

En el ámbito industrial, las pruebas mecánicas fueron creadas con la finalidad de conocer el estado de los materiales, sin embargo, las pruebas destructivas utilizadas tradicionalmente, tienen el inconveniente de terminar con la vida útil de los elementos sujetos a prueba, fue entonces que surgieron los ensayos no destructivos, con los cuales se puede determinar el estado de los materiales sin dañarlos.

Los ensayos no destructivos son una parte muy importante del control de calidad y representan un complemento de otros métodos establecidos en tareas de mantenimiento. Dada su versatilidad, estos ensayos pueden ser utilizados en una gran variedad de aplicaciones industriales, entre las principales se tienen la comprobación de fisuras internas en elementos de máquinas, comprobación de espesores en tuberías, irregularidades en uniones por soldadura y desgaste en recipientes o tanques de almacenamiento.

En el método de ultrasonido se utilizan instrumentos que transmiten ondas con ciertos intervalos de frecuencia y se aplican para detectar defectos como poros, fisuras, también para conocer las propiedades básicas de los líquidos y sólidos como las composición y estructura. El ultrasonido permite la detección de fricción en máquinas rotativas, la detección de fallas y/o fugas en válvulas, detección de fugas de fluidos, pérdidas de vacío etc.

La inspección ultrasónica es uno de los métodos de inspección no destructiva más ampliamente usado, y en el área metal-mecánica es utilizado principalmente para la medición de espesores y detección de discontinuidades superficiales, subsuperficiales e internas.



## 1.1 Estado del Arte

Los ensayos no destructivos son de vital importancia en industrias como la aeronáutica, la de generación de potencia térmica o nuclear, la ferroviaria, el transporte de gas o de fluidos potencialmente peligrosos, en la construcción, etc. Actualmente existen diversas empresas que ejecutan ensayos no destructivos; un ejemplo claro es la central nucleoelectrica laguna verde (CNLV).

La medición de espesores por ultrasonido en la central nucleoelectrica laguna verde es un control de adelgazamiento de pared de tubería inducido por erosión-corrosión en tuberías y componentes relacionados y no relacionados con seguridad para garantizar una operación segura y eficiente de la planta.

En el plano internacional los ensayos no destructivos son regulados por comités, sociedades y organizaciones como el comité internacional para ensayos no destructivos (ICNDT), la sociedad americana para ensayos no destructivos (ASNT), la sociedad americana para ensayos y materiales (ASTM), la organización internacional de normas (ISO), la sociedad americana de ingenieros mecánicos (ASME).

En el plano nacional existen instituciones como el instituto mexicano de ensayos no destructivos A. C. (I.M.E.N.D.E.), capacitación y pruebas no destructivas S.C., ensayos no destructivos S.A. de C.V., centro de ingeniería y desarrollo industrial, calidad y técnica industrial S.A. de C.V., centro de tecnología avanzada (CIATEQ) que son asociaciones civiles que llevan a cabo, capacitan, califican y certifican al personal que ejecuta ensayos no destructivos en México.

Las principales empresas que realizan ensayos no destructivos utilizando el método de ultrasonido actualmente en México son comisión federal de electricidad (CFE), PEMEX gas y petroquímica básica, instituto mexicano del petróleo, PEMEX Refinación, Praxair México S.A. de C.V., sistema de transporte colectivo (Metro), Tenaris Tamsa, Tubesa; en las cuales, la efectividad de las aplicaciones de ensayos no destructivos depende primordialmente de la capacidad de quienes son responsables de llevar a cabo dichos ensayos.

## 1.2 Planteamiento del Problema

En la central hidroeléctrica Santa Gertrudis existen dos tuberías forzadas a presión las cuales son de acero al carbono. Dichas tuberías están conectadas a 3 turbogeneradores. Una tubería forzada es la tubería que lleva el agua a presión desde el tanque de almacenamiento hasta la entrada de la turbina (turbogeneradores). El tubo de presión es uno de los elementos más indispensables en la generación de la energía a base de potencia del agua ya que por este tubo, pasa el agua que alimenta a los turbogeneradores para así producir energía eléctrica.

Las tuberías están sujetas a corrosión, es decir, a la pérdida de material que va disminuyendo el espesor de la pared y que puede llegar a condiciones críticas debido al azolve que se acumula durante el recorrido de agua a través de ellas.

Por esta razón es necesario establecer un ensayo no destructivo para conocer el desgaste actual y futuro del espesor presentado en dichas tuberías que se localizan en la empresa hidroeléctrica Procesamiento Energético Mexicano S.A. de C.V

### 1.3 Objetivos

Objetivo general:

- Establecer un procedimiento escrito mediante el método de ensayos no destructivos por inspección de ultrasonido enfocado en la medición de espesores de tuberías forzadas a presión para la central hidroeléctrica Santa Gertrudis Procesamiento Energético Mexicano S.A. de C.V.

Objetivos Específicos:

- Conocer los requisitos específicos de medición por medio del manual de usuario para el manejo correcto del equipo de medición de espesores por el método de ultrasonido.
- Determinar los equipos y accesorios necesarios en un documento escrito para la inspección de las tuberías forzadas a presión.

### 1.4 Definición de variables

- El rango por cubrir (espesor, medidas de la tubería)
- Precisión requerida (calibración del equipo)
- Ambiente en que se realiza la medición (humedad)
- Tipo de señal (ultrasónica)
- Tipo de tubería a medir
- Tipo de transductor
- Tipo de gel para acoplamiento ultrasónico

## 1.5 Hipótesis

*Es posible obtener mediciones más precisas realizando un procedimiento de inspección ultrasónica para la medición de espesores, especificando los parámetros y requisitos de estandarización.*

## 1.6 Justificación del Proyecto

Los ensayos no destructivos nos ayudan a vivir en un mundo más seguro y son de vital importancia en las industrias ya que a través de estas pruebas se detectan discontinuidades superficiales e internas en materiales, soldaduras, componentes y partes fabricadas, permitiendo el control del 100 % de una producción y pueden obtener información de todo el volumen de una pieza, con lo que contribuyen a mantener un nivel de calidad uniforme, con la consiguiente conservación y aseguramiento de la calidad funcional de los sistemas y elementos. Además, colaboran en prevenir accidentes, ya que se aplican en mantenimiento y en vigilancia de los sistemas a lo largo del servicio.

Por otra parte, proporcionarán para la empresa beneficios económicos directos e indirectos. Beneficios directos, por la disminución de los costos de fabricación, al eliminar en las primeras etapas de fabricación, los productos que serían rechazados en la inspección final, y el aumento de la productividad, por reducirse el porcentaje de productos rechazados en dicha inspección final. Entre los beneficios indirectos se pueden citar su contribución a la mejora de los diseños, por ejemplo, demostrando la necesidad de realizar un cambio de diseño de molde en zonas críticas de piezas o también contribuyendo en el control de procesos de fabricación.

De acuerdo con las necesidades de reducir gastos, incidentes, accidentes y cualquier evento no deseado, el presente trabajo trata de reflejar la predicción por medición de inspecciones periódicas a las tuberías de proceso, con la finalidad de realizar un mantenimiento tipo predictivo antes de que suceda una catástrofe ya sea

humana o monetaria. La importancia y gran ventaja de los ensayos no destructivos es que permiten realizar las pruebas sin deteriorar ni maltratar la pieza y arrojando información valiosa de su estado.

### 1.7 Limitaciones y Alcances

El presente documento servirá como guía metodológica de la empresa PROENERMEX, para implementar en un futuro el procedimiento de medición de espesores a través de un ensayo no destructivo el cual se basa en el análisis e inspección por ultrasonido. Servirá como modelo para distintas empresas que, aún no posean un procedimiento escrito como este.

Con el análisis y método de ultrasonido se detectarán discontinuidades profundas del material, también se tendrá una mayor exactitud a diferencia de otros métodos de inspección en cuanto a la determinación de la posición, tamaño, orientación, forma y tipo de discontinuidad ya que los resultados siendo en tiempo real, son inmediatos permitiendo una inspección rápida.

Se requiere de accesibilidad a las superficies de las piezas a inspeccionar, la intención de este procedimiento es proveer de seguridad, protección y ausencia de riesgos para el operador y el personal circundante.

Las limitaciones que se presentan en el método son la inspección en piezas muy rugosas, de geometría irregular, muy pequeñas o de poco espesor debido a que aumenta el espesor del material. De igual manera, la capacidad de detectar discontinuidades pequeñas disminuye a causa de falta de sensibilidad.

### 1.8 La Empresa PROENERMEX S.A. de C.V.

- Nombre o razón social

Procesamiento Energético Mexicano S.A. de C.V. (PROENERMEX S.A. de C.V.)  
Central Hidroeléctrica “Santa Gertrudis”



Figura 1. Logotipo (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

- Ubicación

Procesamiento Energético Mexicano S.A. de C.V. (PROENERMEX S.A. de C.V.) se encuentra ubicada en la Central Hidroeléctrica “Santa Gertrudis” localizada sobre el río Blanco, perteneciente al sistema hidrológico del río Papaloapan.

El acceso a la central es a través de la autopista México- Veracruz, en el tramo Orizaba- Córdoba. Al llegar al poblado de Ixtaczoquitlán, tomando un camino aproximadamente de 5 Km. hasta llegar al sitio de la boquilla. La dirección de la empresa es: Calle camino a Ixtaczoquitlán Viejo S/N. Ixtaczoquitlán, Veracruz. México C.P. 94450.

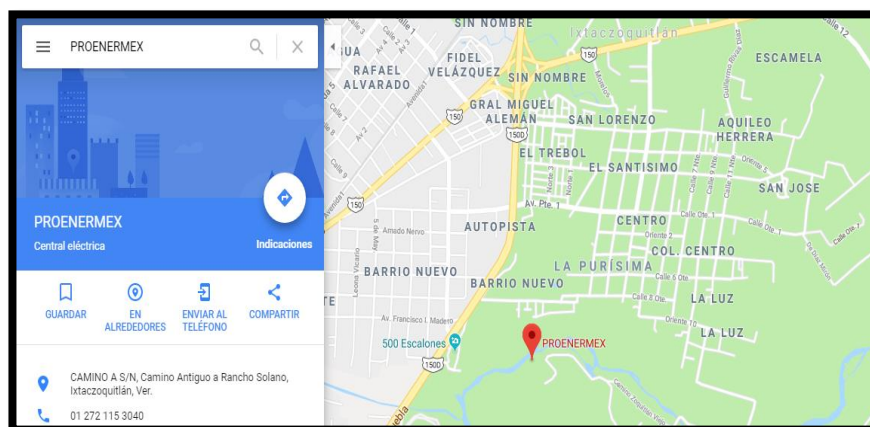


Figura 2. Ubicación Actual (Fuente: Google Maps 2018)

- Giro, tamaño

PROENERMEX S.A. de C.V. es una empresa de servicios privada dedicada a la transformación, distribución y comercialización de energía eléctrica. Es una pequeña empresa ya que actualmente se encuentran laborando 41 empleados de base y ocho temporales que laboran en tiempos de lluvias.

#### **A) Historia de la empresa**

La empresa Procesamiento Energético Mexicano S.A de C.V Central Hidroeléctrica "Santa Gertrudis" tiene una capacidad instalada de 11300 KW, por lo cual, la posiciona en segundo lugar en producción de energía eléctrica en comparación de otras hidroeléctricas que se encuentran localizadas en esta región de Orizaba.

La central hidroeléctrica "Santa Gertrudis", es la primera planta hidroeléctrica adquirida y rehabilitada por la empresa Procesamiento Energético Mexicano S.A de C.V; su rehabilitación fue iniciada en 2004 y entra en operación en febrero de 2007 en todas sus fases.

A partir del primero de agosto de 2011 Procesamiento Energético Mexicano S.A de C.V, adquiere al cliente más importante que es el alumbrado público del municipio de la ciudad de Orizaba Veracruz, en donde se adquiere la tarifa de alumbrado público (A5), que consiste en un horario de energía punta de las 18:00 hrs a 06:00, de lunes a domingo, los 365 días del año.

#### **B) Misión, visión y objetivos de la empresa**

Al igual que todas las empresas que asumen compromisos con sus clientes, entorno social y ambiental; la central hidroeléctrica "Santa Gertrudis" ha planteado la misión y visión de la empresa, valores, la política de calidad y objetivos de calidad los cuales se presentan a continuación:

- Misión

Mejorar la calidad de vida y el desarrollo económico y social, a través de un servicio de electricidad que supera las expectativas de bienestar, comodidad y progreso de todos los mexicanos.

- Visión

Constituirnos en líderes en la generación eléctrica, mediante el uso de tecnología de punta y la optimización integral de recurso humano, para brindar los mejores servicios que permite a la empresa y a nuestros clientes incrementar su eficiencia mediante el máximo aprovechamiento de los recursos disponibles y en armonía con el medio ambiente.

- Valores

Profesionalidad, seriedad, confianza, mejora continua y trabajo en equipo en PROENERMEX S.A. de C.V. son la consigna de esta empresa. Procesamiento energético mexicano S.A. de C.V. busca la satisfacción de sus clientes con personal profesional y un trato cercano al cliente.

- Políticas de calidad

Procesamiento Energético Mexicano S.A de C.V., empresa dedicada a la operación y administración de la Central Hidroeléctrica “Santa Gertrudis”, asume el compromiso de promover el mejoramiento continuo de calidad de nuestros procesos y productos teniendo en cuenta el cuidado ambiental, la higiene, salud y la seguridad.



- Objetivos de calidad

- 1) Operar la central maximizando el beneficio económico y la eficiencia global, manteniendo la máxima disponibilidad posible, reduciendo la contaminación en el origen, y logrando condiciones de higiene y seguridad.
- 2) Cumplir con las exigencias de calidad de nuestros clientes, las legislaciones aplicables ambientales, de higiene, salud y seguridad y otros requisitos a los que se adhiere la organización.
- 3) Analizar nuevas tecnologías y procesos, considerando las posibilidades económicas, orientados a optimizar el uso de los recursos naturales renovables y propiciar el uso racional del recurso hídrico.
- 4) Capacitar y entrenar a nuestro personal en los procesos de producción y seguridad integral.

### C) Procesos que se realizan en la empresa

Para el proceso de la energía, la materia prima es: el agua del cauce del río.

El complejo de la central se encuentra de la siguiente manera, como se muestra en la figura 3:



Figura 3. Complejo de la central hidroeléctrica "Santa Gertrudis"  
(Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

La central cuenta con:

- Presa derivadora: Consta de dos tomas, la principal situada a 5 metros de la cortina a una elevación de 1,118.41 m.s.n.m (metros sobre el nivel del mar) y una segunda toma auxiliar que se ubica a 35 metros aguas arriba de la presa derivadora.
- De sección de gravedad de concreto con 26 m. de longitud de corona, cresta vertedora libre de 18 m. de longitud y dos vertedores laterales en ambos márgenes controlados por dos puertas deslizantes.
- Túnel de presión de agua: Desde las tomas parten dos túneles que unen aguas abajo para descargar en el tanque de puesta a presión. La capacidad de gasto es de 31 m<sup>3</sup>/ seg.
- Tanque de puesta a presión: Tiene como función principal dar carga y evitar la entrada de aire a la tubería de presión.
- Tuberías de presión: Del tanque puesta a presión se encuentra dos tomas para dos tuberías a presión, una con una bifurcación para alimentar a la unidad uno y dos con un diámetro de 1.80 metros y la otra para alimentar la unidad tres con un diámetro de 2.30 metros.
- Casa de máquinas: Esta consta de un área de 20 x 50 m<sup>2</sup>, donde se alojan los tres turbogeneradores.
- Subestación elevadora: Consta de dos transformadores elevadores de voltaje, para la unidad uno y dos, los voltajes de 2.3 Kv cada uno se

transforma en 115 Kv y para la unidad tres el voltaje de 13.8 Kv se transforma en 115 Kv esta subestación elevadora cuenta con protecciones eléctricas que protegen los equipos primarios de la subestación ante cualquier falla o disturbio que se presente en el sistema eléctrico de potencia.

- Turbogeneradores: Se cuenta con tres los cuales se encuentran especificados a continuación:

Turbina: Francis Escher Wyss.	Generador: Síncrono Oerlinkon
<b>RPM: 450</b>	Potencia: 3937 KVA
<b>Q: 8.5 m<sup>3</sup>/ seg.</b>	F. P: 0.8
<b>Potencia: 5260 HP</b>	
<b>Carga: 43.2 m.</b>	

*Tabla 1. Turbogeneradores grupo 1 y 2 (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)*

Turbina: Francis Oengine.	Generador: Síncrono Indar
<b>RPM: 514</b>	Potencia: 7150 KVA
<b>Q: 13.6 m<sup>3</sup>/ Seg.</b>	F. P: 0.8
<b>Potencia: 6700 HP</b>	
<b>Carga: 42 m.</b>	

*Tabla 2. Turbogenerador grupo 3 (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)*

Estos generadores síncronos están protegidos con protecciones eléctricas, ya que éstas se encargan de proteger a los generadores de cualquier tipo de falla que se presente.

El tipo de producción es continuo las 24 horas del día y los 365 días del año, a excepción cuando se lleva a cabo algún mantenimiento programado o una falla permanente.

#### **D) mercado de impacto de los productos o servicios brindados por la empresa**

Procesamiento Energético Mexicano S.A de C.V cuenta con una capacidad de 12 mil kilowatts/ hora de energía eléctrica renovable no contaminante, la cual ayuda a abastecer el alumbrado público de 20 municipios, incluidos los más grandes y representativos del estado de Veracruz.

La central Hidroeléctrica envía la energía producida a través de dos líneas de transmisión de 115 Kv, una parte de la energía es transmitida por la línea PSG 79T10, esta energía es entregada a la subestación eléctrica Orizaba (ORI). La otra parte de la energía de transmitida por la línea PSG 73900, esta energía es entrega a la subestación eléctrica Ojo de agua potencia (OJP). En donde se tiene una tarifa horaria para servicio general en alta tensión, nivel subtransmisión (H-S).

#### **E) Impacto en el área de mecatrónica**

Para el monitoreo en línea de las unidades turbogeneradoras, se cuenta con un centro de operación, control y protección, que cuenta con tecnología y automatización total cuyo sistema es denominado SCADA, mismo que permite monitorear todo el complejo que produce la energía.

## CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA



*Figura 4. Metodología (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)*

**ANÁLISIS:** En este punto se conoce la empresa y cada una de las áreas de oportunidad. De igual forma una vez asignado el proyecto, se investigan los antecedentes; esto es para elaborar un historial que permita determinar de forma cuantitativa y cualitativa el mantenimiento anteriormente realizado en las tuberías forzadas a presión.

**DIAGNÓSTICO:** Se recopilan los datos técnicos de la empresa para la realización del proyecto. Se evalúa el estado en el que se encuentran las tuberías y se determina la existencia de fallas y desgaste presentado en dicha área. Se elige el ensayo no destructivo por medio del cual se realizará la medición de espesor en la tubería, en nuestro caso será vía ultrasónica.

**DESARROLLO:** Se procede a la investigación del tema para la elaboración de la medición de espesores para tuberías de presión en base a la recopilación de datos realizados con anterioridad. Esto nos permitirá la elaboración de normas y procedimientos para realizar las mediciones en las tuberías, así como medidas preventivas para corregir las fallas encontradas a fin de evitar pérdidas materiales.

**RESULTADOS:** Se muestran los resultados de la investigación y el procedimiento escrito de medición de espesores para tuberías forzadas a presión a la empresa PROENERMEX S.A. de C.V para su futura implementación en esta área.

## 2.1 Marco de Antecedentes

### **Ensayos no destructivos y el método de inspección ultrasónica.**

Los ensayos no destructivos se han practicado por muchas décadas. Se tiene registro desde 1868 cuando se comenzó a trabajar con campos magnéticos. Uno de los métodos más utilizados fue la detección de grietas superficiales en ruedas y ejes de ferrocarril. Las piezas eran sumergidas en aceite, y después se limpiaban y se esparcían con un polvo. 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 éstas y otras inspecciones, y esta técnica de inspección ahora se llama prueba por líquidos penetrantes (PT).

Sin embargo, con el desarrollo de los procesos de producción, la detección de discontinuidades ya no era suficiente. Era necesario también contar con información cuantitativa sobre el tamaño de la discontinuidad, para utilizarla como fuente de información, con el fin de realizar cálculos matemáticos y poder predecir así la vida mecánica de un componente. Estas necesidades, condujeron a la aparición de la Evaluación No Destructiva (NDE) como nueva disciplina. A raíz de esta revolución tecnológica se suscitarían en el campo de las PND una serie de acontecimientos que establecerían su condición actual.

En el año de 1941 se funda la Sociedad Americana para Ensayos No Destructivos (ASNT por sus siglas en inglés), la cual es la sociedad técnica más grande en el mundo de pruebas no destructivas. Esta sociedad es promotora del intercambio de información técnica sobre las PND, así como de materiales educativos y programas. Es también creadora de estándares y servicios para la Calificación y Certificación de personal que realiza ensayos no destructivos, bajo el esquema americano.

El campo de la inspección ultrasónica es uno de los métodos más ampliamente usados, sobre todo en el sector del metal-mecánico para medir los espesores, detección de discontinuidades tanto internas como superficiales. La propagación de ondas sonoras a través del aire y otros materiales se estudió en el siglo XIX, pero la introducción de instrumentos ultrasónicos requirió los avances en electrónica de principios del siglo XX, incluyendo el desarrollo del tubo de rayos catódicos.

La idea de usar ondas ultrasónicas para investigar la estructura interna de los materiales se investigó por primera vez en la década de 1920. En 1924, El Dr. Sokolov desarrolló las primeras técnicas de inspección empleando ondas ultrasónicas. Los experimentos iniciales se basaron en la medición de la pérdida de la intensidad de la energía acústica al viajar en un material. Para tal procedimiento se requería del empleo de un emisor y un receptor de la onda ultrasónica y la primera patente específica en el área de pruebas no destructivas ultrasónicas data de 1931.

Se patentó el primer instrumento de prueba ultrasónico comercial llamado Reflectoscopio por el profesor Floyd Firestone de la Universidad de Michigan en 1940; el desarrollo del sonar durante la Segunda Guerra Mundial hizo avanzar aún más el campo. En la década de 1950, los instrumentos comerciales se volvieron ampliamente disponibles.

Estos primeros instrumentos fueron desarrollados principalmente para la detección de fallas ultrasónicas, aunque también podían usarse para la medición de espesores. En la década de 1960, comenzaron a aparecer los primeros instrumentos más pequeños y más portátiles diseñados para calibrar, incluidos los instrumentos con pantallas digitales de espesor en lugar de pantallas de osciloscopio.

El Modelo 5221 presentado por Panametrics de Olympus en 1973 fue el primer medidor ultrasónico comercial que incorporó mediciones multimodo preestablecidas para cubrir una amplia gama de materiales y espesores, así como la calibración de la velocidad de conmutación.

Los instrumentos relativamente compactos, a batería, optimizados para una amplia variedad de aplicaciones de prueba se hicieron comunes en la década de 1970, y los instrumentos se hicieron cada vez más pequeños y más potentes.

Las pantallas de forma de onda como ayuda del operador y el registro de datos interno se introdujeron en la década de 1980, y en la década de 1990 el procesamiento de señal digital reemplazó a la circuitería analógica y mejoró la estabilidad y repetibilidad.

Más recientemente, los avances en la tecnología de microprocesadores han llevado a nuevos niveles de rendimiento en los instrumentos en miniatura sofisticados y fáciles de usar de hoy en día.

## 2.2 Marco teórico

### **ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

Se denomina ensayo no destructivo (también llamado END, o en inglés NDT no destructive testing) a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Los ensayos no destructivos implican un daño imperceptible o nulo.

Los diferentes métodos de ensayos no destructivos se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como ondas electromagnéticas, acústicas, elásticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable a la muestra examinados.



Por estas razones los ensayos no destructivos se pueden definir como: “El empleo de propiedades físicas o químicas de materiales, para la evaluación indirecta de materiales sin dañar su utilidad futura” [1]

Las pruebas no destructivas se identifican comúnmente con las siglas: PND; y se consideran sinónimos a: Ensayos no destructivos (END), inspecciones no destructivas y exámenes no destructivos los cuales podrían definirse como “Herramientas fundamentales y esenciales para el control de calidad de materiales de ingeniería, procesos de manufactura, confiabilidad de productos en servicio, mantenimiento de sistema cuya falla prematura puede ser costosa o desastrosa”. [2]

En general los ensayos no destructivos proveen datos menos exactos acerca del estado de la variable a medir que los ensayos destructivos. Sin embargo, suelen ser más baratos para el propietario de la pieza a examinar, ya que no implican la destrucción de esta. En ocasiones los ensayos no destructivos buscan únicamente verificar la homogeneidad y continuidad del material analizado, por lo que se complementan con los datos provenientes de los ensayos destructivos.

### **Detección y evaluación en materiales.**

La técnica de inspección no destructiva (IND) es una de las aplicaciones más comunes y es fundamental comprender lo que se entiende por defecto, falla y discontinuidad.

### **Defecto en materiales**

Se define defecto como una o más imperfecciones cuyo tamaño, forma, orientación, localización o sus propiedades, son tales que no cumplen con determinados criterios

de aceptación y, por tanto, pudieran ser motivo de rechazo. Por esta razón un defecto una discontinuidad que excede los criterios de aceptación establecidos que podrían generar que el material o equipo falle cuando sea puesto en servicio o durante su funcionamiento.

### **Falla de materiales**

De igual forma, se define falla como el hecho de que un artículo de interés no pueda ser utilizado. Existen dos tipos generales de falla: la primera es fácil de reconocer y corresponde a la fractura o separación en dos o más partes; la segunda es menos fácil de reconocer y corresponde a la deformación permanente o cambio de forma y/o posición.

Es de gran importancia conocer el tipo de falla para saber:

- ¿Para qué se realiza la inspección?
- ¿Cómo se inspecciona?
- ¿Cómo eliminar la falla?
- ¿Cómo reducir el riesgo de falla?

Si esperamos prevenir la falla por medio del uso de pruebas no destructivas, éstas deben ser seleccionadas, aplicadas e interpretadas con cuidado y basándose en el conocimiento válido de los mecanismos de falla y sus causas.

El propósito del diseño y aplicación de las pruebas debe ser el control efectivo de los materiales y productos, con el fin de satisfacer un servicio sin que se presente la falla prematura o daño.

La mayoría de las pruebas están diseñadas para permitir la detección de algún tipo de falla interior o exterior, o la medición de algunas características, de un solo material o grupos de materiales.

La fuente de la falla puede ser:

- Una discontinuidad
- Un material químicamente incorrecto, o
- Un material tratado de tal forma que sus propiedades no son adecuadas.

## **Discontinuidad**

Se define discontinuidad como la falta de continuidad o cohesión, intencional o involuntaria, en la estructura física o configuración de un componente o material; cualquier interrupción o variación local de la continuidad o configuración física normal de un material.

Cualquier cambio en la geometría, huecos, grietas, composición, estructura o propiedades es un claro ejemplo de discontinuidad en los materiales. Algunas discontinuidades, como barrenos o formas de superficies, son consideradas como intencionales en el diseño, normalmente éstas no requieren ser inspeccionadas.

Otras discontinuidades son inherentes en el material por su composición química o de estructura. Estas discontinuidades pueden variar ampliamente en tamaño, distribución e intensidad, dependiendo del material, el tratamiento térmico, proceso de fabricación y el medio ambiente al que están expuestos los materiales.

Se pueden clasificar como:

- Relevantes: son aquellas que por alguna de sus características (dimensiones, forma, localización, etc.) deben ser interpretadas, evaluadas y reportadas.
- No relevantes: son aquellas que por alguna de sus características se interpretan, pero no se evalúan, y deben ser registradas.

## **Clasificación**

La clasificación de las pruebas no destructivas se basa en la posición donde se ubican las discontinuidades que pueden ser detectadas, por lo que se clasifican en:

- Pruebas no destructivas superficiales
- Pruebas no destructivas volumétricas
- Pruebas no destructivas de hermeticidad

### **Pruebas no destructivas superficiales**

Estas pruebas proporcionan información acerca de la sanidad superficial de los materiales inspeccionados. Los métodos de P.N.D. superficiales son:

- VT - Inspección Visual
- PT - Líquidos Penetrantes
- MT - Partículas Magnéticas
- ET – Electromagnetismo

### **Pruebas no destructivas volumétricas**

Estas pruebas proporcionan información acerca de la sanidad interna de los materiales inspeccionados. Los métodos de P.N.D. volumétricos son:

- RT - Radiografía Industrial
- UT - Ultrasonido Industrial
- AET - emisión Acústica

## **Pruebas no destructivas de hermeticidad**

Proporcionan información del grado que pueden ser contenidos los fluidos en recipientes, sin que escapen a la atmósfera o queden fuera de control. Los métodos de P.N.D. de hermeticidad son:

- Pruebas de fuga
- Pruebas de cambio de presión (neumática o hidrostática)
- Pruebas de burbuja
- Pruebas por espectrómetro de masas
- Pruebas de fuga con rastreadores de halógeno

## **ENSAYO NO DESTRUCTIVO POR MÉTODO DE ULTRASONIDO**

Es una de las técnicas de inspección no destructiva más versátiles, ya que permite localizar y cuantificar el tamaño de los defectos internos para diferentes tipos de geometrías y materiales. Este método se basa en la medición de la propagación del sonido en el medio que constituye la pieza a analizar y tiene aplicación en todo tipo de materiales utilizando “La energía del sonido de alta frecuencia para detectar discontinuidades internas en los materiales y hacer mediciones de espesor del material. También puede ser utilizada para la evaluación de discontinuidades, mediciones dimensionales, clasificación de materiales y más”. [3]

La inspección ultrasónica es el método no destructivo más utilizado el cual se define como un procedimiento de inspección no destructiva de tipo mecánico, que se basa en la impedancia acústica, la que se manifiesta como el producto de la velocidad máxima de propagación del sonido entre la densidad de un material.

Sus distintas técnicas permiten su uso en dos campos de ensayos no destructivos: Control de calidad y Mantenimiento preventivo, siendo en esta última especialidad muy utilizados en la aeronáutica por su precisión para determinar pequeñas fisuras de fatiga en trenes de aterrizaje, largueros principales, blocks de motores, bielas, etc.

Los ultrasonidos “Son ondas de mismo tipo que los sonidos audibles, diferenciándose únicamente en la frecuencia de operación y forma de propagación. Los ultrasonidos operan con frecuencias por encima de la zona audible del espectro acústico”. [4]

La inspección por ultrasonido es un método no destructivo en el cual un haz o un conjunto de ondas de alta frecuencia son introducidos en los materiales para la detección de fallas en la superficie y sub-superficie. Las ondas de sonido viajan a través del material disminuyéndose paulatinamente y son reflejadas a la interface.

El haz reflejado es mostrado y analizado para definir la presencia y localización de fallas y discontinuidades. En sólidos, las ondas acústicas pueden propagarse en cuatro formas principales de acuerdo con la forma en que oscilan las partículas: ondas longitudinales, ondas transversales, ondas superficiales y, en materiales delgados como ondas laminares.

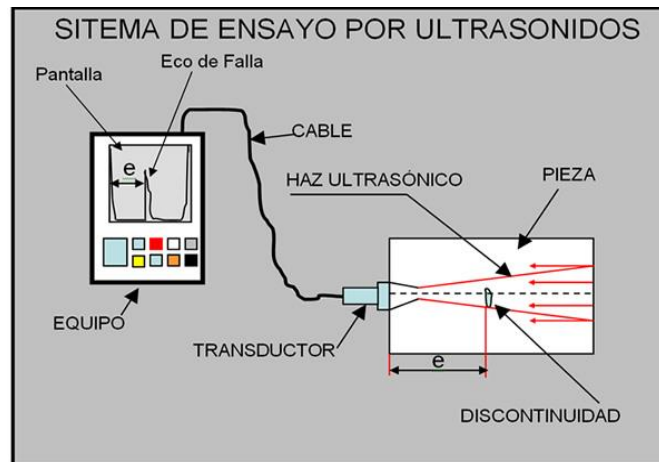


Figura 5. Inspección típica por ultrasonido (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

El grado de reflexión depende grandemente en el estado físico de los materiales que forman la interface. Por ejemplo: las ondas de sonido son reflejadas casi totalmente en las interfaces gas/metal.

Por otro lado, existe una reflectividad parcial en las interfaces metal/sólido. Grietas, laminaciones, poros, socavados y otras fallas o discontinuidades que producen interfaces reflectivas serán detectadas fácilmente.

La mayoría de los instrumentos de inspección ultrasónica detectan fallas monitoreando uno más de los siguientes puntos:

- La reflexión del sonido de las interfaces consistentes en los límites del material o en discontinuidades dentro del material mismo.
- El tiempo de tránsito de la onda de sonido durante la prueba dentro de la pieza desde el punto de entrada del transductor hasta el punto de salida.
- La atenuación de las ondas de sonido en la pieza debido a la absorción y dispersión dentro de la pieza.

La mayoría de las inspecciones ultrasónicas son realizadas en frecuencias entre 0.1 y 25 MHz debido a que las ondas de ultrasonido son vibraciones mecánicas y las amplitudes de las vibraciones producen esfuerzos en las piezas por debajo de su límite elástico, de esta manera los materiales no producirán deformaciones plásticas.

El ultrasonido industrial (UT Ultrasonic Testing) “Es una tecnología inocua debido a que detecta discontinuidades y defectos internos, aunque también es utilizado para detectar defectos superficiales, tiene una alta capacidad de penetración para definir características de la superficie tales como: medida de corrosión y espesor; con frecuencias menores se sirve para determinar el tamaño de grano, estructura, y constantes elásticas. Los resultados se conocen rápidamente y posee diferentes técnicas para escoger, de acuerdo con el ensayo requerido”. [5]

## **EQUIPO BÁSICO**

La mayoría de los equipos de inspección por ultrasonido incluyen el siguiente equipo básico:

- Un generador electrónico de señal que produce ráfagas de voltaje alternadas.
- Un transductor que emite un haz de ondas ultrasónicas cuando las ráfagas de voltaje alternado son aplicadas.
- Un acoplador para transferir la energía de las ondas de ultrasonido a la pieza de trabajo.
- Un acoplador que transfiere la salida de las ondas de sonido (energía acústica) de la pieza al transductor.
- Un transductor (puede ser el mismo que el transductor que inicia las ondas ultrasónicas o puede ser otro diferente) para aceptar y convertir las ondas de ultrasonido de salida de la pieza de trabajo en ráfagas de voltaje. En la mayoría de los sistemas un transductor simple actúa como emisor y receptor.
- Un dispositivo electrónico para amplificar y modificar las señales del transductor.
- Un dispositivo de salida que muestre la información resultante y la proyecte ya sea impresa o en pantalla.
- Un reloj electrónico o un cronómetro para controlar la operación de varios componentes del sistema.

## **CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS ONDAS ULTRASÓNICAS**

Las ondas ultrasónicas son ondas mecánicas que consisten en vibraciones oscilatorias de partículas atómicas o moleculares de una sustancia. Las ondas de ultrasonido se comportan igual que las ondas de sonido audible ya que se pueden propagar a través de un medio elástico sea sólido, líquido o gaseoso, pero no al vacío.

Cada onda viaja con características diferentes las cuales dependen del medio en el que se propaguen no de las características de la onda. Como un haz de luz, un haz



de ultrasonido es reflejado de las superficies, refractado cuando cruza las fronteras entre dos substancias que tienen diferentes características de velocidades y difractados en los bordes o alrededor de los obstáculos. El sonido y el ultrasonido son ondas acústicas de la misma naturaleza, lo único que las diferencia es el número de oscilaciones o vibraciones que sufren las partículas del medio durante su propagación.

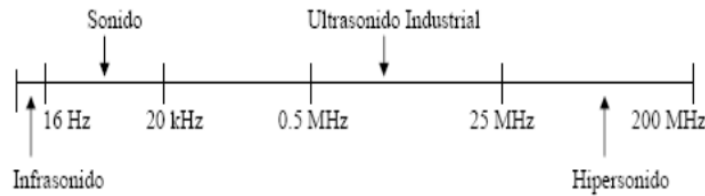


Figura 6. Escala de Frecuencias (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

### PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS

Las ondas ultrasónicas se propagan en cierta medida en cualquier material elástico. Cuando las partículas atómicas o moleculares de un material elástico son desplazadas de sus posiciones de equilibrio por cualquier fuerza aplicada, esfuerzos internos actúan para restaurar o reacomodar a sus posiciones originales.

Debido a las fuerzas interatómicas que existen entre las partículas adyacentes del material, un desplazamiento en un punto induce un desplazamiento en los puntos vecinos y así sucesivamente, originando entonces una propagación de ondas de esfuerzo-deformación. El desplazamiento real material que se produce en las ondas ultrasónicas es extremadamente pequeño.

La vibración es energía en movimiento hacia atrás y adelante. La vibración viaja a través del material sólido como un conjunto de partículas en movimiento generada por una perturbación.

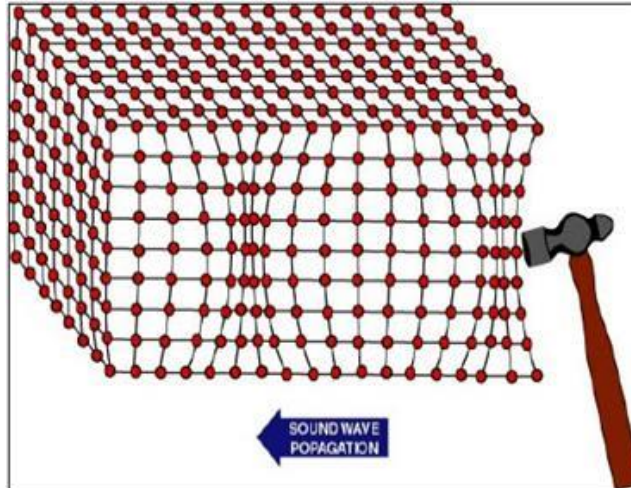


Figura 7. Propagación del sonido (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

La propagación del ultrasonido está caracterizada por vibraciones periódicas de los átomos representada por un movimiento ondulatorio. La amplitud, modo de vibración y velocidad de las ondas se diferencian en los sólidos, líquidos y gases debido a las grandes diferencias que entre las distancias de sus partículas internas. Estas diferencias influyen las fuerzas de atracción entre partículas y el comportamiento elástico de los materiales.

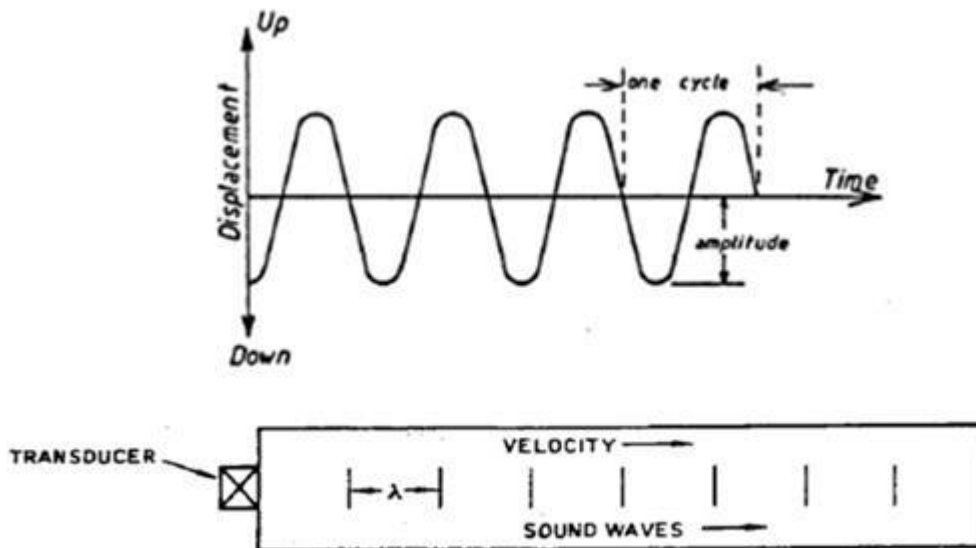


Figura 8. Propagación del sonido (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

La relación de velocidad con frecuencia y longitud de onda está dada por:

$$V = f \cdot \lambda$$

Dónde:

V= es velocidad (en metros por segundo)

F= es la frecuencia (en Hertz)

$\lambda$  = es la longitud de onda (en metros por ciclo).

### **Velocidad.**

La velocidad de propagación es la distancia recorrida por la onda dividido por el tiempo empleado para recorrer esa distancia. La velocidad de los ultrasonidos en un material determinado depende de la densidad y elasticidad del medio que a su vez varían con la temperatura. La relación es directa, es decir, a mayor densidad del medio, mayor será la velocidad de transmisión de los ultrasonidos.

### **Frecuencia.**

Es el número de oscilaciones (vibración o ciclo) de una partícula por unidad de tiempo (segundo). La frecuencia se mide en Hertz (Hz). Un Hertz es una oscilación (ciclo) por segundo.

Como los ultrasonidos son ondas de alta frecuencia, se utiliza como medida básica el MegaHertz (MHz) que es igual a un millón de Hz.

### **Longitud de onda.**

Es la distancia que existe entre dos puntos que se encuentran en el mismo estado de vibración.

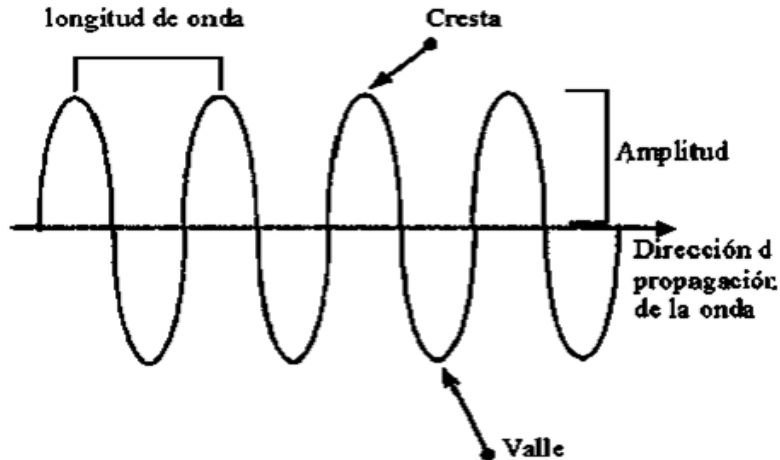


Figura 9. Longitud de onda (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

### **Amplitud.**

Es el máximo cambio producido en la presión de la onda, es decir la distancia máxima que alcanza la partícula vibratoria desde su posición inicial de reposo (altura de la curva senoidal).

La amplitud se relaciona con la intensidad. De este modo si aumentamos la intensidad de una onda determinada aumentaremos su amplitud. Durante la transmisión de las ondas, por efecto de su interacción con el medio, disminuye la intensidad de la onda en función de la distancia recorrida y como consecuencia se produce una disminución de su amplitud.

### **Período.**

Es el tiempo de una oscilación completa, es decir lo que tarda el sonido en recorrer una longitud de onda.

## **PROPIEDADES DE LAS ONDAS ULTRASÓNICAS**

Las ondas ultrasónicas pueden desplazarse por el medio en forma de ondas longitudinales (las partículas vibran en la dirección de propagación de la onda), transversales (las partículas vibran perpendicularmente) o de superficie (los movimientos de las partículas forman elipses en un plano paralelo a la dirección de propagación y perpendicular a la superficie).

### **Ondas longitudinales ultrasónicas**

Algunas veces llamadas ondas de compresión son el tipo de ondas ultrasónicas mayormente utilizadas en la inspección de materiales. Estas ondas viajan a través de los materiales como series alternadas de compresión y succión en las cuales las partículas transmiten las vibraciones de regreso y en la dirección de viaje de las ondas. La velocidad de una onda longitudinal ultrasónica es de 6000 m/s en aceros, 1500 m/s en agua y 330 m/s en aire.

### **Ondas transversales ultrasónicas**

Las ondas transversales son también utilizadas ampliamente en la inspección ultrasónica de los materiales. Podemos visualizar las ondas transversales en términos de vibraciones como una cuerda que se agita rítmicamente, en la que cada partícula en lugar de vibración paralela a la dirección del oleaje como a la onda longitudinal, vibra hacia arriba y hacia abajo en un plano perpendicular a la dirección de propagación. A diferencia de las ondas longitudinales, las ondas transversales no pueden ser soportadas por una colisión elástica de las partículas o moléculas adyacentes.

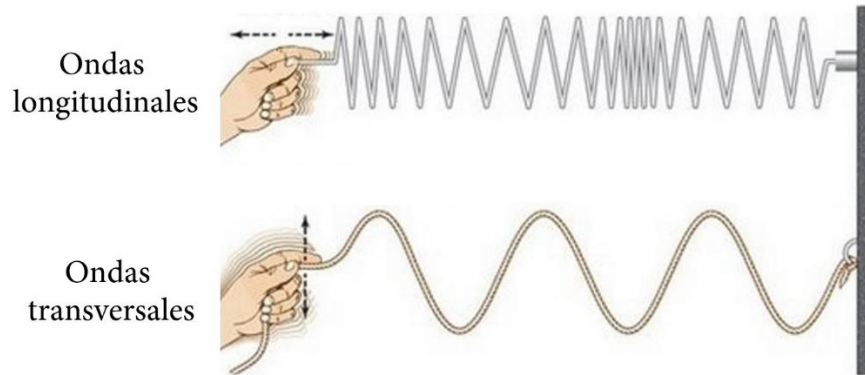


Figura 10. Ondas ultrasónicas (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

### Impedancia acústica

La impedancia acústica es la resistencia que opone un material a la propagación del sonido y está definida como el producto de su densidad  $\rho$  y la velocidad acústica  $V$ .

$$Z = \rho v$$

El aire tiene una impedancia muy baja a las ondas ultrasónicas porque tiene baja la densidad y la velocidad. La impedancia del agua es mayor que la impedancia del aire, además de los sólidos, tales como el aluminio y el acero tienen impedancias más altas.

Material	Impedancia (gr/cm <sup>2</sup> -seg)	Velocidad (cm/seg)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )
Aire	0.000033 x 10 <sup>6</sup>	0.33 x 10 <sup>5</sup>	0.001
Agua	0.149 x 10 <sup>6</sup>	1.49 x 10 <sup>5</sup>	1.00
Aluminio	1.72 x 10 <sup>6</sup>	6.35 x 10 <sup>5</sup>	2.71
Acero	4.56 x 10 <sup>6</sup>	5.85 x 10 <sup>5</sup>	7.8

Tabla 3. Impedancia, velocidad y densidad (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

La impedancia acústica es importante en:

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

### **Relación de la Impedancia**

Cuando un transductor se utiliza para transmitir una onda ultrasónica en un material, sólo una parte de la energía de la onda se transmite y el resto se refleja en la superficie del material. También, una cierta cantidad de energía ultrasónica se refleja en la interfaz entre dos materiales diferentes cuando el haz de sonido pasa de un material al otro.

La relación de impedancia acústica entre dos materiales es simplemente la impedancia acústica de un material dividido por la impedancia acústica del otro material. Cuando un haz ultrasónico está pasando del material A en el material B, la relación de impedancia es, la impedancia del segundo material dividido por la impedancia del primer material. Cuanto mayor sea la relación, mayor será reflejada la energía original.

Puesto que el aire tiene una impedancia muy pequeña, la relación de impedancia entre el aire y cualquier material líquido o sólido es muy alto, por lo tanto, el haz de sonido se reflejará en cualquier interface entre el aire y cualquier otro material.

Una relación de alta impedancia es llamada desigualdad de impedancia. Si la relación de impedancia, por ejemplo, fue de 5:1, la desigualdad de impedancia será 5:1, mientras que la relación de impedancia de metal/aire es aproximadamente 115.000:1 (prácticamente 100% de reflexión), la relación de impedancia para una interface líquido/metal es menor.

Por ejemplo, los valores de impedancia acústica de la interface agua/acero son 0,148:4.616, respectivamente, haciendo que la relación de impedancia será 1:31, la reflexión puede ser calculada utilizando la Siguiete fórmula:

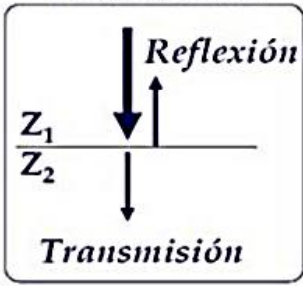
<p><b>Coefficiente de reflexión</b></p> $R = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2} \quad \%R = R \times 100$ <p><b>Coefficiente de transmisión</b></p> $T = \frac{4 Z_1 Z_2}{(Z_2 + Z_1)^2} \quad \%T = T \times 100$ <p><math>T = 1 - R</math></p>	<p><b>Incidencia normal</b></p> 
---	--

Tabla 4. Coeficiente de reflexión (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

Donde Z1 es el valor de la impedancia del primer material y Z2 el valor de impedancia del segundo material.

## Reflexión

En muchos sentidos, un haz de ondas ultrasónicas actúa en la misma forma que un haz de ondas de luz. Por ejemplo, cuando se realiza una interrupción o golpe a un objeto de prueba, la mayoría de la energía del haz de sonido es reflejada. Los ensayos por ultrasónicos no proporcionan información directa acerca de la naturaleza exacta de la discontinuidad (caracterización).

Esto se deduce a varios factores, el más importante es el conocimiento del material y construcción del objeto a ensayar por lo que se necesita personal altamente calificado y con vasta experiencia si se quiere caracterizar una discontinuidad. Las ondas ultrasónicas se reflejan tanto de la discontinuidad y la superficie posterior del objeto de prueba en forma de ecos. El eco de la discontinuidad se recibe antes de la reflexión en la superficie posterior.



En la figura se muestra una situación en la que el tiempo requerido para que el haz de sonido viaje a través del objeto de prueba hasta la discontinuidad es dos tercios del tiempo requerido para el haz de sonido pueda llegar a la superficie posterior y retornar. Esta diferencia de tiempo indica que la discontinuidad se encuentra a dos tercios de la distancia a la superficie posterior.

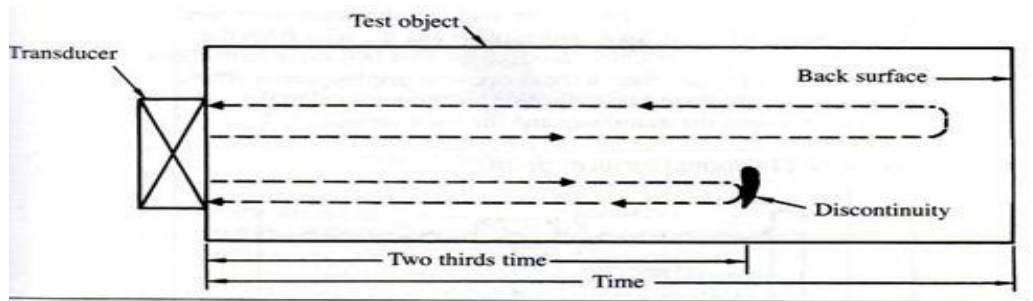


Figura 11. Reflexión (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

La distancia que el haz de sonido se desplaza a la pieza de prueba se puede medir en la pantalla de visualización del instrumento ultrasónico, en la figura 12.

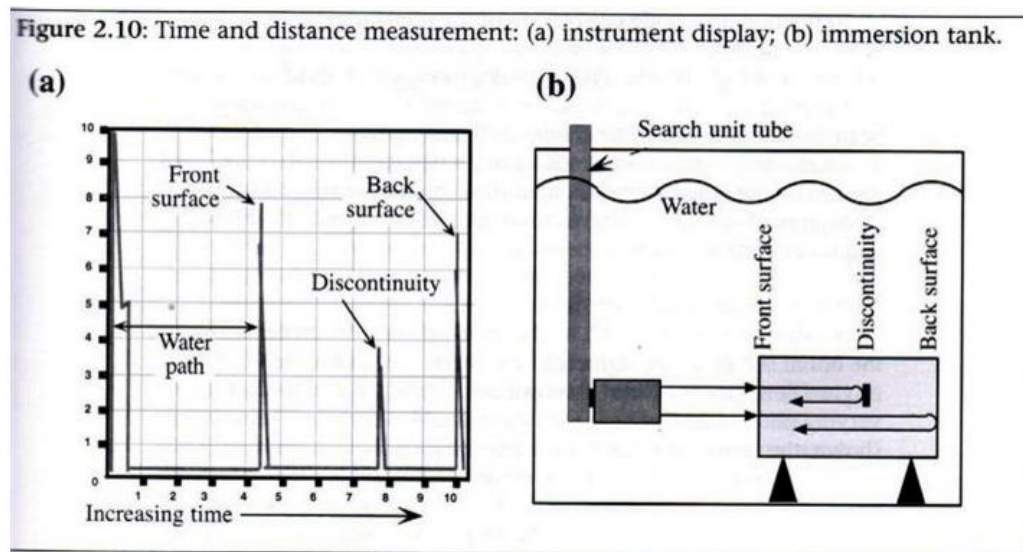


Figura 12. Medida del tiempo y la distancia (A) Pantalla del instrumento (b) tanque de inmersión (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

Se observa lo siguiente:

- Distancia entre el eco de impulso inicial y el eco de la superficie del objeto a prueba (Front surface).
- Distancia entre eco de la superficie del objeto a prueba (Front surface) y el eco de fondo (back surface).
- El eco que se está entre el eco de la superficie y el eco de fondo es el de la discontinuidad, la distancia es dos tercios desde la superficie.

### **MÉTODOS BÁSICOS DE INSPECCIÓN**

Los dos métodos más importantes para la inspección por ultrasonido son el método de transmisión y el método eco-pulsado. La principal diferencia entre estos dos métodos es que el método de transmisión involucra solo la medición de la atenuación de la señal, mientras que el método eco-pulsado puede ser utilizado para medir el tiempo de tránsito y la atenuación o disminución de la señal.

#### **Método de transmisión**

El método de transmisión el cual incluye tanto reflexión como transmisión involucra solo la medición de la atenuación o disminución de señal. Este método también se utiliza para la detección de fallas.

En el método eco-pulsado, es necesario que una falla interna reflecte al menos una parte de la energía sonora sobre un transductor de recepción.

Los ecos de las fallas no son necesarios para su detección. El hecho de la que la amplitud de la reflexión de una pieza de trabajo es menor que la de una pieza idéntica libre de fallas implica que la pieza tiene una o más fallas. La técnica para detectar la presencia de fallas por la atenuación de sonido es utilizada en los métodos de transmisión, así como en los métodos eco-pulsados.

En este tipo de método la transmisión de es realizada por haz directo o reflectivo, las fallas son detectadas comparando la intensidad del ultrasonido transmitido a través de la pieza contra la intensidad transmitida a través de una referencia estándar fabricada del mismo material.

Las pruebas de transmisión requieren de dos unidades de búsqueda, una para transmitir las ondas ultrasónicas y otra para recibirlas.

Un buen acoplamiento es crítico para los métodos de transmisión debido a las variaciones de sonido durante la transmisión.

### **Técnicas de haz angular**

El haz de sonido entra en el material a inspeccionar con cierto ángulo y se propaga por reflexiones sucesivas en forma de zigzag por los límites del espécimen hasta que sea interrumpido por una discontinuidad o un límite donde el haz se regrese de dirección y se refleje al transductor.

Las técnicas de haz angular son utilizadas generalmente para evaluar soldaduras, tuberías, hojas y placas de material y especímenes de forma irregular (como soldaduras) donde un haz recto es imposible que esté en contacto con toda la superficie.

Las técnicas de haz angular son también utilizadas en la localización de fallas cuando existe una pérdida de reflexión de retroalimentación

En las técnicas de haz angular, el pulso de sonido incidente penetra la pieza a evaluar, en un ángulo oblicuo en lugar de un ángulo recto. En contraste con las pruebas de haz recto, este método elimina los ecos de la superficie posterior y frontal y solo despliega reflexiones causadas por discontinuidades que son normales al haz de incidencia.

### **Método eco-pulsado**

Es el más utilizado en inspecciones ultrasónicas, involucra la detección de ecos producidos cuando un pulso ultrasónico es reflejado por una discontinuidad o una interface en una pieza de trabajo. Este método es utilizado para detectar la localización de la falla y para medir espesores.

La profundidad de la falla está determinada por el "tiempo de vuelo" entre el pulso inicial y el eco producido por la falla. La profundidad de la falla también se puede determinar por el tiempo relativo de tránsito entre el eco producido por una falla y el eco de la superficie de respaldo.

Las dimensiones de las fallas se estiman comparando la amplitud de la señal del sonido reflejado por una interface con la amplitud del sonido reflejado desde un reflector de referencia de tamaño conocido o por una pieza de respaldo que no contenga fallas.

La mayoría de los equipos de eco-pulsado consisten en:

- En reloj electrónico.
- Un generador electrónico de señal o pulsador.
- Un transductor de envío.
- Un transductor de recepción.
- Un amplificador de eco-señal.
- Un dispositivo de salida.

La información del método de eco-pulsado puede ser desplegada en diferentes formas. Las formas básicas son:

- **Escaneos-A:** Este formato provee un desplegado cuantitativo de señales y tiempo de vuelo obtenidos en un punto simple en la superficie de la pieza. El desplegado del escaneo tipo A, que es el formato más utilizado, puede ser empleado para analizar el tipo, localización y tamaño de una falla.
- **Escaneos-B:** Este formato provee un desplegado cuantitativo de "tiempo de vuelo" obtenido a través de una línea de la pieza. El escaneo tipo B muestra la profundidad relativa de los reflectores y es usado principalmente para determinar el tamaño (longitud en una dirección), localización (posición y profundidad) y de alguna manera la forma y orientación de fallas largas.
- **Escaneos-C:** Este formato provee un desplegado semi-cuantitativo o cuantitativo de señales de amplitudes obtenidos sobre un área de la pieza a evaluar. Esta información puede ser utilizada para ubicar las fallas en una vista de la pieza de trabajo.

Los escaneos tipo A y B son generalmente presentados en la pantalla de un osciloscopio, los escaneos tipo C son almacenados por una máquina de coordenadas o desplegados en un monitor de computadora.

### **Desplegado del escaneo tipo A.**

Es básicamente una gráfica de amplitud versus tiempo, en la cual una línea horizontal sobre un osciloscopio indica el tiempo transcurrido mientras que el eje vertical indica las deflexiones (llamadas indicaciones o señales) representan los ecos.

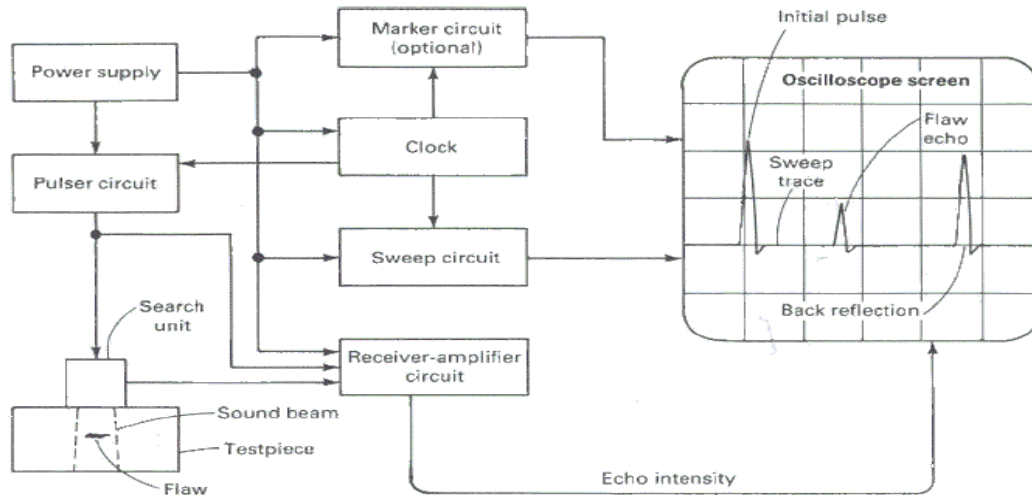


Figura 13. Diagrama típico de bloque de un escaneo tipo A, incluyendo el desplegado visual, para un ultrasonido eco-pulsado básico. (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

El tamaño de la falla se puede estimar comparando la señal de la amplitud de una discontinuidad con una señal de una discontinuidad de un tamaño y forma conocido. La señal de discontinuidad debe de ser corregida para evitar pérdidas de distancia.

La localización de la falla (profundidad) se determina por la posición del eco de la falla en la pantalla del osciloscopio.

### Desplegado del escaneo tipo B.

Es básicamente una gráfica de tiempo versus distancia, en el cual un eje ortogonal en el desplegado corresponde al tiempo transcurrido, mientras que el otro eje representa la posición del transductor a través de una línea sobre la pieza de trabajo relativa a la posición del transductor al inicio de la inspección.

La intensidad del eco no es medida directamente porque ya es medida en el escaneo tipo A, pero es regularmente indicada semi-cuantitativamente por el brillo relativo del eco que generan las indicaciones en el osciloscopio.

Un arreglo típico de escaneo tipo B se muestra en la siguiente imagen.

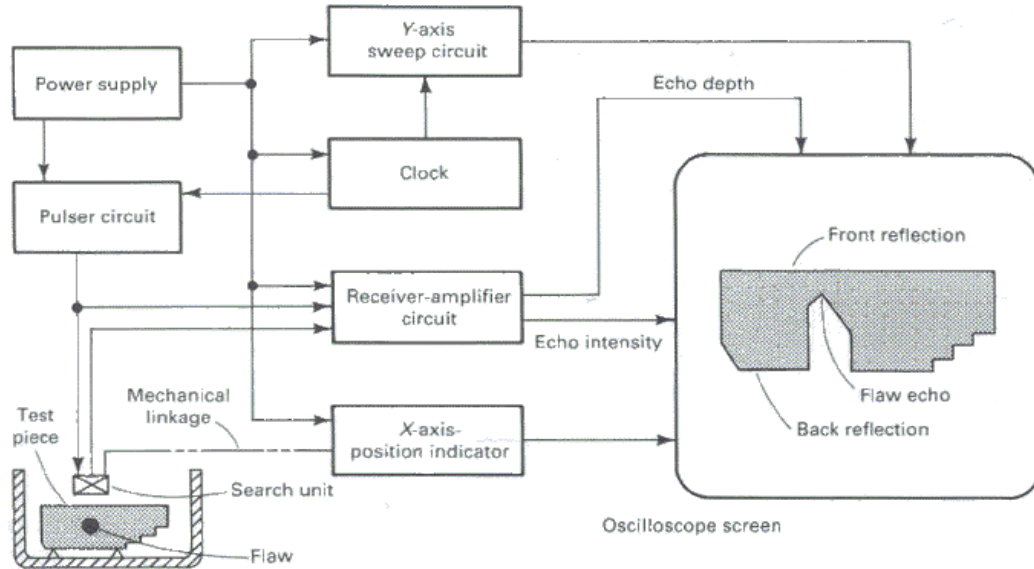


Figura 14. Arreglo de escaneo tipo B. (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

Las funciones del sistema son idénticas al tipo A excepto por que el despliegado es realizado sobre una pantalla de osciloscopio. Los ecos están indicados por puntos brillantes en la pantalla a diferencia del A que maneja deflexiones.

### Despliegado del escaneo tipo C.

Almacena ecos de las porciones internas de las piezas a examinar como función de la posición de cada interface reflectiva dentro de un área. La profundidad de la falla normalmente no es almacenada, pero puede ser medida semi cuantitativamente.

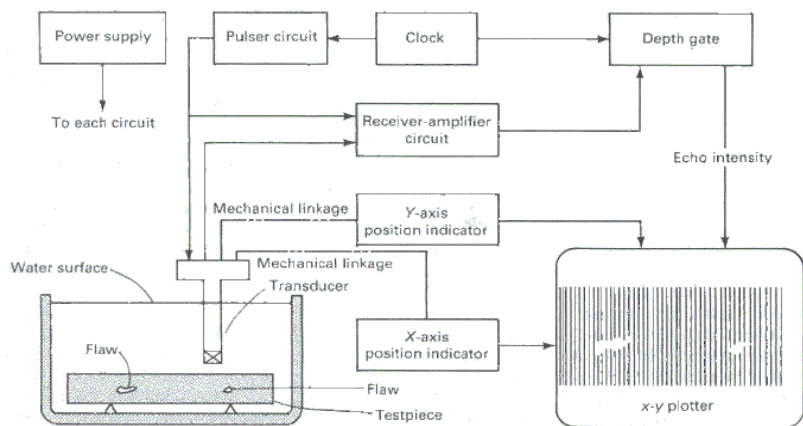


Figura 15. Arreglo de escaneo tipo C (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

## **Interpretación de la información eco-pulsada**

La interpretación de la información eco-pulsada es relativamente directa para el escaneo tipo B y tipo C. El escaneo tipo B siempre almacena la reflexión principal. Mientras que los ecos internos o pérdida de reflexión de respaldo o ambos son interpretados como indicaciones.

## **MEDICION DE ESPESORES CON ULTRASONIDO**

La medición ultrasónica se utiliza para determinar el espesor real de tuberías, placas, piezas de fundición, etc. y compararlo con el espesor original para determinar si dicho material, aún está en condiciones de trabajar en forma eficiente y segura, o si soportará la presión de los fluidos que va a conducir o contener. Se hace mediante la técnica pulso-eco de contacto directo utilizando transductores de diferentes frecuencias según corresponda.

El principio de la medición de espesores por ultrasonido es el mismo que el de las ondas ópticas. La sonda envía impulsos al objeto a medir, se propagan allí y se reflejan en la superficie límite. La determinación del espesor del objeto es el resultado de la medición exacta del tiempo que necesita la onda de ultrasonido en atravesar el objeto a medir.

Se emplea principalmente en tuberías y tanques que están sujetos a corrosión y/o erosión, es decir a la pérdida de material que va disminuyendo el espesor de la pared y que puede llegar a condiciones críticas. El espesor mínimo admisible de una tubería y/o tanque lo determinan las normas ASME y API según la aplicación y dependiendo de las características físicas y de los procedimientos de construcción.

La precisión del equipo de medición puede ser de hasta  $\pm 0,02$  mm considerando una temperatura superficial de entre - 10 a + 50 °C. La inspección consiste en tomar un muestreo de puntos de medición en diferentes zonas y niveles accesibles de los equipos a inspeccionar.



### Transductores ultrasónicos

Un transductor es un dispositivo que puede convertir una forma de energía en otra, en el caso de un transductor de ultrasonido convierte energía eléctrica en mecánica en forma de onda y viceversa, es por esta razón que la mayoría de los transductores de ultrasonido pueden utilizarse para la aplicación de pulso eco.

El elemento activo o elemento piezoeléctrico es el encargado de realizar la conversión electromecánica, el cual está conectado eléctricamente al exterior a través de contactos soldados en los electrodos que cubren al elemento piezoeléctrico. Junto a dicho elemento, se encuentran otros elementos no activos que determinan las características temporales de emisión y/o recepción.

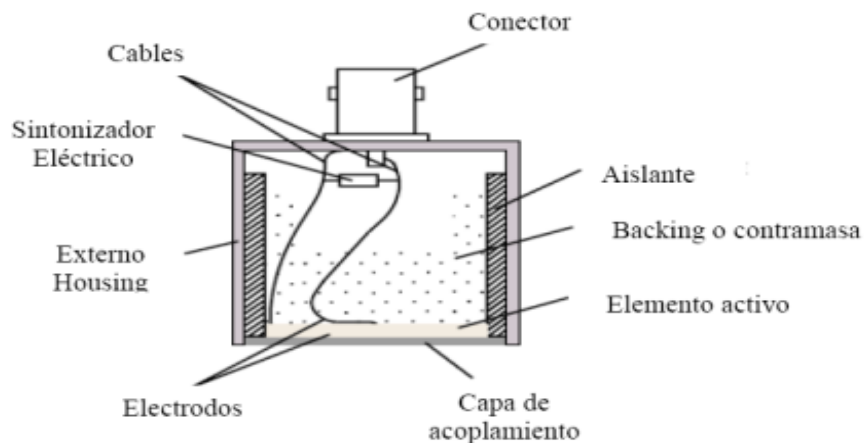


Figura 16. Partes de un transductor de ultrasonido (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

La placa piezoeléctrica vibra emitiendo energía mecánica en ambos sentidos. Las aplicaciones prácticas, solo utilizan la emisión en una sola de las caras. La capa de acoplamiento por su parte tiene dos funciones, proteger el elemento activo y asegurar una mayor transferencia de energía, esto último se logra fabricándola de un material con una impedancia acústica intermedia entre el elemento activo y el material sobre el cual se espera utilizar el transductor.

## Acoplantes

Un acoplador se aplica entre la cara del transductor y la superficie de prueba para asegurar la transmisión eficiente del sonido desde el transductor a la superficie de prueba. El medio de acoplamiento es el que llena los espacios entre las irregularidades de la superficie de ensayo y la cara del transductor, lo que excluye todo el aire en la interface.

Los materiales usados como acoplantes son: Aceites con varios grados de viscosidad, glicerina, pastas especiales, goma de celulosa, agua, grasa y en algunas aplicaciones especializadas se ha llegado a utilizar láminas de elastómeros.

Las características principales de los acoplantes deberán ser:

- Humectabilidad: Ayuda al acoplante a “mojar” la superficie del transductor y de la pieza de prueba.
- Viscosidad: Permite al acoplante mantenerse sobre la superficie y evita que se escurra.
- Costo: La facilidad de adquisición.
- Remoción: Residuos fácil de eliminar.
- No corrosivos: Evitar agrietamiento por corrosión, por la presencia de contaminantes sin provocar daños a la pieza de prueba.
- Toxicidad: Evitar que el personal técnico sufra de intoxicación por el manejo.
- Atenuación: Evitar que existan pérdidas de la energía de la onda ultrasónica en el acoplante
- Impedancia acústica: Similar a los materiales inspeccionados para que sea transmitida la mayor energía posible.

## 2.3 Marco Legal

Algunos documentos que consideran la aplicación de la inspección por ultrasonido son:

1. Código ASME, Sección V, Artículo 4- Métodos de examen ultrasónico para inspección en servicio.
2. Código ASME, Sección V, Artículo 5- Métodos de examen ultrasónico para materiales y fabricación.
3. Código AWS D1.1, Inspección ultrasónica, Parte F
4. NOM ASTM Volumen 03.03 E-114, Práctica normalizada para el examen ultrasónico por pulso-eco y haz recto por el método de contacto directo
5. NOM ASTM Volumen 03.03 E-797, Practica normalizada para la medición de espesores por el método de contacto manual
6. Código ASME SECCION VIII DIV. 1 código para recipientes a presión

### **1.- Análisis de la norma ASME, sección V artículos 4 y 5 2010 para ensayos no destructivos**

En la norma ASME V se describen todos los tipos de ensayo no destructivos que son utilizados para detección de irregularidades, por lo tanto, los ensayos para el presente trabajo se basan en ella. A continuación, se realiza un análisis sobre los aspectos más relevantes de esta norma. En particular la sección que es de nuestro interés: los ensayos no destructivos por el método de ultrasonido para tuberías.

Los métodos de examen no destructivos incluidos en esta norma son aplicables a la mayoría de las configuraciones geométricas y materiales encontrados en la fabricación en condiciones normales.

En la siguiente tabla se indican los métodos de ensayo que son aplicables de acuerdo con la imperfección que se desea comprobar. Esta tabla debe considerarse como guía general y no como base para fijar o prohibir un tipo particular de método para una aplicación específica. Por ejemplo, el material y la forma del producto son

factores que podrían dar lugar a diferencias con el grado de eficacia implícita en la tabla.

Las imperfecciones provocadas por servicio, la accesibilidad y otras condiciones en el lugar de examen son también factores importantes que deben ser considerados en la selección de un método particular. El usuario que utilice esta norma debe tener en cuenta todas las condiciones aplicables al seleccionar los métodos de END para una aplicación específica.

	Superficial [Nota (1)]		Sub-superficial [Nota (2)]		Volumétrico [Nota (3)]				UTT
	VT	PT	MT	ET	RT	UTA	UTS	AE	
<b>Imperfecciones inducidas por el servicio</b>									
Desgaste abrasivo (localizado)	●	○	○	...	●	○	○	...	○
Desgaste del deflector (Intercambiadores de calor)	●	...	...	○	...	...	...	...	...
Grietas de la corrosión asistida por fatiga	○	○	●	...	○	●	...	●	...
Corrosión - grietas	●	...	...	...	...	...	...	...	○
- generales/uniformes	...	...	...	○	○	...	○	...	●
- picaduras	●	●	○	...	●	○	○	○	○
- selectivo	●	●	○	...	...	...	...	...	○
Fluencia (primaria) [Nota (4)]	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Erosión	●	...	...	...	●	○	○	...	○
Grietas de fatiga	○	●	●	○	○	●	...	●	...
Desgaste (intercambiador de calor)	○	...	...	○	...	...	...	...	○
Grietas por calentamiento	...	○	○	...	○	○	...	○	...
Grietas inducidas por hidrógeno	...	○	○	...	○	○	...	○	...
Grietas por corrosión de tensión intergranular	...	...	...	...	...	○	...	...	...
Grietas por corrosión de tensión (transgranular)	○	○	●	○	○	○	...	○	...
<b>Imperfecciones de la soldadura</b>									
A través de quemaduras	●	...	...	...	●	○	...	...	○
Grietas	○	●	●	○	○	●	○	●	...
Reforzamiento excesivo o inadecuado	●	...	...	...	●	○	○	...	○
Inclusiones (escoria/tungsteno)	...	...	○	○	●	○	○	○	...
Fusión incompleta	○	...	○	○	○	●	○	○	...
Penetración incompleta	○	●	●	○	●	●	○	○	...
Desalineamiento	●	...	...	...	●	○	...	...	...
Superposición	○	●	●	○	...	○	...	...	...
Porosidad	●	●	○	...	●	○	○	○	...
Concavidad de raíz	●	...	...	...	●	○	○	○	○
Debilitamiento	●	○	○	○	●	○	○	○	...
<b>Imperfecciones de forma del producto</b>									
Estallidos (forja)	○	●	●	○	○	○	○	●	...
Cierre frío (fundición)	○	●	●	○	●	○	○	○	...
Grietas (todas las formas de producto)	○	●	●	○	○	○	○	●	...
Rasgones en caliente (fundición)	○	●	●	○	○	○	○	○	...
Inclusiones (todas las forma de producto)	...	...	○	○	●	○	○	○	...
Laminación (plato, tubo)	○	○	○	...	...	○	●	○	●
Faldas (forja)	○	●	●	○	○	...	○	○	...
Porosidad (fundición)	●	●	○	...	●	○	○	○	...
Costuras (barras, tubería)	○	●	●	○	○	○	○	○	...

Tabla 2. Imperfección vs Tipo de método de ensayo no destructivo  
(Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

Donde:

- - Todos o la mayoría de técnicas estándar detectarán esta imperfección bajo todas o la mayoría de condiciones.
- ◐ - Una o más técnicas estándar (s) detectará esta imperfección bajo ciertas condiciones.
- - Se requieren técnicas y condiciones especiales y / o calificación de personal para detectar esta imperfección.

AE.- Emisión acústica

UTA.- Haz angular ultrasónico

ET.- Ensayo electromagnético

UTS.- Haz recto ultrasónico

MT.- Partículas magnéticas

UTT.- Medición de espesor ultrasónica

PT.- Líquidos penetrantes

VT.- Examinación visual

RT.- Radiografía

Las imperfecciones provocadas por servicio, la accesibilidad y otras condiciones en el lugar de examen son también factores importantes que deben ser considerados en la selección de un método particular. El usuario que utilice esta norma debe tener en cuenta todas las condiciones aplicables al seleccionar los métodos de END para una aplicación específica.

## **2.- Análisis del Código AWS D1.1, Inspección ultrasónica, Parte F**

En esta norma están consignadas una serie de exigencias que se deben tener en cuenta para poder aplicar este código en la inspección y evaluación de soldaduras. Los requisitos aquí mencionados tienen en cuenta desde los estándares de inspección hasta la calificación de los inspectores, sin embargo, para este proyecto solo se tuvo en cuenta algunos de los artículos consignados en la sección 6 (Inspección); a continuación, se resumen los requisitos tenidos en cuenta para este proyecto:

Artículo 6.22 Equipo ultrasónico:

- 6.22.1 Requisitos del equipo: El instrumento debe ser del tipo pulso-eco, adecuado para operar con transductores que oscilan a frecuencias entre 1 y 6 MHz.
- 6.22.2 Linealidad horizontal: La linealidad horizontal debe ser calificada sobre la distancia total de la trayectoria acústica.
- 6.22.3 Requisitos para los instrumentos de inspección: Los equipos deben contar con estabilización interna para que al calentarse no ocurra una variación de la respuesta mayor a  $\pm 1$  dB.
- 6.22.4 Calibración de los instrumentos de inspección: El instrumento debe contar con ganancia ajustable en pasos de 1 o 2 dB, dentro de un intervalo de al menos 60 dB.

## **3.- Análisis de la norma ASTM Volumen 03.03 E-114, examen ultrasónico por pulso-eco y haz recto por el método de contacto directo**

En esta norma se establece el examen ultrasónico de materiales por el método de pulso-eco usando ondas longitudinales de haz recto en las cuales se hace una

evaluación de las indicaciones de ultrasonido. Algunas de las instrucciones que vienen en esta norma son:

- Colocarse sobre la discontinuidad de la respuesta máxima de la señal y mover en una dirección hasta que la señal desaparezca rápidamente a la línea de base en la pantalla A-scan.
- A continuación, regresar a la unidad de búsqueda la posición donde la señal era la mitad de la amplitud que tenía en el punto donde la indicación comenzó a caer rápidamente a la línea de base.
- En este punto, el centro de la unidad de búsqueda debe coincidir aproximadamente con el borde de la discontinuidad. Se repetirá este procedimiento con otras direcciones como sea necesario para describir la discontinuidad en la superficie.

#### **4.- Análisis de la norma ASTM Volumen 03.03 E-797**

Esta norma proporciona lineamientos para la medición de espesor de materiales utilizando el método de contacto pulso-eco a temperaturas que no excedan los 200°F (93°C). será aplicable a cualquier material en el cual las ondas ultrasónicas se propagarán a una velocidad constante a lo largo de la pieza en el cual el espesor (T) cuando es medido por el método ultrasónico pulso-eco es un producto de la velocidad del sonido en el material y la mitad del tiempo de tránsito (ida y vuelta) a través del material.

#### **5.- Análisis del Código ASME Sección VIII Div. 1. CÓDIGO PARA RECIPIENTES A PRESIÓN**

El Código ASME Sección VIII Div. 1, define como recipiente a presión, cualquier contenedor cerrado capaz de almacenar un fluido a presión manométrica, sea

interna o externa. Esta presión puede ser obtenida desde una fuente interna o externa, o por la aplicación de calor desde una fuente directa o indirecta, o cualquier combinación de ellas.

1.- Recipientes que contengan agua bajo presión incluyendo aquellos que contengan aire la compresión de los cuales sirva únicamente como amortiguador que excedan:

- Una Presión de Diseño mayor a 300 PSI.
- Una temperatura de Diseño mayor a 210 ° F.

2.- Tanques de agua caliente calentados por vapor u otros medios indirectos que excedan:

- Una entrada de calor de 200,000 BTU's/hr.
- Una temperatura del agua de 210° F.
- Una capacidad nominal de 120 Galones.

3.- Recipientes que tengan un diámetro interior, ancho, altura o sección transversal mayor a 6" sin limitación en longitud o presión.

4.- Recipientes que tengan una presión de operación interna o externa mayor a 15 PSI. sin limitación en medidas.

5.- Recipientes que tengan una presión de diseño que no exceda los 3,000 PSI.

Los recipientes a presión se pueden clasificar por su utilización y por su forma. Por su utilización, se pueden reclasificar en recipientes de almacenamiento y recipientes de proceso. Por su forma se clasifican como cilíndricos y esféricos. Los recipientes para almacenamiento son comúnmente conocidos como tanques de día, tanques de mes, tanques acumuladores, etc.

Los recipientes de proceso son aquellos utilizados en la industria petroquímica principalmente, entre ellos se encuentran los intercambiadores de calor, reactores, torres fraccionadoras, torres de destilación, separadores de gas, etc. recipientes cilíndricos a su vez se pueden reclasificar en horizontales y verticales.



Los recipientes esféricos son usados generalmente como tanques de almacenamiento para grandes volúmenes y presiones elevadas. Las clasificaciones se muestran en el siguiente diagrama:

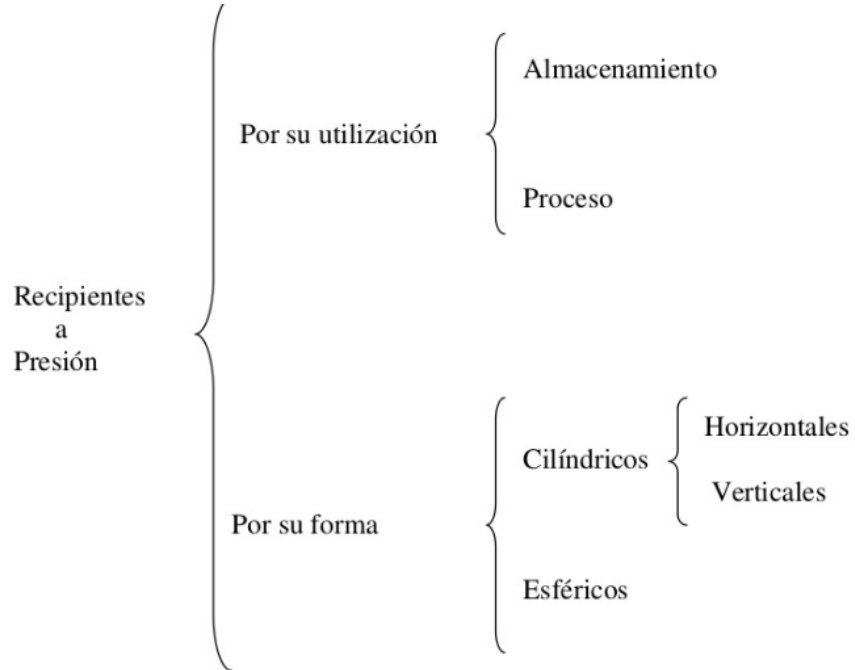


Diagrama 1. División de Código ASME Sección VIII Div. 1. (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

## CAPÍTULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO

### 3.1 Recopilación y organización de la información

En la presente investigación los métodos que se utilizaron para la recolección de datos fueron los siguientes:

**Observación.** - Se procedió a una examinación de las tuberías existentes en la empresa en las cuales se observó deterioro y desgaste, así como corrosión en los cordones de soldadura.



Figura 17. Tuberías forzadas a presión (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

**Documentos administrativos.** - Se recolectaron datos mediante historiales y bitácoras existentes, en los cuales con anterioridad se había realizado una medición de espesores por empresas contratistas los cuales se muestran a continuación:

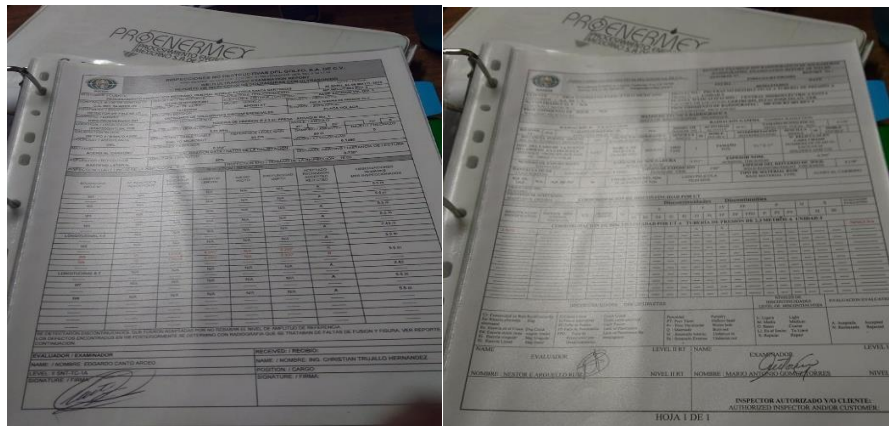


Figura 18. Bitácoras de medición de espesores (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

**Tablas.** - Los datos incluidos en las siguientes imágenes corresponden a las tablas del departamento de mantenimiento en las cuales se realizó con anterioridad una medición de espesores y se anotaron los resultados los cuales se muestran a continuación:

**PROENERMEX**  
CENTRAL HIDROELECTRICA SANTA GERTRUDIS  
AREA DE MANTENIMIENTO

**MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

Fecha: 04-04-2018  
Realizó: Noe Huerta M/F, Marcelo  
Ejecución: Medicion Espesores

Unidad:	U1	Equipo:	300L PLUS	Método:	D790-5M
Elemento:	Tubo de recuperación	No. De Serie:	110322012	Palpador:	mm
Condición:	Inspeccion Anual	Calibración:	man	Unidades:	mm
Esquema de referencia					
	0°	90°	180°	270°	Mediciones
A	2.16	2.53	3.16	3.27	Q 4.62
B	4.25	2.69	2.76	3.97	R 5.24
C	3.86	4.03	4.13	5.26	S 6.06
D	4.20	4.47	4.22	3.25	T 5.31
E	3.73	4.32	3.62	4.35	U 4.23
F	3.82	4.84	3.47	3.70	V 4.22
G	5.80	4.62	3.58	3.92	W 4.58
H	4.36	4.30	4.04	4.69	
I	4.01	3.88	3.63	4.08	
J	4.98	6.55	7.08	5.17	
K	5.29	6.37	6.08	5.51	
L	4.82	7.83	6.01	5.29	
M	4.84	4.90	5.10	4.92	
N	4.62	5.07	5.00	5.89	
O	4.56	5.17	4.53	5.44	
P	5.62	5.16	5.65	6.84	
Q	4.89	5.58	4.84	4.40	

Elaboró: ETH  
Revisó: LRS  
Aprobó: VAC

Revisión: 03-ago-12

Figura 19. Mediciones de espesores (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

**PROENERMEX**  
CENTRAL HIDROELECTRICA SANTA GERTRUDIS  
AREA DE MANTENIMIENTO

**MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

**MEDICION DE ESPESORES POR ULTRASONIDO**

Fecha: 26-2 de abril de 2017  
Realizó: Medicion de espesores  
Ejecución: Medicion de espesores

Unidad:	U2	Equipo:	300L PLUS	Método:	Materia 2D
Elemento:	Tubo de 12.5x90	No. De Serie:	110322012	Palpador:	D790-5M
Condición:	Inspeccion Anual	Calibración:		Unidades:	mm
Esquema de referencia					
Banda inferior U-4					
Codo 90°					
Codo 90°					
Codo 90°					
Banda lado Codo superior					
	1	2	3	4	5
A	5.37	5.78	5.18	5.97	
B	6.08	6.90	6.90	6.12	
C	5.56	6.00	6.02	5.77	
D	6.07	5.72	5.30	5.12	
E	6.60	5.57	6.02	5.09	
F	6.60	6.46	5.07	6.93	
G	5.43	5.27	4.54	5.30	
H	5.21	5.96	5.18	5.06	
I	5.50	5.75	5.30	5.35	
J	5.40	5.56	5.45	5.81	
K	5.50	5.81	5.67	5.68	
L	5.05	5.45	5.18	5.29	
M	6.38	5.48	6.78	5.70	
N	6.01	6.38	5.53	6.71	
O	5.01	5.28	5.38	6.06	
P	5.63	5.39	5.62	5.30	
Q	5.20	6.00	6.15	5.40	
R	5.01	5.28	5.46	5.85	
S	6.05	5.30	6.15	5.86	
T	5.02	5.33	5.53	5.31	
U	5.10	5.18	5.80	5.40	
V	5.21	5.27	5.40	5.35	
W	5.05	5.55	5.43	5.07	
X	5.50	5.50	5.59	5.29	
Y	5.28	5.35	5.15	5.36	

Elaboró: ETH  
Revisó: LRS  
Aprobó: VAC

Figura 20. Medición de espesores por UT (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

## 3.2 Análisis de la información

Respecto a la información recopilada en la sección anterior podemos observar:

### **Espesor existente en dichas tuberías**

- El espesor de las tuberías 1, 2 y 3 es de 10 mm. Los datos anotados en las tablas son los espesores que actualmente se presentan en las tuberías por medio de las cuales podemos conocer cuál es el grado de desgaste existente en ellas.

### **Método que se utilizó para su medida**

- El método utilizado con anterioridad fue medición de espesores vía ultrasonido con haz recto y eco pulsación.

### **Área donde se aplicó dicha medición**

- Se especifica la unidad en donde se realizó el trabajo ya sea U1 U2 o U3.

### **Periodo de realización de inspección**

- Se establece cuando se lleva a cabo la inspección, en nuestro caso la inspección es realizada por el departamento de mantenimiento anualmente mientras que las inspecciones realizadas por la empresa contratista (Inspecciones no destructivas del golfo S.A. de C.V.) se realizan cada 10 años.

### **Equipo empleado para la medición de espesor**

- El equipo empleado para dicha inspección fue el modelo EPOCH XT.

### **Unidad de medida utilizada**

- La unidad de medida utilizada es en pulgadas o milímetros.

Al realizar el análisis de nuestros datos recabados podemos observar que la empresa PROENERMEX no cuenta con un procedimiento escrito con respecto a la medición de los espesores en las tuberías. El departamento de mantenimiento ejecuta mediciones con el equipo de ultrasonido existente en la empresa sin embargo los trabajadores no cuentan con el conocimiento ni la experiencia necesaria para realizar e interpretar de forma correcta la inspección de ultrasonido.

Debido a esta situación la medición de espesores es realizada por una empresa contratista, lo cual implica un gasto sustancial para la empresa y el no realizar las inspecciones traería consecuencias que generarían más costos en un futuro para la empresa debido al deterioro y desgaste que pudiera presentarse en las tuberías forzadas a presión.

### **3.3 Propuesta de solución**

Se plantea un procedimiento escrito para la medición de espesores de tuberías forzadas a presión en el cual se establecen parámetros, normas y pasos a seguir utilizando ensayos no destructivos de inspección mediante el método de ultrasonido técnica de contacto directo impulso-eco el cual servirá para detectar desgaste existente en las tuberías debido al azolve, humedad y agentes ambientales, sirviendo de ayuda al operador que implementará dichas inspecciones en la empresa PROENERMEX S.A. de C.V.

### 3.4 Desarrollo del proyecto

#### Equipo y materiales

Equipo de Ultrasonido para medir espesores: El equipo para medir espesores, debe tener las siguientes características:

- Pantalla digital con o sin presentación en “barrido tipo A”
- Sistema de almacenamiento de datos con capacidad de por lo menos 1000 lecturas.
- Interfase y software para computadora.
- Rango mínimo de medición de 0.025" (6 mm).
- Resolución de 0.001" (0.01 mm).
- Modo de medición: multi-eco para desprestigiar capa de pintura.

Equipo de Ultrasonido Detector de Fallas: El equipo de ultrasonido para la detección de fallas debe tener las siguientes características:

- Pantalla con presentación en "barrido tipo A ó B"
- Rango seleccionable en pasos fijos o continuamente variables de por lo menos 0.500" (12 mm) a 200" (5000 mm), velocidad ajustable.
- Retardo de por lo menos 20 seg. a 999 seg.
- control de ganancia de 0 a 100 dB con pasos seleccionables de por lo menos 0.5 dB a 6 dB.
- Modo de prueba pulso-eco y doble elemento, compuerta controlable a lo largo de toda la gama de barrido con alarma audible y/o visual y segundo umbral de inicio separados en el modo de medición multi-eco.
- Memoria para almacenar lecturas de espesores y formas de onda, interface y software para computadora.

**Transductores:** Se deben emplear transductores de doble cristal, haz recto y haz angular.

**Tamaño:** Los tamaños recomendados de transductores son: desde 1/4 de pulgada (6.4 mm) de diámetro ó 1/4 de pulgada cuadrada a 1 pulgada<sup>2</sup> (25.4 mm) ó 1 1/8 de pulgada (28.6 mm) de diámetro. En general, se debe seleccionar el diámetro del elemento transductor adecuado que permita un acoplamiento 100% de un área de contacto con la superficie de inspección.

**Haz Angular:** Deben emplearse transductores con ángulos de refracción de 45° y complementar el barrido con transductores de 60°; el rango de frecuencia nominal es de 2.0 MHz a 5.0 MHz Estos transductores serán empleados para barridos en cordones de soldadura y para evaluar daños por hidrógeno.

**Haz Longitudinal:** Se pueden emplear transductores con superficie de contacto plana ó cóncava; el rango de frecuencia nominal es de 3.5 MHz a 10.0 MHz. Estos transductores serán empleados para medir espesores con discriminación de pintura y para barridos en el metal base adyacente a cordones de soldadura previo a la inspección con haz angular.

**Doble Cristal:** Se pueden emplear transductores con un rango de frecuencia nominal de 3.5 MHz a 10.0 MHz. Estos transductores serán empleados para medir espesores en superficies sin pintura y para barridos en zonas donde se requiera evaluar corrosión interna, desgaste por erosión y daños por hidrógeno.

**Acoplante:** Se empleará aceite, goma de celulosa o vaselina como acoplante. Se debe emplear el mismo acoplante para la calibración y la inspección. La selección de acoplante será de acuerdo con el acabado superficial del material a inspeccionar, y preferentemente se empleará vaselina.

**Bloques de Calibración:** Se deberán emplear bloques de calibración de velocidad conocida o del mismo material a ser inspeccionado.

## Procedimiento:

1.- El personal de mantenimiento solicitará mediante una orden de trabajo la medición de espesores donde aparezca el nombre del operador, la fecha de la solicitud, turno, puesto, información del trabajo requerido, tipo de mantenimiento, descripción de la condición estado o avería y causa, el área en donde se aplicará el trabajo (en nuestro caso la tubería en la cual se llevara a cabo la PND) y deberá ser firmado por el solicitante.

PROENERMEX S.A. de C.V. CENTRAL HIDROELECTRICA SANTA GERTRUDIS AREA DE MANTENIMIENTO

ORDEN DE TRABAJO PSG-FOM11

Nombre: \_\_\_\_\_ Puesto: \_\_\_\_\_

Apellido: \_\_\_\_\_

Información del Trabajo Requerido

Nombre maquinaria, sistema o sistema parte: \_\_\_\_\_

Tipo de Mantenimiento

PREVENTIVO  CORRECTIVO

DESCRIPCION DE LA CONDICION, ESTADO Y AVERIA: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_

ADICIONES DE REQUERIMIENTO: \_\_\_\_\_

PROCEDIMIENTO Y/O ACTIVIDADES RECOMENDADAS

DESCRIPCION DEL RESULTADO DEL MANTENIMIENTO

FIRMAS DE AUTORIZACION, SUPERVISION, REALIZACION

1. Solicitante \_\_\_\_\_ 2. Autorización \_\_\_\_\_ 3. Supervisión \_\_\_\_\_ 4. Realización \_\_\_\_\_ 5/3. C.T.H./A.H.E. \_\_\_\_\_ 4. B.C.S. R.R.C. E.T.S. N.R.

C.H. Santa Gertrudis Área: Mantenimiento PSG-FOM11-ORT Rev. 29-DIC-2016

Figura 21. Orden de trabajo (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

2.- Una vez recibida la solicitud se procederá a realizar una inspección visual a la unidad. Se le indicara al jefe de mantenimiento para que pida al departamento operativo sacar del servicio la línea o que baje la presión antes de realizar la limpieza manual (cepillo de alambre) o limpieza mecánica (carda). Para líneas que presenten algún tipo de recubrimiento o esmalte, que interfiera con la inspección, es indispensable que se utilice un solvente que ablande el recubrimiento de tal manera que se pueda retirar con algún tipo de espátula, que permita dejar la superficie libre de residuos que interfieran con las señales del equipo ultrasónico detector de fallas.





*Figura 22. Limpieza de tuberías (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)*

3.- La superficie por inspeccionar deberá estar principalmente limpia y seca, libre de cualquier tipo de suciedad, tales como cascarilla, rebabas, pintura mal adherida, grumos de soldadura y oxidación, esto es necesario ya que las capas de óxido impedirán el paso del ultrasonido a través de la pieza inspeccionada interfiriendo con los resultados de la inspección. La limpieza se hará con el apoyo de personal de mantenimiento, indicándoles que solo se debe retirar la capa de óxido sin provocar desgaste excesivo en el material.

4.- Se emitirá un reporte de las condiciones en que se encuentre el sistema. De acuerdo con la inspección visual se evaluará y se programará a la brevedad la medición de espesores. Una vez aprobada la inspección deberán ejecutarse los pasos descritos a continuación.

5.- Determinación de puntos de inspección.

El número de puntos a inspeccionar depende del estado actual de la superficie, de los valores obtenidos en mediciones anteriores con los cuales se ha podido determinar el espesor. Por lo que una vez realizada la inspección visual y observados los reportes de inspecciones (si se tienen) se procede a determinar el tamaño de la cuadrícula. La cuadrícula se realizará como se muestra a continuación:

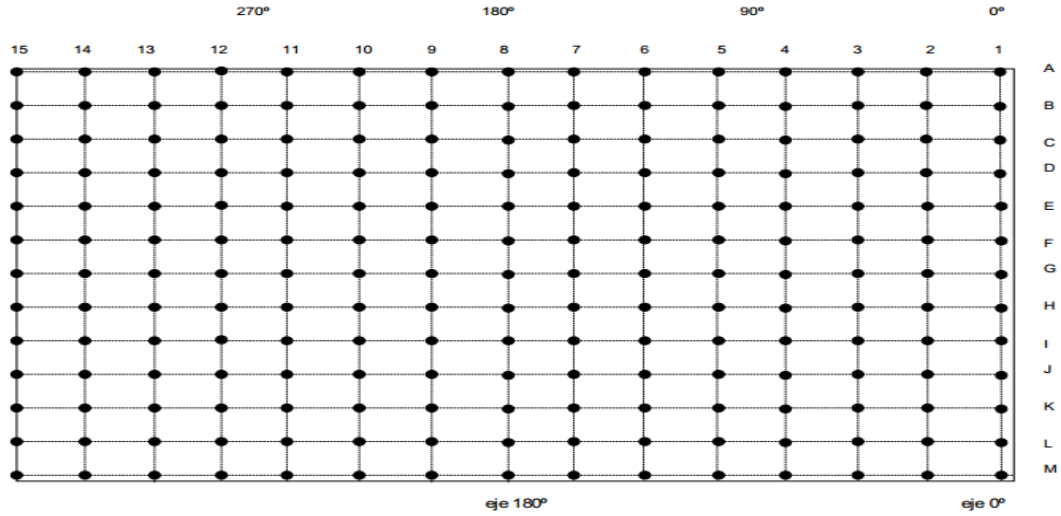


Figura 23. Puntos de inspección para UT (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

Se definen los ejes coordenados y la línea de referencia como se observa en la siguiente imagen:

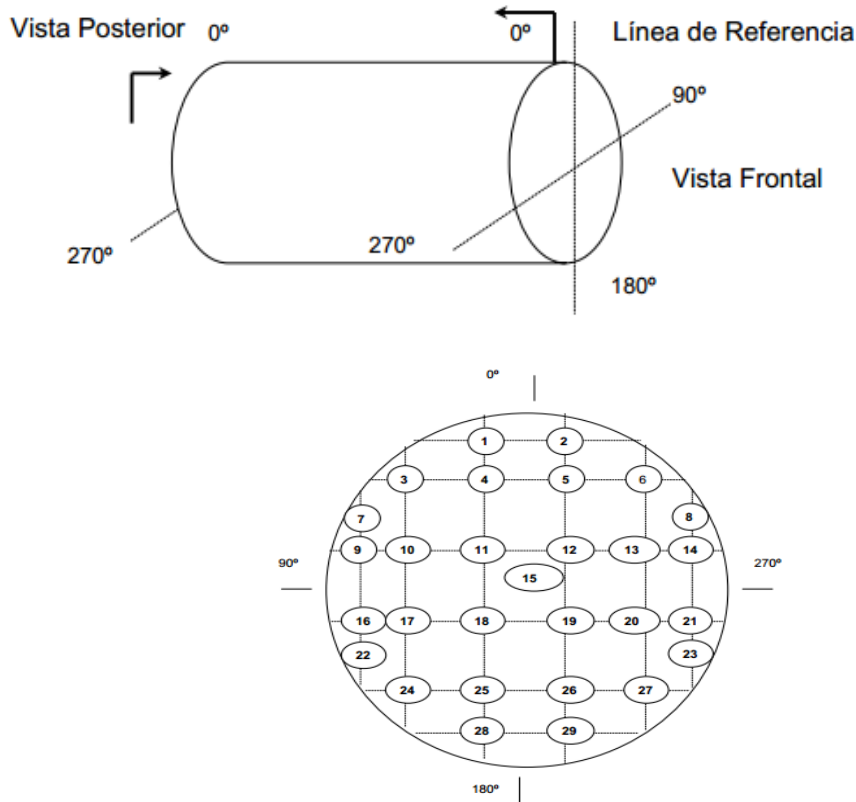


Figura 24. Ejes coordenados y línea de referencia (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

Una vez determinados los puntos se procede a la toma de las mediciones, las cuales deben estar de acuerdo con las coordenadas del plano y correspondientes en la tabla de toma de datos en la que se registraran las lecturas de cada una de estas.

6.- Para la ejecución del procedimiento de medición de espesores por ultrasonido se empleará el siguiente equipo.



Figura 25. Equipo OLYMPUS 38DL PLUS (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

El equipo de Olympus 38DL PLUS es un medidor de espesores de gran versatilidad. Este cuenta con una pantalla de VGA con resolución de medición de 0,001mm. Los componentes de su hardware se presentan a continuación:

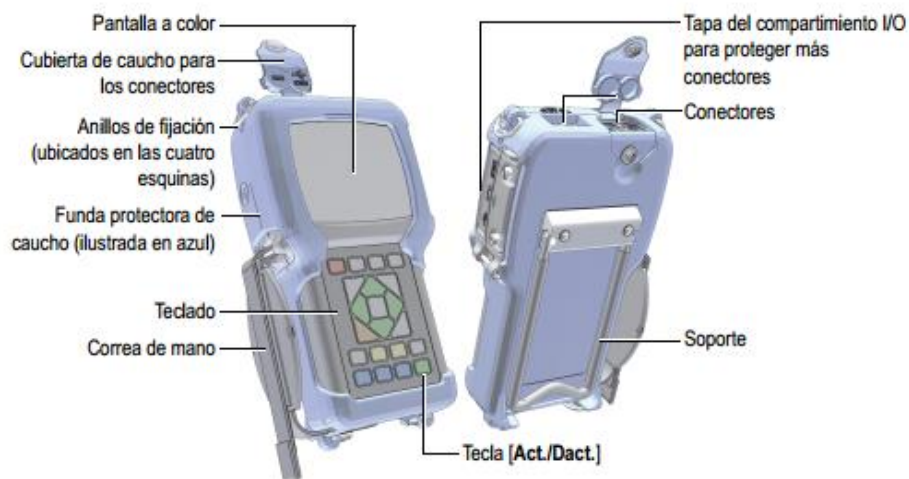


Figura 26. Hardware Olympus 38DL PLUS (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

7.- Una vez listo el sistema, se deberá verificar la calibración del equipo. La calibración es el proceso mediante el cual el equipo es ajustado para que mida con precisión un material dado, usando un palpador conocido y a una temperatura determinada.

La calibración del equipo ultrasónico debe de ajustarse a un patrón de calibración tipo escalera al inicio de cada turno: el patrón dependerá del espesor de la tubería a medir. Es necesario calibrar el equipo antes de explorar cualquier material. La precisión de la medida depende de la calidad de la calibración.

Para la calibración del equipo con haz recto es necesario contar con un bloque de calibración con diferentes espesores conocidos, y es necesario que sea fabricado con el mismo material del elemento al cual se ha de inspeccionar.

Si se desea inspeccionar un elemento de diferente material, es indispensable calibrar el equipo con un material de la misma condición como lo dicho anteriormente y sobre espesores conocidos del mismo elemento.



*Figura 27. Bloque de calibración en escalera para haz recto*

*(Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)*

Para calibrar el equipo

1. Para calibrar la velocidad del sonido en el material

- a) Agregue una gota de acoplante sobre la superficie del espesor más grueso en el bloque de calibración.
- b) Coloque la sonda sobre el espesor más grueso del bloque de calibración y ejerza una presión moderada a firme. La forma de la onda (A-scan) y la lectura de espesor aparecen en la pantalla.
- c) Pulse la tecla [CAL VEL].
- d) Cuando la lectura de espesor se estabiliza, pulse la tecla [ENTER].
- e) Utilice las teclas de dirección para modificar el valor de espesor y hacer que corresponda con el espesor grueso conocido del bloque de calibración.



Figura 27. Calibración de la velocidad del sonido (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

Para efectuar una calibración cero:

- a) Agregue una gota de acoplante sobre la superficie del espesor más delgado en el bloque de calibración.
- b) Coloque la sonda sobre el espesor más delgado del bloque de calibración; después, pulse la tecla [CAL ZERO].
- c) Cuando la lectura de espesor se estabiliza, pulse la tecla [ENTER].
- d) Utilice las teclas de dirección para modificar el valor de espesor y hacer que corresponda con el espesor delgado conocido del bloque de calibración.

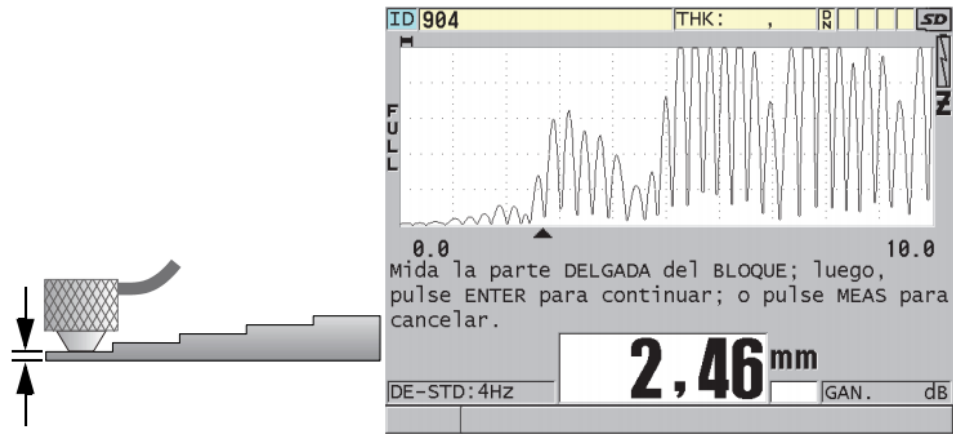


Figura 28. Calibración cero sobre el bloque de calibración (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

Pulse la tecla [MEAS] para finalizar la calibración y regresar a la pantalla de medición.

8.- Una vez calibrado el equipo y la superficie libre de interferencias se procede a realizar la inspección colocando una capa de acoplante (grasa, aceite, SAE-40, glicerina o gel común) sobre la superficie de prueba o en el elemento a inspeccionar.



Figura 29. Acoplante (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

9.- Ejercer presión moderada a firme para acoplar la punta de la sonda sobre la superficie del material bajo ensayo. Mantenga la sonda al ras de la superficie de dicho material.

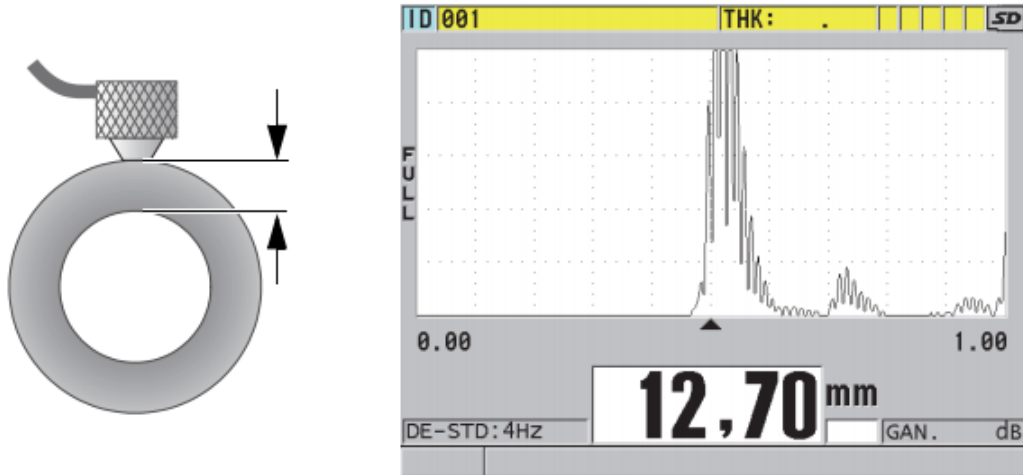


Figura 30. Acoplamiento y lectura del espesor medido (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

9.- Se realizará el barrido, moviendo el transductor sobre la superficie de prueba, de manera que se asegure inspeccionar el volumen completo. Debe haber un traslape del barrido del 50% del ancho del palpador y no exceder una velocidad de barrido de 6" pulg/seg.

Nota\* Se deberá verificar la calibración del equipo cada cuatro horas cuando se sospeche de un mal funcionamiento y después de agotarse una carga de batería.



Figura 31. Inspección de tubería (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

10.- A continuación, en el display del equipo OLYMPUS 38DL PLUS visualizaremos los ecos que nos permitirán medir los espesores en varias condiciones de materiales.

El modo de detección eco a eco automático mide el espesor utilizando el tiempo de vuelo entre dos ecos de fondo consecutivos. Se utilizará este modo para materiales revestidos o pintados, ya que el intervalo entre los ecos de fondo consecutivos, excluyen el tiempo de vuelo a través de la pintura, resina o revestimiento. El indicador DE-EtoE aparece en el lado izquierdo de la lectura de espesor.

La señal triangular es reemplazada por una barra de detección eco a eco que indica el par de ecos de fondo exactos utilizados para determinar el espesor. La altura del eco es ajustada automáticamente al nivel predefinido.

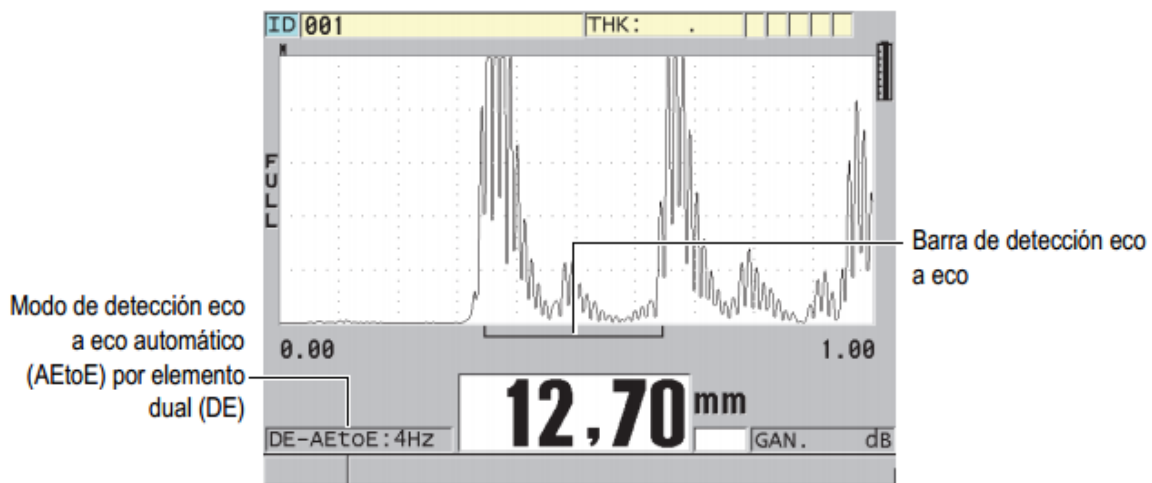


Figura 32. Medición mediante el modo de detección eco a eco automático  
(Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

12.- En caso de detectar un punto con una reducción del espesor de pared mayor al 18% del espesor nominal, o si existen lecturas que generen pérdida del reflejo de pared posterior, demasiado ruido, sean dudosas o de difícil interpretación; deberá realizarse un barrido continuo en todos los puntos circundantes para determinar el tipo y la zona que abarca la indicación.



De confirmarse la existencia de algún defecto, se procederá a realizar una inspección detallada del área para determinar con mayor precisión la posición (profundidad), geometría y dimensiones (largo y ancho) de la anomalía.

14.- Una vez realizadas las mediciones, los resultados de inspección deberán ser presentados en formatos de reporte que contengan la siguiente información:

- Fecha de inspección
- Área de aplicación
- Esquema de referencias
- Elemento a inspeccionar
- Equipo utilizado para la inspección
- No. de serie
- Palpador
- Acoplante
- Unidad de medida

REPORTE DE MEDICIÓN DE ESPESORES POR ULTRASONIDO		ESPEORES MEDIDOS (mm)										DESGASTE		PORCENTAJE DE DESGASTE		ESPEOR	
REGION	Nº	ESPEOR ORIGINAL (mm)	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	
D-WT	1	NA	7.90	7.90	7.85	7.70	7.85	7.75	7.70	7.70	NA	NA	7.70		NA	NA	7.70
WT-WC	2	NA	9.90	9.95	9.90	9.75	9.85	9.85	9.85	10.00	NA	NA	9.75		NA	NA	9.75
WT-WC	3	NA	10.10	10.05	10.10	10.30	10.90	10.90	10.90	10.90	NA	NA	10.90		NA	NA	10.90
WT-WC	4	NA	8.85	8.85	8.90	10.10	10.10	10.10	8.85	8.85	NA	NA	8.85		NA	NA	8.85
WT-WC	5	NA	10.00	10.30	10.20	10.20	10.20	10.20	10.40	9.75	NA	NA	9.75		NA	NA	9.75
WT-WC	6	NA	10.20	10.40	10.30	10.30	10.30	10.40	10.40	10.10	NA	NA	10.10		NA	NA	10.10
WT-WC	7	NA	10.00	10.10	10.20	10.20	10.20	10.30	10.30	10.30	NA	NA	10.30		NA	NA	10.30
WT-WA	8	NA	10.00	8.90	10.00	10.00	8.90	10.00	10.00	8.90	NA	NA	8.90		NA	NA	8.90
WT-WA	9	NA	8.90	10.10	10.30	10.20	10.20	10.30	10.20	10.20	NA	NA	10.20		NA	NA	10.20
WT-WA	10	NA	8.90	8.90	10.00	8.90	8.90	8.90	8.90	10.00	NA	NA	8.90		NA	NA	8.90
WT-WA	11	NA	10.20	10.00	10.10	10.20	10.20	10.30	10.30	10.30	NA	NA	10.30		NA	NA	10.30
WT-WA	12	NA	10.40	10.40	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	NA	NA	10.20		NA	NA	10.20
WT-WA	13	NA	10.10	10.10	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	9.90	NA	NA	9.90		NA	NA	9.90
WT-WA	14	NA	10.20	10.20	10.10	10.10	10.20	10.20	10.10	10.10	NA	NA	10.10		NA	NA	10.10
WT-WA	15	NA	10.40	10.40	10.20	10.40	10.20	10.20	10.20	10.20	NA	NA	10.20		NA	NA	10.20
WT-WA	16	NA	10.20	10.00	10.20	10.10	10.10	8.90	10.20	10.10	NA	NA	8.90		NA	NA	8.90
WT-WT	17	NA	8.75	8.90	8.90	8.75	8.75	8.75	8.80	8.80	NA	NA	8.75		NA	NA	8.75
WT-WT	18	NA	10.10	10.20	9.70	9.90	9.90	9.90	9.90	10.20	NA	NA	9.70		NA	NA	9.70
WT-WT	19	NA	9.90	10.30	9.90	9.90	9.70	9.70	9.70	9.90	NA	NA	9.70		NA	NA	9.70
WT-WA	20	NA	10.40	10.10	10.20	10.20	10.20	8.90	10.00	10.40	NA	NA	8.90		NA	NA	8.90
WT-WA	21	NA	10.20	10.60	10.60	10.40	10.40	10.20	10.20	10.00	NA	NA	10.00		NA	NA	10.00
WT-WA	22	NA	8.90	10.20	10.20	10.20	10.20	10.40	10.40	10.40	NA	NA	10.40		NA	NA	10.40
WT-ATRASQUE 1	23	NA	10.00	9.90	9.90	9.90	9.90	10.00	9.70	9.90	NA	NA	9.70		NA	NA	9.70

Figura 33. Resultados de inspección (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)

14.- Para finalizar el procedimiento, se procede a limpiar las tuberías con disolvente común.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La medición de espesores por ultrasonido es una técnica ampliamente usada en la evaluación de espesores de materiales. Este tipo de ensayo es rápido y seguro de aplicar, los resultados que obtenemos son bastante fiables a pesar de que en algún caso sea necesario realizar otro chequeo con otro tipo de ensayo para reforzar la información obtenida.

Los nuevos equipos digitales facilitan la lectura de la medición. Aun así, es importante conocer los principios de este método para poder interpretar correctamente una señal y no llegar a caer en errores involuntarios.

En base a nuestra investigación y estancia en la empresa PROENERMEX S.A. de C.V. pudimos obtener las siguientes deducciones:

- La prueba de ultrasonido es realizada mediante la emisión de un sonido de alta frecuencia que nos indica los defectos de nuestro material a través de la pantalla de un osciloscopio.
- Los materiales sometidos a la prueba de ultrasonido deben de ser de forma regular y de materiales no porosos. Por otro lado, encontramos que tanto los materiales ferrosos como los no ferrosos pueden ser sometidos a esta prueba.
- La prueba de ultrasonido nos permite localizar defectos de tipo interno tales como: poros, grietas, rechupes, defectos de soldadura, etc.
- Algunas de las ventajas de esta prueba son: Es usada en cualquier tipo de material, puede obtenerse un registro en papel, se determinan defectos internos y sus superficiales.
- Algunas de sus desventajas son: Se requiere de personal calificado, costo inicial elevado por el tipo de equipo necesario para realizar la prueba.

Podemos concluir que el Ultrasonido Industrial es uno de los métodos más rápidos, fáciles y seguros de aplicar ya que posee una gran exactitud en el proceso sin

embargo no debemos omitir los demás métodos ya que, los ensayos no destructivos, se complementan entre sí para poder obtener una información más exacta del objeto a inspección y determinar qué tipo de anomalía o defecto existe en el material y qué tipo de mantenimiento o reparación requiere el objeto de inspección.

#### 4.1 Resultados

El análisis de las tuberías de conducción de agua mediante la técnica de ultrasonido industrial ha resultado provechoso ya que se ha logrado encontrar defectos e interpretar las lecturas que se han presentado en el material, mediante el uso del equipo OLYMPUS 38 DL PLUS, sin embargo, se pueden conseguir mejores resultados en base a completar el equipo con accesorios y el aporte de personal con experiencia en el manejo del mismo.

Los ensayos no destructivos son un medio eficaz de comprobación de las condiciones en las que se encuentran tuberías, estructuras y elementos de máquinas, por lo tanto, deben ser considerados siempre como la primera opción para la examinación de estos elementos.

La obtención de resultados mediante el examen es únicamente un paso para el diagnóstico del material que se está estudiando; en este sentido los criterios de aceptación o rechazo establecen los límites para designar un elemento como desechable o utilizable, por lo tanto, los encargados de establecer dichos criterios deben tener el conocimiento y experiencia suficiente para asegurar si el elemento está en condiciones para continuar funcionando o se debe descartar.

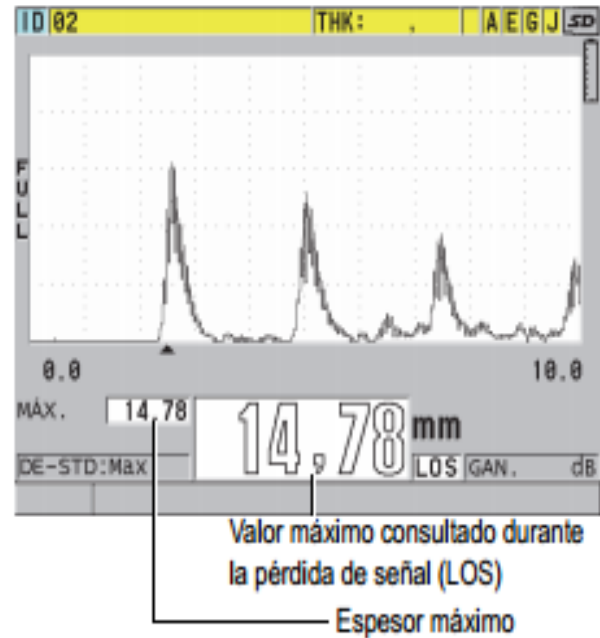
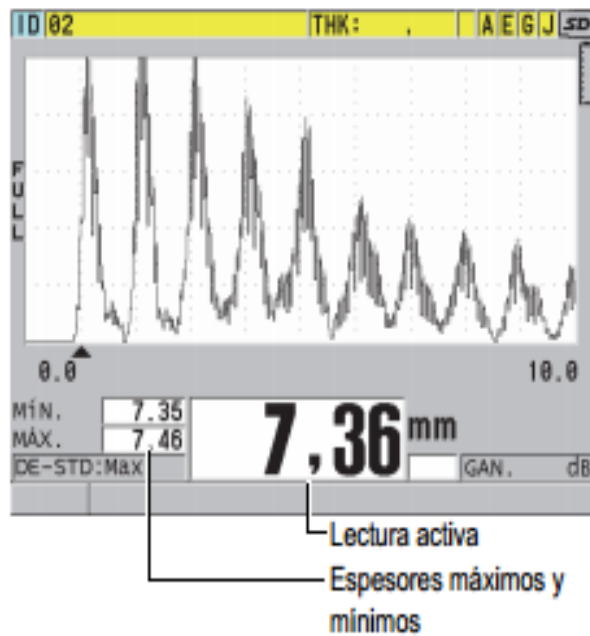
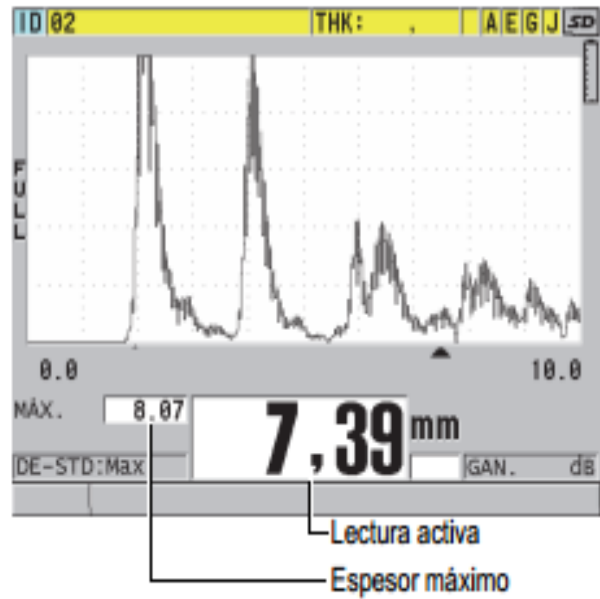
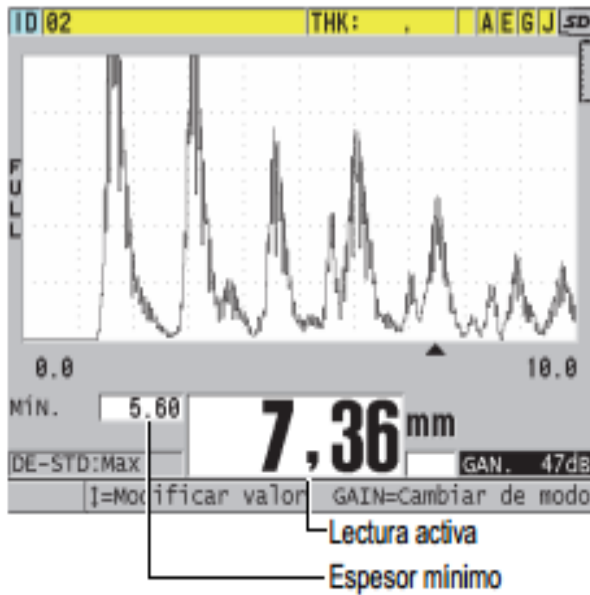
#### 4.2 Trabajos Futuros

Desarrollar metodologías de inspección utilizando técnicas de ensayos no destructivos mediante el método por ultrasonido que permitan evaluar de diferentes formas los espesores existentes en las tuberías, tal como lo establece el manual del equipo OLYMPUS 38DL PLUS.

### 4.3 Recomendaciones

- ☛ Se recomienda la aplicación del ultrasonido industrial en las instalaciones de la central, pero dichos exámenes no se limitarían únicamente para las tuberías, existen otros elementos importantes como por ejemplo ejes de turbocompresores que podrían ser revisados con esta técnica, y de existir la factibilidad, se pueden incorporar a los planes de mantenimiento, procedimientos rutinarios de examinación ultrasónica para elementos críticos previamente identificados.
  
- ☛ Es recomendable la certificación de los responsables para la ejecución de los exámenes por ultrasonido, ya que esto garantiza una correcta examinación y la obtención de resultados razonables para un diagnóstico del material en estudio
  
- ☛ Se recomienda realizar un mantenimiento periódico del equipo, así como su normalización tal como lo establece la norma ASME Sección V y VIII, con el fin de verificar las condiciones en las que se encuentra dicho equipo antes de realizar un examen.

## ANEXOS



Anexo 1. Espesores máximos y mínimos (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)



Anexo 2. Equipo OLYMPUS 38DL PLUS(Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)



Anexo 3. Acoplante utilizado (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)



Anexo 4. Componentes (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)





*Anexo 5. Palpador (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)*



Anexo 6. Cables para computadora (Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)



Anexo 7. Equipo para medición de espesores  
(Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)



*Anexo 8. Bloque para calibración  
(Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)*



*Anexo 9. Batería de litio  
(Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)*



**INDEGSA**

**INSPECCIONES NO DESTRUCTIVAS DEL GOLFO, S.A. DE C.V.**

RFC: IND0401054X3      Régimen fiscal: RÉGIMEN GENERAL DE LEY PERSONAS MORALES

PINO SUAREZ No. 2330 Col. CENTRO, CP 91700, VERACRUZ, VERACRUZ, MEXICO

TEL. Y FAX (229) 9-34-17-59 Y 9-38-57-27

**COMPROBANTE FISCAL DIGITAL**

**CLIENTE** PROCESAMIENTO ENERGETICO MEXICANO, S.A. DE C.V.

**Dirección:** Calle: CAMINO A IXTACZOQUITLAN VIEJO No. S/N  
CP 94450  
IXTACZOQUITLAN PUEBLO, VERACRUZ, MEXICO

RFC: PEM030709J48

**SERIE:** FE      **Folio:** 1272

**Fecha y hora:** 2013-05-09T19:20:42


**Lugar de expedición:** VERCRUZ, VERACRUZ

**Forma de pago:** Pago en una sola exhibición

**Método de pago y Cuenta:**  
No identificado

CANT	UNI	CLAVE	DESCRIPCION	P. UNITARIO	IMPORTE
1.00	No	PND-05	PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS CON ULTRASONIDO, MEDICION DE ESPESORES E INSPECCION VISUAL A "HIDRO STA GERTRUDIS"	71,364.00	71,364.00

PEDIDO: PSG/24ABR/2011      (FACTURA DE FINIQUITO POR TRABAJOS REALIZADOS)



**FOLIO FISCAL:**  
28A2BCB1-CA24-4C85-A43D-887A5542DC8A

**Fecha y hora de certificación:** 2013-05-09T19:20:43

**Número de serie del Certificado de Sello Digital del SAT:**  
00001000000104659367

"Este documento es una representación impresa de un CFDI"

SUB TOTAL	71,364.00
Impuesto4	11,418.24
<b>TOTAL \$</b>	<b>82,782.24</b>

**IMPORTE EN LETRA:**  
OCHENTA Y DOS MIL SETECIENTOS OCHENTA Y DOS PESOS 24/100 M.N.

**Sello digital del CFDI:**  
ec+TRAIVCW+OeAedvbbueT07Eac/M7hvxZE3A4JehukbqgYtVkoS4BAAXqz/KbMANWK7GSawmlrK82fKHilz2ZYsZBXPzG/Y6W/dMxOjYP12KX7pE2eQ01FDzaxGMk+vG3vny7bTEp+WXQmRteDMFLfQMov6p8gba+WPPeI=

**Número de serie del Certificado de Sello Digital:** 00001000000202864269

**Cadena original del complemento de certificación digital del SAT:**  
|| 1.01 28A2BCB1-CA24-4C85-A43D-887A5542DC8A || 2013-05-09T19:20:43 |  
ec+TRAIVCW+OeAedvbbueT07Eac/M7hvxZE3A4JehukbqgYtVkoS4BAAXqz/KbMANWK7GSawmlrK82fKHilz2ZYsZBXPzG/Y6W/dMxOjYP12KX7pE2eQ01FDz  
00001000000104659367 | |

**Sello digital del SAT:**  
Sqtgp8P6t0ZLcj+ZACyPstHR2ADKddHcFog1UeMB36S1q5FKCwtTKfPjNFRcDigOr1VLmMR5/v77N5u99/DvknMzDbpi56PKh  
LPUHpsRmddLMVUoHirxR+eOGfx14JE0YSXPIR5Jsc492o3EsjVLIh2VHHIPg4Hhr4UaH8s=

Anexo 10. Recibo de inspección ultrasónica realizada por empresa contratista  
(Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)



*Anexo 11. Instalaciones (Tuberías)  
(Fuente: PROENERMEX S.A. de C.V.)*

## BIBLIOGRAFÍA

[1] CARRIÓN F., LOMELÍ M., QUINTANA J., MARTÍNEZ M. (2003) **“La Evaluación No Destructiva de Materiales Estructurales y Puentes”**. Publicación Técnica No.231. Querétaro, México.

[2] Romero, A. E. C. (2008) **“Detección de defectos en soldaduras para recipientes a presión mediante ensayos no destructivos”**. Proyecto de grado. Sartenejas, Venezuela

[3] López, L.G.P. (2010) **“La inspección y evaluación no destructiva por el método de ultrasonido, en materiales y componentes, para el mantenimiento y la sustentabilidad de la infraestructura industrial.”** Tesis de grado. IPN México

[4] Gómez L.E. (2009) **“END. Ensayos no destructivos. Ultrasonidos. Nivel II”** Editorial F.C. segunda edición. Madrid, España

[5] Gómez, J. J., & Correa, H. L. (2010). ***Detección y caracterización de defectos en tuberías metálicas en pruebas ultrasónicas por inmersión.*** Universidad Autónoma de Occidente.

- **AWS D1.1: Structural Welding Code—Steel, 17th Edition.** American Welding Society. (1999) [En línea] disponible en: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/003/aws.d1.1.2000.pdf>



- **ASTM Volumen 03.03 E-114** [En línea] disponible en :  
[https://slidept.com/embed/norma-astm-e114-espaol\\_59d4c519d64ab21a839aed63.html?sp=%7Bstart%7D](https://slidept.com/embed/norma-astm-e114-espaol_59d4c519d64ab21a839aed63.html?sp=%7Bstart%7D)
- **F. D. E. S. C.** [En línea] disponible en:  
[http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m6/PRUEBA%20DE%20ULTRASONIDO.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/PRUEBA%20DE%20ULTRASONIDO.pdf)
- Gosálbez, J., Salazar, A., Miralles, R., Bosch, I., & Vergara, L. (2008). **Mejora de la detección y caracterización de materiales con un sistema automático de ultrasonidos.** *Universidad Politécnica de Valencia.*
- J. Krautkrämer, H. Krautkrämer, (1990). **“Ultrasonic testing of materials”** Germany, SpringerVerlag.

