

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA



“PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN POR EMISIONES
ACÚSTICAS A TUBE-TRAILERS”

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR EL BACHILLER

LEDEZMA VASQUEZ, LUIS ANGEL RONNY

Villa El Salvador

2015

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación va dedicado con mucho cariño para mi hijo Dangel, el cual quisiera llegar a ver, formado como todo un profesional en el futuro.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios el permitirme culminar con una etapa más de mi vida, a mis Padres porque gracias a su apoyo y comprensión cumplo mis objetivos y los puedo hacer realidad.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	Pág. 5
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	6
1.2. Justificación de la investigación.....	6
1.3. Delimitación de la investigación.....	7
1.3.1. Conceptual.....	7
1.3.2. Espacial.....	7
1.3.3. Temporal.....	7
1.4. Formulación del problema.....	8
1.5. Objetivos.....	8
1.5.1. Objetivo General.....	8
1.5.2. Objetivos Específicos.....	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1. Antecedentes.....	9
2.2. Bases Teóricas.....	11
2.3. Marco conceptual.....	69
CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA	81
3.1. Descripción del Proyecto.....	81
3.1.1. ETAPA 1.....	81
3.1.2. ETAPA 2.....	81
3.1.3. ETAPA 3.....	81
CONCLUSIONES	82
RECOMENDACIONES	83
BIBLIOGRAFÍA	84
ANEXOS	85
ANEXO 1. Procedimiento ADEMINSAC.....	85
ANEXO 2. Ejemplo de certificado de calibración de un equipo para AET.....	111
ANEXO 3. Ejemplo de certificación de personal.....	112
ANEXO 4. Fotografías de Inspección.....	112

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se basa en los alcances de los procedimientos de la inspección mediante Emisiones Acústicas (AET), que es un método clasificado dentro de los ensayos no destructivos (END); utilizado para evaluar el comportamiento de discontinuidades bajo esfuerzos. Es un método volumétrico de gran alcance. Utiliza la liberación de ondas elásticas acústicas en presencia del crecimiento de fisuras, picaduras, pérdidas de material por corrosión, desgaste, concentradores de esfuerzos, etc.

Aplicaciones en la Inspección de estructuras, recipientes a presión, tube-trailer, esferas de gas, tanques de almacenamiento, recipientes de fibra de vidrio.

En el temario que contendrá la tesina, se evocará a los procedimientos técnicos que se deben seguir para la inspección por dicha técnica en Tube-Trailes.

Adoptando normas aún no difundidas en nuestro país, como lo son:

- ASTM E1419-02b, Standard Test Method for Examination of Seamless, Gas Filled, Pressure Vessel Using Acoustic Emission.
- CODIGO ASME, Sección V, Artículo 12.
- Procedimientos de inspección y evaluación de severidad AD-AET

Es por todo esto que se pretende concientizar a las personas en el rubro de ingeniería y afines, las nuevas tendencias. Las cuales nos brindan mayor calidad en la inspección, menor tiempo de la misma y menores gastos.

CAPÍTULO I:

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La realidad problemática es el entorno peruano, al cual se evoca nuestros intereses de investigación, lo cuales nos llevan a determinar la gran escases de conocimientos que nos preceden, en este caso se presenta una tendencia de inspección ya conocida en algunos países desarrollados con EE.UU, España, Suecia, etc., pero no difundida en el país, como lo es La Inspección Por Ensayos No Destructivos que se basa en Emisiones Acústicas (AET – Acoustic Emission Technique).

1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En la industria, en este caso las transportistas, envasadoras, y productoras de gas comprimido, todas tienen un interés común, el cual determina el estado de seguridad que tienen estas empresas; y es los recipientes a presión que contienen el fluido (en este caso, gas)

Los recipientes que contienen el gas y que se colocan en tráilers para ser transportados y distribuidos, se son llamados Tube-Trailers o Tubolones; los cuales están sometidos a constante estrés, puesto que al ser un elemento que

se carga y descarga; podría generar el debilitamiento del material del cual esté hecho dicho recipiente, y conllevar un accidente catastrófico.

Es por eso que se tiene que tener un especial monitoreo de los recipientes a presión, mucho más si es que se trabaja con gas, y se encontró una tendencia de inspección que no debilita ni afecta en ningún grado el estado u operación normal del material.

Y esta técnica es llamada la Inspección por Emisiones Acústicas; y en este trabajo de investigación se evaluarán y dispondrán procedimientos para dicha inspección.

1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Conceptual

Para bibliografías de este tipo existen muy pocas referencias en idioma español, es por esto que en Latinoamérica, dichas técnicas aún no son comúnmente escuchadas. Para este tipo de investigación, se buscaron textos internacionales, los cuales se harán referencia al final de la tesina.

1.3.2. Espacial

Se realizará una recopilación de información detallada de la prueba para ser aplicado en la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (UNTELS) – Villa El Salvador – Lima – Perú.

1.3.3. Temporal

El proyecto se ejecutará durante el año 2016; y luego se ajustará y evaluará en los siguientes años con respecto al éxito o fracaso de la formación inductiva.

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.4.1. Problema Principal

¿Se podrá crear una conciencia de investigación y aceptación de nuevas tendencias de inspección en el Perú?; empezando por nuestra alma mater.

1.4.2. Problema Secundario

¿Podremos hacer llegar esta información a todo tipo de ingenieros o técnicos involucrados con esta determinada área de la industria?

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

Informar y dejar en claro a las personas interesadas, este tipo de inspección, incentivando una conciencia de investigación y aceptación de nuevas tendencias tecnológicas de inspección como lo es la Inspección por Ensayos No Destructivos (AET Emisión Acústica) a Tube-Trailers.

1.5.2. Objetivos Específicos

Dar a conocer los procedimientos necesarios para una inspección por Emisiones Acústicas; presentando un modelo de procedimiento sencillo y de fácil entendimiento. Además, informar que este tipo de técnica genera ahorros considerables en el mantenimiento correctivo y predictivo de sus instalaciones acortar los tiempos de intervención en los equipos en forma segura.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Introducción a las Emisiones Acústicas (AET)

En el tiempo, la técnica de Emisión Acústica (EA) se viene utilizando desde las épocas prehistóricas hasta el comienzo de la etapa científico-tecnológica de la emisión acústica en 1950, con la tesis y los trabajos del Dr. Joseph Káiser.

La emisión acústica es conocida desde tiempos remotos, puesto que puede ser escuchada en diversos fenómenos naturales como, por ejemplo, en los movimientos sísmicos, congelamiento del hielo, rotura de rocas en las minas, etc. Es posible que los primeros artesanos que aprovecharan la emisión acústica fueran los alfareros al escuchar los sonidos emitidos por la cerámica defectuosa cuando ésta se estaba enfriando en el horno.

En cuanto a la etapa científico-tecnológica, los primeros estudios básicos sobre los fenómenos de emisión acústica se atribuyen a Estados Unidos (1948), y a Káiser, en Alemania (1950), quien fue el primero que utilizó una instrumentación electrónica para registrar los sonidos audibles producidos por los metales durante su deformación. En todos ellos detectó una emisión acústica (entre ellos el zinc, los aceros, el aluminio, el cobre y el plomo).

Los trabajos de Káiser despertaron gran interés en los Estados Unidos, por lo que Schofield (1958) y Tatro (1959) mejoraron la instrumentación. A partir de 1964 se han realizado muchas investigaciones sobre toda clases de materiales mediante la técnica de Emisión Acústica (EA).

En esta misma etapa (científico-tecnológica) aparecen los primeros grupos de trabajo que se han conformado para estudiar esta técnica.

Grupos de Trabajo en Emisión Acústica:

- El primer grupo de trabajo nacional en emisión acústica que se formó fue el de los Estados Unidos de Norte América en 1967, denominado "Acoustic Emission Working Group" (AEWP).
- Le siguió el grupo del Japón en 1969, llamado "Japanese Committee on Acoustic Emission", (JCAE).
- En 1971 se creó en Europa el primer grupo regional, el "European Working Group on Acoustic Emission" (EWGEA)
- El primer grupo de trabajo nacional sobre emisión acústica de Asia fue el de la India, creado en 1985.
- El grupo nacional de Sud Africa denominado "South African Working Group for Acoustic Emission" se creó en 1989.
- En Corea se creó en 1990 el "Korean Working Group on Acoustic Emission" (KWGAE).

El 4 de abril de 1997 se creó el Grupo Latinoamericano de Emisión Acústica (GLEA) con el fin de promover, desarrollar, investigar y realizar reuniones sobre temas de emisión acústica.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.1.1. INTRODUCCIÓN A LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (END)

En la actualidad existen una variedad de ensayos que nos permiten analizar la integridad de un sistema o parte de esta sin dañarla. “Los ensayos no destructivos han sido definidos como las pruebas usadas para examinar o inspeccionar una parte, material o sistema sin perjudicar la utilidad de este en un futuro” (Nondestructive testing handbook, 1996). La finalidad de utilizar estos ensayos es asegurar la integridad del producto o sistema, evadir fallas, dar ahorros al detectar a tiempo ciertas fallas que pueden ser solucionadas sin mucho esfuerzo.

Inicialmente los ensayos no destructivos (no invasivos) fueron aplicados en el campo de la medicina a inicios de los años 40 en los cuales se utilizaban principalmente rayos X, ultrasonido y endoscopias. A partir de estos ensayos fue que se formuló la pregunta si era posible hacerlo en componentes mecánicos y es así que se creó la ASNT (American Society for non Destructive Testing).

La aplicación de los ensayos no destructivos tiene varios propósitos los cuales son:

1. Asegurar la integridad/confiabilidad de un producto

Actualmente las empresas que compran cualquier producto que le genere beneficios esperan que este cumpla con su función y sobre todo que tenga un tiempo de vida largo pues de esta manera fundamentan mejor su inversión. Si uno de los productos falla, dependiendo el tipo de función que cumpla, puede generar gastos muy altos y sobre todo tiempos muertos que podrían generar molestias en clientes al no cumplir con los tiempos de entrega establecidos.

La confiabilidad de un producto se basa en la probabilidad que este tiene de fallar. Por ejemplo, si una parte de un producto tiene una probabilidad de falla de 1 en 1000 y el producto es ensamblado con 100 partes, entonces la confiabilidad sería:

$$R = 0.999^{100} = 0.9048$$

La posibilidad de falla del ensamble es de:

$$1.00 - 0.9048 = 0.0952$$

2. Prevención de accidentes

La confiabilidad simplemente para conveniencia y beneficios no es suficiente, también debe ser para la protección de vidas humanas. Las pérdidas materiales son reemplazables pero las pérdidas humanas no, por tal razón es que un producto debe garantizar la protección del hombre. Los frenos de los automóviles no deben fallar al dar las curvas, los sistemas de izaje en las mineras no deben fallar, las turbinas de un avión no deben detenerse en pleno vuelo, cualquier evento que se produzca descrito en líneas anteriores puede provocar consecuencias irreversibles. El uso de los ensayos no destructivos, siempre y cuando sean ejecutados de la manera adecuada, nos permite prevenir accidentes fatales.

3. Asegurar la satisfacción del cliente

El entregar un producto de alta calidad, que tenga una larga duración, que cumpla con su función y que de seguridad al usuario permite que exista una buena reputación. Al cumplir con todas las exigencias del cliente, se logra tener su satisfacción.

4. Soporte en diseño de productos

Los ensayos no destructivos permiten determinar ciertas características de productos terminados los cuales ayudan a la evaluación del diseño indicando si son los apropiados o si estos deben ser mejorados. Esto juega un papel muy importante pues se pueden obtener productos más resistentes, menos costosos y más confiables.

5. Controlando los procesos de manufactura

En muchas ocasiones para obtener un producto acabado este debe pasar por muchos procesos. Si la calidad es evaluada al final y se detecta

algún problema, es difícil saber con exactitud en que parte del proceso se ha dado. Si se realizan controles de calidad después de cada proceso, entonces se puede identificar en qué proceso se provocó el problema y por lo tanto ser corregido ya sea cambiando de proceso o alterando los parámetros del mismo.

6. Reducción de costos de manufactura

El uso de ensayos no destructivos puede reducir los costos de manufactura cuando detecta características indeseadas en el material o componente en una fase temprana, eliminando así costos de reprocesamiento (reparación).

7. Manteniendo uniforme la calidad

Una vez que el nivel de calidad ha sido establecido, se obtiene un criterio de aceptación y ciertas tolerancias. Mediante ensayos no destructivos pueden evaluarse los productos finales y definir si estos deben ser aceptados o rechazados, manteniendo de esta manera una uniformidad en la calidad de los productos finales.

Se pueden encontrar distintas técnicas que nos permiten la evaluación de los sistemas, las cuales poseen características particulares con ventajas y limitaciones. A continuación se detallaran las distintas técnicas existentes y se hablará sobre las que pueden ser aplicadas en la inspección de tube-trailers.

- AET – Emisión acústica
- ET – Electromagnetismo
- LT – Fuga
- PT – Tintes penetrantes
- MT – Partículas magnéticas
- NRT – Radiografía neutrónica
- RT – Radiografía
- IRT – Térmico/Infrarrojo (PdM)
- UT – Ultrasonido
- VA – Análisis de Vibración (PdM)

- VT – Visual
- Láser
- MFL – Magnetic Flux Leakage

Los métodos pueden ser clasificados en 2 tipos, los superficiales y los volumétricos. Dentro de los superficiales encontramos a los que solo pueden detectar y evaluar discontinuidades abiertas a la superficie como los tintes penetrantes, partículas magnéticas, entre otros. Los métodos volumétricos son los que se emplean para verificar la sanidad interna de un material en todo su espesor.

2.1.1.1. Inspección Visual

El método de inspección visual (VT) es uno de los métodos más antiguos y ampliamente usados en los ensayos no destructivos. Ha sido utilizada en inspecciones que van desde componentes muy sencillos como una bujía hasta complejos como las partes de una aeronave, recipientes a presión, etc. Este método siempre debe ser considerado como la primera alternativa de inspección.

1) Fundamentos

El método de inspección visual se basa en 2 aspectos importantes:

- Las leyes fundamentales de la óptica.
- Las propiedades de la radiación luminosa (campo de energía aplicado).

a) Agudeza Visual

La agudeza visual es la mínima distancia a la que deben estar separados dos puntos para que puedan ser distinguidos en forma individual, observados a una distancia óptima (300 mm para el ojo humano). Para el ojo humano la agudeza visual es de 0.1 mm

b) Luz Visible

Dentro del espectro de radiación electromagnética (Fig 1.1) solo existe una franja en la cual el ojo humano es sensible, esta zona es la denominada luz

visible y está comprendida entre 390 nm y 720 nm. La máxima sensibilidad del ojo humano se da para longitudes de onda cercanas a los 555 nm.

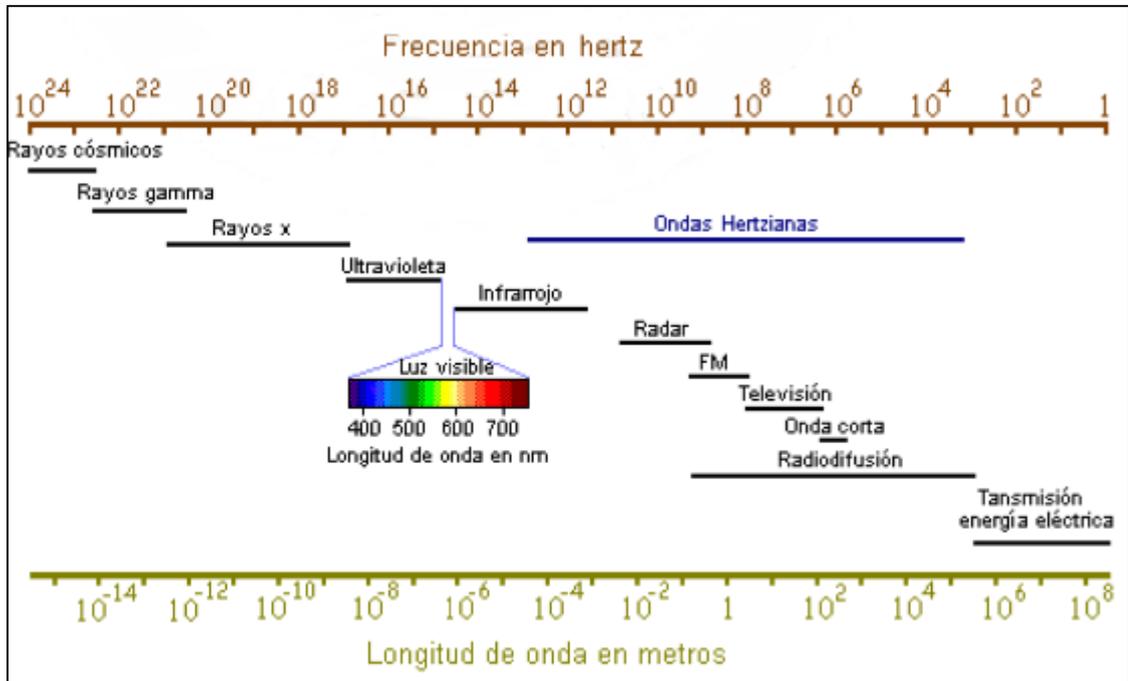


Figura 2.1 – Espectro de radiación Electromagnética (www.ces.fau.edu)

c) Nivel de Iluminación

Es la cantidad de luz que cae sobre la zona de trabajo. El nivel de iluminación varía en función de la distancia de la fuente a la superficie iluminada y el ángulo de incidencia. La percepción del color, forma, contraste, profundidad y distancia pueden realizarse de buena manera a partir de los 100 lux. Es recomendable que el nivel de iluminación en zonas de inspección este sobre los 1000 lux.

2) Procedimiento de ensayo

La limpieza es uno de los pasos más importantes que se deben aplicar para realizar una adecuada inspección visual. La limpieza es el acto de remover suciedades, impurezas o materias extrañas que no son parte del componente.

La limpieza mecánica significa acción física para remover suciedades desde la superficie. Este tipo de limpieza está considerada más como preparación de

superficie que como limpieza. Los métodos más utilizados en la limpieza mecánica son: lijado, escobillado, esmerilado, etc.

La limpieza química significa acción química para remover suciedades desde la superficie. Los químicos usados en actos de limpieza de las manchas se usan por virtud de su composición. Los limpiadores químicos pueden disolver a otros, ser dispersantes o reaccionar con las manchas o contaminantes para removerlas de la superficie. En la limpieza química se utilizan muy a menudo los solventes y detergentes.

La norma ASTM E-165 establece en su anexo A1 algunas indicaciones para la limpieza superficial de materiales.

- Factores a tomar en cuenta para escoger un método de limpieza
 - Tipo de sustancia que será removida de la superficie, teniendo en cuenta que no existe un método que remueva todas las sustancias con la misma eficiencia.
 - Efecto del método de limpieza sobre el elemento a evaluar.
 - Factibilidad de aplicación del método seleccionado (tamaño del objeto, trabajo en campo, etc.)
 - Especificaciones de limpieza establecidas para el material a limpiar.

Los métodos de limpieza recomendados por ASTM E-165:

- Detergente: suciedad, manchas, grasas, aceites, etc.
- Solventes (Fig. 2.3): pinturas, grasas, aceites y materia orgánica en general.
- Vapor: sólo para grasa y aceites.
- Limpieza alcalina: decapado superficial para eliminar óxidos y herrumbre.
- Limpieza con ácidos: decapado de superficies con soluciones ácidas para eliminar capas de óxido.
- Limpieza ultrasónica: empleado con solventes y detergentes que se agitan ultrasónicamente. Permite mejorar la eficiencia de limpieza y disminuir el tiempo de la misma.
- Limpieza mecánica (Fig. 2.2): lijado, esmerilado, cepillado, arenado, etc.



Figura 2.2 – Limpieza mecánica



Figura 2.3 – Limpieza química

Una vez que la limpieza ha sido realizada adecuadamente, se procede a realizar una inspección utilizando luz natural o artificial con una intensidad superior a los 1000 lux. Es conveniente realizar registros fotográficos para que exista evidencia de las discontinuidades que han sido encontradas.

Con ayuda de ciertas galgas de medición se deben caracterizar las discontinuidades para luego ser comparadas con los códigos pertinentes y determinar si se trata de un defecto que debe ser reparado o no.

3) Mediciones y equipamiento

El método de inspección visual tiene como herramienta principal el ojo humano. Si la inspección es realizada utilizando directamente el ojo se denomina inspección visual directa mientras que si se utiliza alguna herramienta de apoyo debido a que no se tiene acceso directo, se denomina inspección remota.

En las inspecciones directas es apropiado utilizar galgas de medición (Fig. 2.4) que nos permitan dimensionar tanto los elementos a inspeccionar como las discontinuidades y de esta forma determinar si estas están dentro del rango aceptable o si se tratan de un defecto el cual necesite reparación.

Dentro de las galgas de medición tenemos las siguientes (más comunes):

- BrigdeCam.
- V-WAC Gage.
- Medidor de pierna.
- Pie de rey.

- Micrómetro.
- Hi-Lo.
- Medidor de refuerzo.
- Otros.



2.4 – Kit AWS para inspección visual (<http://www.galgage.com>)

Estas galgas de medición nos permiten tomar distintas medidas que nos ayudan a evaluar la condición del elemento. Algunas de las medidas que se pueden tomar son las siguientes:

- Espesor.
- Largo.
- Ancho.
- Socavaciones (Fig. 2.5)
- Porosidades.
- Refuerzos.
- Convexidad.
- Concavidad
- Otros.



Figura 2.5 – Socavaciones en cordón de soldadura

La inspección visual remota utiliza como herramienta de apoyo aparatos ópticos simples o de control remoto. Podemos encontrar los boroscopios (rígido), fibroscopios (flexible), videoscopios (grabación de videos – Fig. 2.6), entre otros. En estos casos la forma de dimensionar es aproximada pues se realiza a partir de pantallas o espejos. Los sistemas más modernos permiten realizar mediciones de mayor precisión gracias a un sofisticado software.



Figura 2.6 – Videoscopio (<http://www.directindustry.es>)

La iluminación es un factor muy importante en las inspecciones de este tipo por lo que es necesario que se cuente con un luxómetro (Fig. 2.7) para medir la

cantidad de luz que existe en la zona de inspección. La cantidad de luz mínima necesaria para que se garantice una inspección adecuada es de 1000 lux.



Figura 2.7 – Luxómetro digital (<http://www.directindustry.es>)

4) Discontinuidades en uniones soldadas

Las discontinuidades pueden ser clasificadas de la siguiente manera:

- Discontinuidad superficial (A)
- Discontinuidad sub superficial (B)
- Discontinuidad sub superficial abierta a la superficie (C)
- Discontinuidad interna (D)

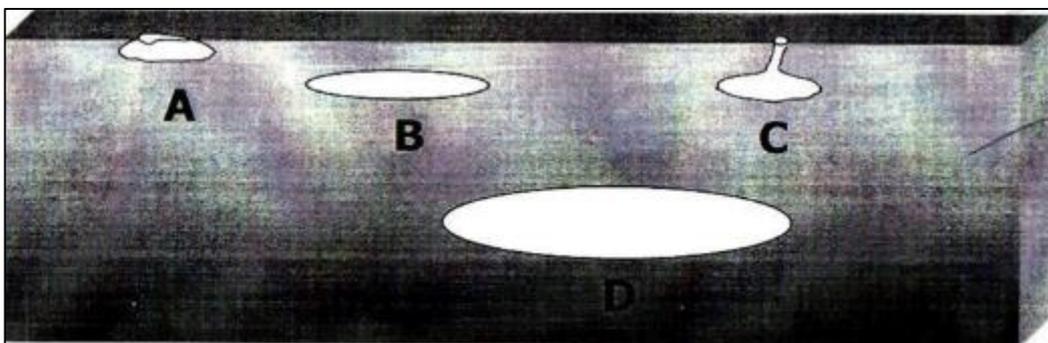


Figura 2.8 – Clasificación de discontinuidades – [1]

- Porosidades: son debidas a gases atrapados durante la solidificación del metal de aporte y pueden ser de varios tipos:
 - Porosidades aisladas.
 - Porosidades aglomeradas.

- Porosidades alineadas.
 - Poros en túnel o agujeros de gusano.
 - Porosidades en la raíz.
- Fusión incompleta: es la falta de unión que existe entre dos cordones de soldadura adyacentes o entre material base y material de aporte. La causa más común de este problema es por falta de limpieza.
 - Penetración Incompleta: discontinuidad caracterizada por un área no penetrada y no fundida en una unión que ocurre cuando el metal de soldadura no se extiende por el espesor de la unión. Puede resultar de un inadecuado diseño de junta.
 - Exceso de penetración: discontinuidad caracterizada por un exceso de metal de soldadura en el lado posterior de la unión.
 - Socavaciones: discontinuidad superficial que sucede en el metal base adyacente a la soldadura. Es una condición en la cual el metal base ha sido fundido y no hubo cantidad suficiente de material de aporte para llenar la depresión resultante.
 - Golpe de arco: Son generados por la iniciación del arco sobre la superficie de metal base fuera de la junta soldada, ya sea accidentalmente o intencionalmente.

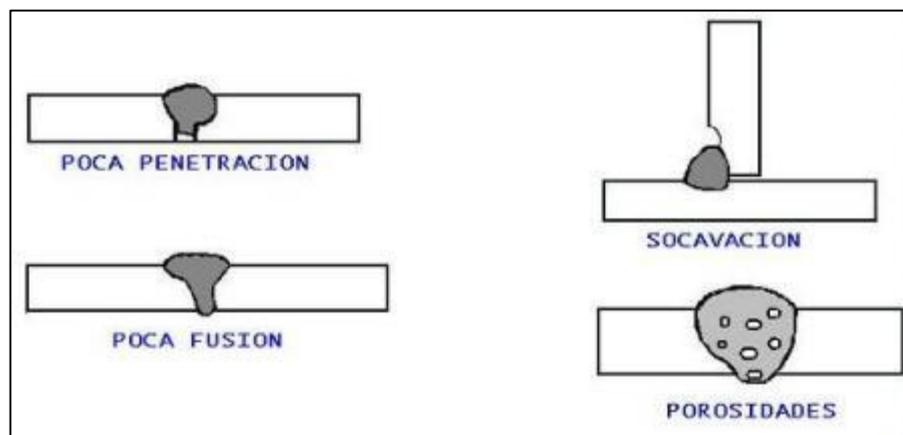


Figura 2.9 – Defectos en soldadura (<http://www.mailxmail.com>)

Todos los métodos tienen ventajas y limitaciones y la inspección visual no es una excepción. A continuación se muestra una tabla con las ventajas y limitaciones de este método.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Se utilizan para una gran variedad de materiales. - Permite detectar defectos antes de completar un trabajo. - Disminuye número de reparaciones finales. - Permite incremento de producción. - Inspección de bajo costo. - La geometría de la pieza no representa un problema. - Se obtienen resultados inmediatos. 	<ul style="list-style-type: none"> - La calidad de inspección depende de la experiencia del inspector. - Sólo para discontinuidades superficiales. - Se debe tener acceso a la superficie a inspeccionar.

Tabla 2.1 – Ventajas y limitaciones de la Inspección Visual

2.1.1.2. Tintes Penetrantes

Los tintes penetrantes es un método de inspección el cual nos permite netamente detectar discontinuidades superficiales en materiales sólidos no porosos, siempre y cuando estas se encuentren abiertas a la superficie. Es aplicado en materiales ferrosos y no ferrosos, siendo su mayor aplicación en metales no magnéticos (aluminio, cobre, acero inoxidable austeníticos, etc.) Pueden ser aplicados en materiales no metálicos.

1) Fundamentos

Las 3 propiedades fundamentales de las que depende el resultado del ensayo son:

1. Poder Humectante.
2. Capilaridad.
3. Viscosidad.

El poder o capacidad humectante es una de las propiedades más importantes requerida en un líquido. Es la capacidad de un líquido para mojar una superficie sólida. La capacidad para humedecer una superficie es medida por el ángulo de contacto, el mismo que se define como el ángulo entre el líquido y la superficie en el punto de contacto, cuanto más pequeño es este ángulo, mejor será su habilidad humectante.

Está determinada por las fuerzas de cohesión (tensión superficial) y por las fuerzas de adherencia.

Fuerzas de cohesión: fuerzas con la cual las moléculas semejantes son atraídas.

Fuerzas de adherencia: fuerzas con la cual las moléculas diferentes son atraídas (líquido penetrante y superficie sólida).

Un ángulo de contacto (Fig. 1.10) menor a 90° grados implica un buen poder humectante.

La capilaridad es la capacidad que tiene un líquido la cual le permite introducirse y permanecer en espacios reducidos como una fisura.

La viscosidad de un líquido determina el tiempo de penetración de este en un espacio reducido. Si la viscosidad es muy alta, el tiempo de penetración será alto. Por el contrario, si la viscosidad es muy baja, este puede ser eliminado durante la remoción.

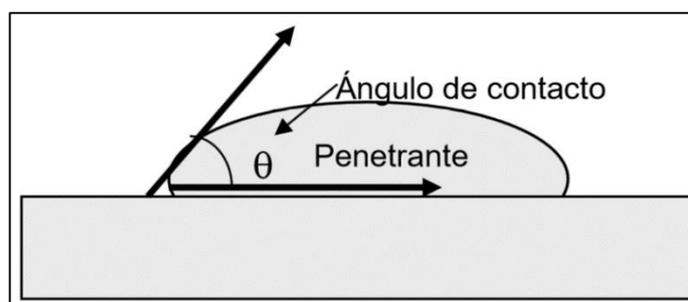


Figura 2.10 – Ángulo de contacto (<http://www.briteguard.com>)

2) Procedimiento de ensayo

Para una adecuada inspección mediante tintes penetrantes es recomendable seguir una serie de pasos, los cuales se resumen en el siguiente gráfico.

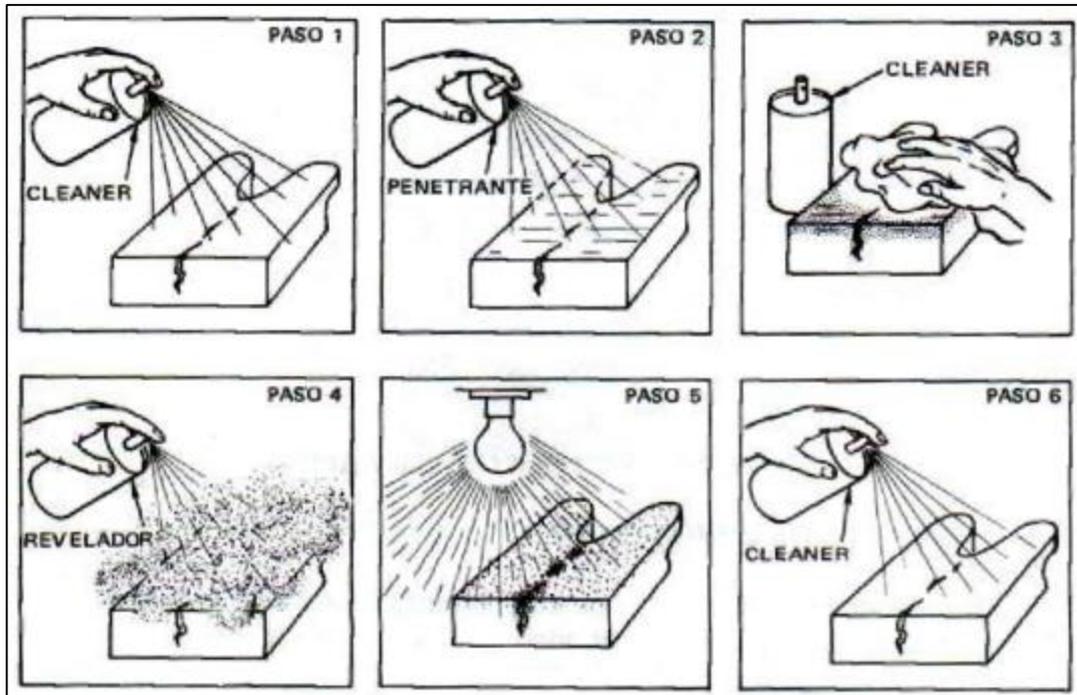


Figura 2.11 – Procedimiento de Inspección con tintes penetrantes [1]

Debe tenerse en cuenta que la limpieza es fundamental en este método de inspección por lo que antes de aplicar el penetrante se debe realizar una adecuada limpieza. Una apropiada limpieza es esencial para la evaluación con líquidos penetrantes por 2 razones:

1. Si el espécimen no está limpio y seco, el penetrante no es efectivo.
2. Si los restos del material penetrante no son removidos después de la evaluación, ellos pueden tener un efecto nocivo sobre el espécimen (el cloro y el azufre pueden afectar algunas aleaciones).

Existen muchas formas de realizar una limpieza las cuales han sido mencionadas en el método de inspección visual.

Una vez que se ha realizado una limpieza adecuada, el líquido penetrante es aplicado sobre la superficie a inspeccionar, dejándola por el tiempo suficiente

para que este pueda penetrar en las discontinuidades, así sean pequeñas o angostas, como es el caso de una rajadura.

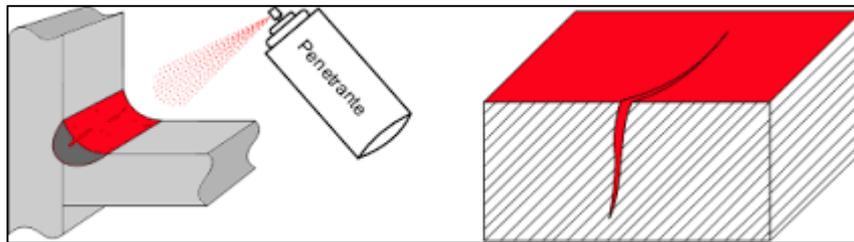


Figura 2.12 – Aplicación de penetrante (<http://www.mipsa.com.mx>)

Después de que ha pasado un tiempo suficiente en el que el penetrante ingrese en la discontinuidad, deberá removerse el exceso de este teniendo cuidado de no limpiar lo que se encuentra en el interior, por tal motivo es recomendable no aplicar solvente directo al espécimen cuando se quiere remover el exceso. El tiempo que permite el ingreso del penetrante a la discontinuidad, es llamado “Tiempo de Penetración”.

Luego de removerse el exceso de penetrante, se aplica un revelador el cual aplicará la acción capilar para remover el penetrante y nos permitirá observar la discontinuidad. El revelador está constituido por un polvo fino el cual tiene la capacidad de adherirse a la superficie y formar una película fina.

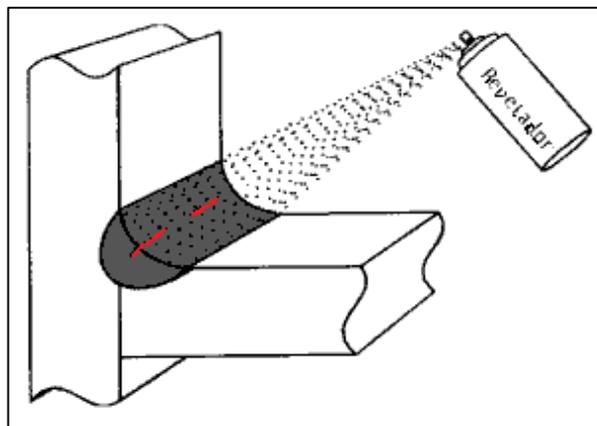


Figura 2.13 – Aplicación de Revelador [1]

Una vez que se han dimensionado las discontinuidades y se ha realizado un reporte (generalmente con apoyo de fotografías) se procede a la limpieza final

del espécimen. Para la limpieza final, es posible aplicar el solvente de manera directa a la pieza inspeccionada.

3) Equipamiento

Según ASTM E-165 existen 6 tipos de tintes penetrantes, en función del tipo de visibilidad y del método de remoción. Estos son:

- Tipo I: Penetrantes Fluorescentes
 - Método A: Removible con agua.
 - Método B: Post-Emulsificante lipofílico.
 - Método C: Removible con Solvente.
 - Método D: Post-Emulsificante hidrofílico.
- Tipo II: Penetrantes Visibles (Coloreados)
 - Método A: Removible con agua.
 - Método C: Removible con Solvente.

La diferencia que existe entre el Tipo I y Tipo II está en el penetrante pues el primero es fluorescente debido a que contienen en su composición pigmentos fluorescentes que solo pueden ser identificados mediante una luz ultravioleta.

Las lámparas o linternas de luz ultravioleta (Fig. 2.14) son sistemas que emiten radiación electromagnética ultravioleta cercana, con una componente residual muy pequeña de luz visible.



Figura 2.14 – Lámpara de luz Ultravioleta (<http://www.endchile.cl>)

En el caso que se realice una inspección mediante tintes penetrantes, se debe tener en cuenta que la intensidad que genera la lámpara de luz ultravioleta debe ser superior a los 1000 uW/cm² (según la norma ASTM E-1417). Para medir la cantidad de luz ultravioleta es necesario utilizar un instrumento llamado radiómetro (Fig. 2.15).



Figura 2.15 – Radiómetro (<http://mx.magnaflux.com>)

Como todos los métodos, los tintes penetrantes poseen ventajas y limitaciones las cuales se resumen en el siguiente cuadro:

Ventajas	Limitaciones
<ul style="list-style-type: none"> - Ensayo rápido de realizar. - Alta sensibilidad. - Puede ser utilizado en materiales ferrosos y no ferrosos. - De bajo costo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sólo para discontinuidades superficiales. - Se necesita de una excelente limpieza. - Las inspecciones en materiales porosos no es recomendable. - El interior de las discontinuidades debe estar libre de materiales como corrosión.

Tabla 2.2 – Ventajas y Limitaciones con tintes penetrantes

2.1.1.3. Partículas magnéticas

Es un ensayo no destructivo con la capacidad de detectar discontinuidades superficiales y sub superficiales (ligeramente). Debido a que la magnetización es posible en ciertos metales (ferromagnéticos) es que podemos detectar discontinuidades con la asistencia de polvo de hierro (como medio) en presencia de una atracción magnética. En el siguiente gráfico se muestra como las partículas magnéticas detectan una discontinuidad.

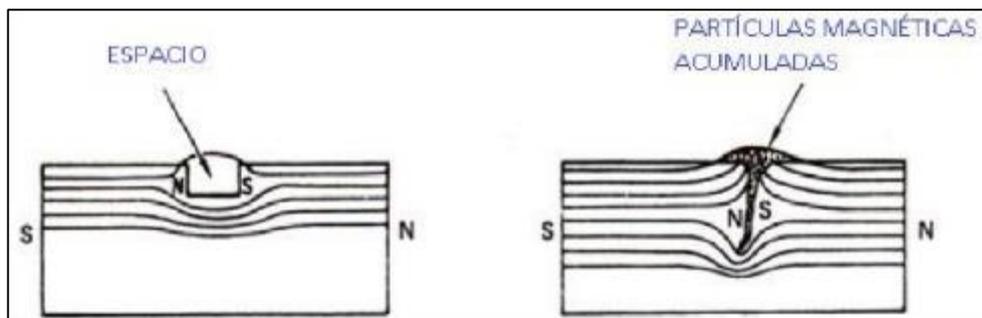


Figura 2.16 – Formación de campo de fuga (<http://www.isotec.com.co>)

La evaluación por partículas magnéticas es relativamente fácil y simple. Este método puede ser aplicado en varias etapas de fabricación y procesos de producción. El objetivo de la examinación por partículas magnéticas es asegurar la confiabilidad del producto, bajo los siguientes alcances:

- Obtener una imagen visual de una indicación sobre la superficie del material.
- Descubrir la naturaleza de las discontinuidades que han afectado el material.
- Separar el material aceptable del inaceptable de acuerdo con estándares predeterminados.

1) Fundamentos

La fuerza que atrae otros materiales magnetizables a través de sus polos magnéticos es definida como flujo magnético. El flujo magnético implica todas las líneas de fuerza. Como ejemplo se puede presentar la clásica herradura

magnética que atraerá a otros materiales magnetizables que solo se encuentran dentro de sus líneas de fuerza, que salen e ingresan al magneto.

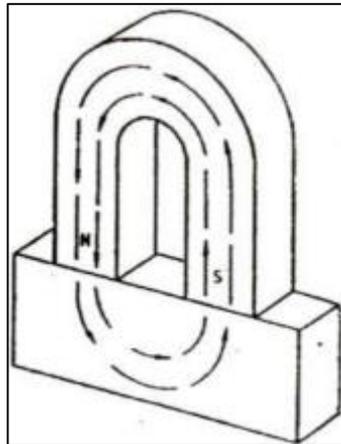


Figura 2.17 – Atracción de un imán (<http://www.manualvuelo.com>)

La fuga del flujo magnético, son líneas de fuerza magnéticas que salen de la superficie magnetizada y viajan a través del aire desde un polo a otro de polaridad opuesta. Esta fuga del flujo magnético (líneas de fuerza) que son forzadas fuera de la zona, permite que las partículas de hierro sean atraídas al entorno de la discontinuidad y se observe la indicación de la discontinuidad.

Teoría de la magnetización

Un objeto es magnetizado cuando una parte o todo su dominio magnético tienen orientado sus polos norte y sur conforme se aprecia en el gráfico de abajo.

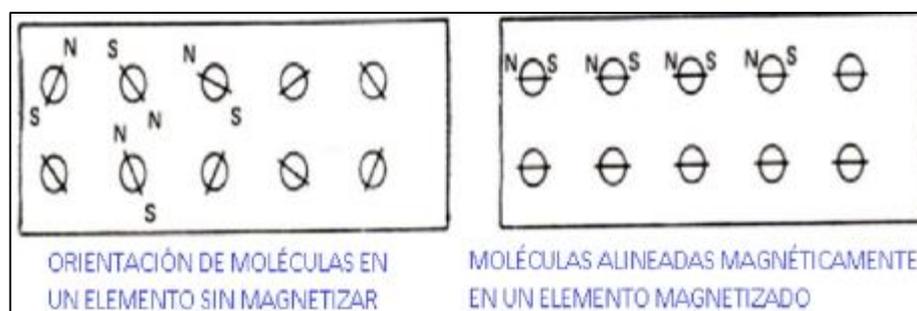


Figura 2.18 – Orientación de moléculas magnetizadas (<http://www.bibliotecadigital.ilce.edu.mx>)

Los polos norte y sur exhiben atracción y repulsión tal como se muestra en el siguiente gráfico.

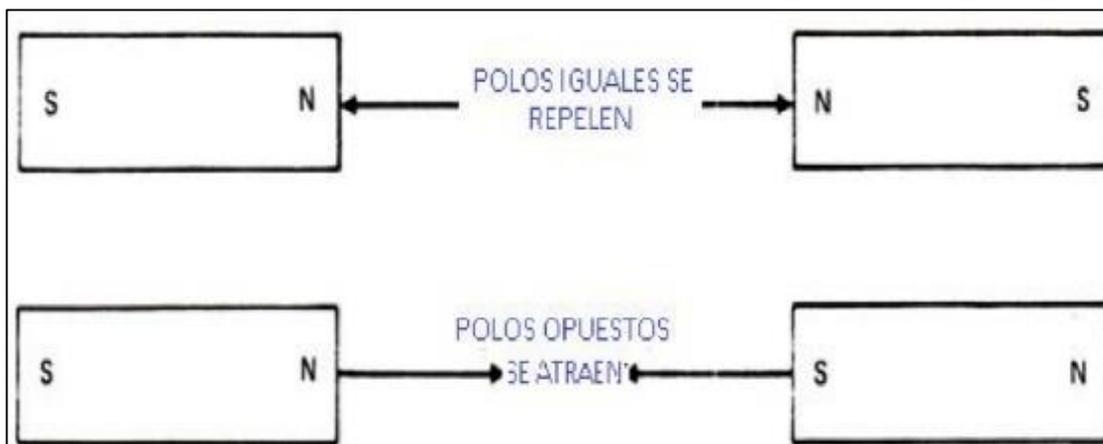


Figura 2.19 – Fuerzas de atracción/repulsión
 (<http://www.physictutorials.org>)

La barra magnética desarrolla una fuerza total igual a la suma de todos los dominios magnéticos. Estas son las líneas magnéticas las cuales forman lazos o circuitos cerrados. Todas las líneas de fuerza forman el campo magnético.

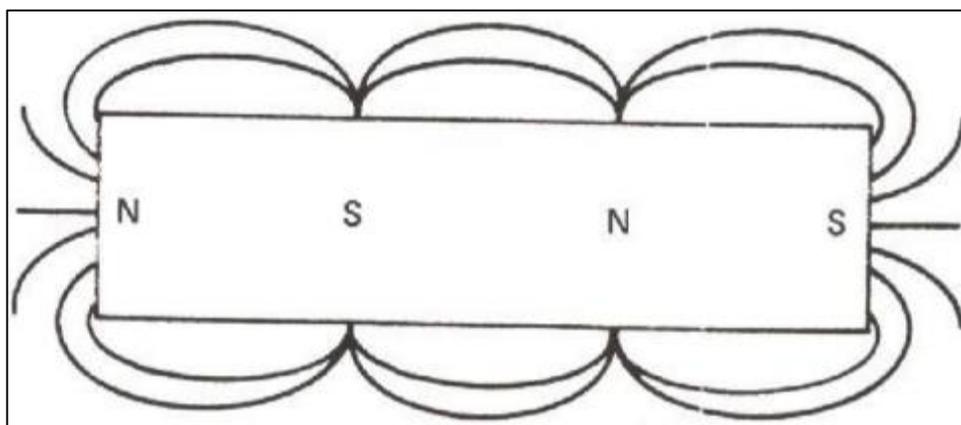


Figura 2.20 – Líneas de campo magnético
 (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>)

Materiales Magnéticos

Si un objeto es ubicado en el campo magnético y una fuerza es ejercida sobre él, esto indica que se ha convertido en un objeto magnetizado. La intensidad de la magnetización depende de la susceptibilidad del material que será magnetizado.

Metales Diamagnéticos: Tiene una pequeña y negativa susceptibilidad a la magnetización (ligeramente repelidos). Cobre, plata y oro son ejemplos de materiales diamagnéticos.

Metales Paramagnéticos: Tiene una pequeña y positiva susceptibilidad a la magnetización (ligeramente atraídos).

Metales ferromagnéticos: Tiene una gran y positiva susceptibilidad a la magnetización. Ellos tienen una fuerte atracción y son capaces de retener su magnetización después que el campo magnetizado ha sido removido. Hierro, cobalto y níquel son ejemplos de metales ferromagnéticos.

Las siguientes propiedades de un metal pueden determinar cuan efectivo es el método de partículas magnéticas que será evaluado en una zona o parte.

Estas propiedades son:

1. Permeabilidad: está referido a la facilidad con la cual un flujo magnético es establecido en el artículo a ser inspeccionado.
2. Reluctancia: esta es la oposición de un material magnético al establecimiento de un flujo magnético. Un material con alta permeabilidad, tendrá baja reluctancia.
3. Magnetismo residual: está referido a la cantidad de magnetismo retenido después que la fuerza magnética es removida.
4. Retentividad: se refiere a la capacidad de un material para retener cierta cantidad de magnetismo residual.
5. Fuerza coercitiva: se refiere a la fuerza magnética inversa necesaria para eliminar el magnetismo residual de la zona.

Estas propiedades se pueden relacionar en una curva determinada "Histéresis" la cual se observa a continuación:

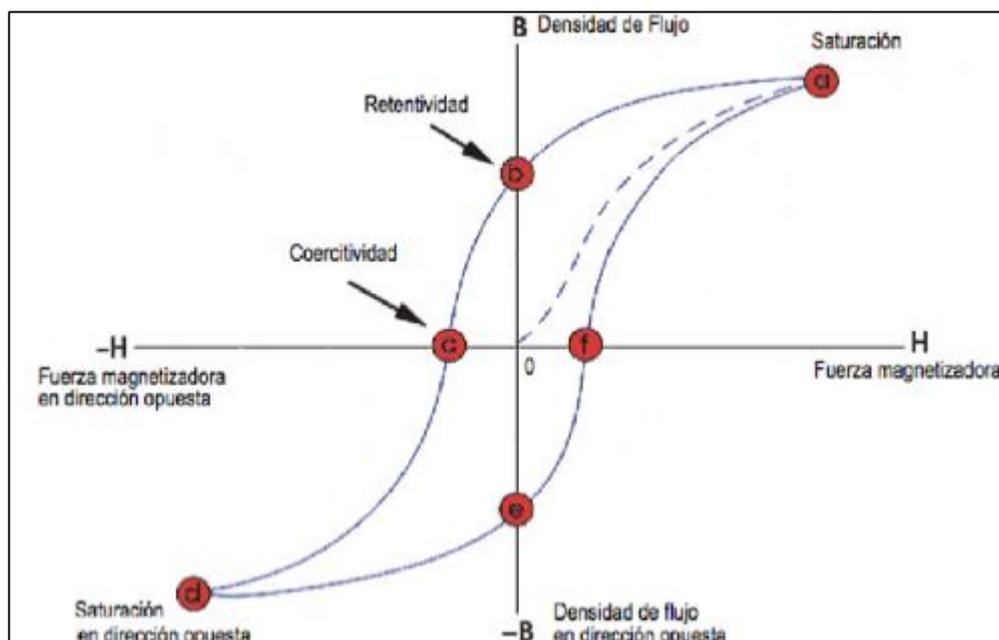


Figura 2.21 – Curva de Histéresis

(<http://tictecnologíasinformacionycomunicacion.wikispaces.com>)

2) Procedimiento de Ensayo

Se debe tener en cuenta que las discontinuidades son detectables con mayor facilidad cuando se encuentran de manera perpendicular con el campo magnético.

Existen muchos procedimientos de ensayo en este método; sin embargo, se hablará del más común.

- Se debe realizar una limpieza de la zona a inspeccionar.
- Se debe realizar la magnetización mediante un yugo electromagnético.
- Aplicación de partículas ferromagnéticas fluorescentes.
- Aplicación de luz ultravioleta sobre la zona de trabajo.
- Toma de fotografías (evidencia) y caracterización de discontinuidad si hubiese.
- Magnetización a 90° de la primera dirección de magnetización.
- Aplicación de luz ultravioleta sobre la zona de trabajo.
- Toma de fotografías (evidencia) y caracterización de discontinuidad si hubiese.
- Limpieza de la zona de trabajo.

- Desmagnetización de la pieza inspeccionada.
- Verificación de campo magnético utilizando Gaussímetro o equivalente.
- Elaboración de informe.

3) Equipamiento

Existen diversos métodos de magnetización los cuales son aplicados dependiendo del tipo de componente a inspeccionar. A continuación se hablan de estos métodos de magnetización.

- Tipos de corriente de magnetización:
 - Corriente alterna rectificadora de onda completa (FWDC) en 1 o 3 fases.
 - Corriente alterna rectificadora de media onda (HWDC).
 - Corriente alterna (AC)
- Magnetos permanentes: este método de magnetización solo es utilizado cuando ha sido autorizado por una organización competente.
- Yugos: Cuando se utilice yugos para la magnetización, se debe establecer una fuerza adecuada de campo magnético.
- Aplicación de corriente de magnetización: la corriente alterna rectificadora de onda completa debe ser aplicada para una máxima penetración. La corriente alterna debe ser aplicada para máxima sensibilidad y la corriente alterna rectificadora de media onda para media penetración y media sensibilidad. Este método es adecuado para utilizar con el método seco debido a que crea pulsaciones de campo unidireccional el cual incrementa la movilidad de las partículas.
- Magnetización indirecta: son utilizadas bobinas, cables conductores que van alrededor, yugos, conductores centrales para inducir un campo magnético en una parte cuando no hay contacto eléctrico.

Se debe recalcar que existen partículas magnéticas de varios tipos:

- Partículas magnéticas secas o húmedas (medio agua o medio kerosene).
- Partículas magnéticas visibles o fluorescentes.

En el caso de la aplicación de partículas magnéticas fluorescentes es necesario utilizar una fuente de luz ultravioleta con el fin de poder observar las discontinuidades que se forman a partir de las partículas.

Algunos equipos utilizados en este método son los siguientes:

- Yugo electromagnético.
- Imanes Permanentes.
- Bobinas magnéticas.
- Lámparas de luz ultravioleta.
- Radiómetros.
- Luxómetros.
- Peso muerto.
- Pie gage.
- Gaussímetro.

Como todos los métodos, este tiene ciertas ventajas y ciertas limitaciones las cuales se señalan a continuación:

Ventajas	Limitaciones
<ul style="list-style-type: none"> - Puede revelar discontinuidades que se encuentren debajo de la superficie. - De bajo costo - Puede inspeccionar materiales porosos. - Ensayo bastante rápido. - Existen equipos bastante compactos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se necesita de un equipo especial para la detección de discontinuidades sub-superficiales (rectificador). - Solo se aplica en materiales ferromagnéticos. - Se necesitan diferentes posiciones de magnetización. - Se tiene que desmagnetizar al finalizar si es requerido.

Tabla 2.3 – Ventajas y Limitaciones con Partículas Magnéticas

2.1.1.4. Magnetic Flux Leakage (MFL)

Es un ensayo no destructivo que tiene la capacidad de detectar discontinuidades superficiales y sub superficiales. Debido a que el principio de

funcionamiento es similar al método de partículas magnéticas, este método solo puede ser aplicado en materiales ferromagnéticos debido a que estos son los únicos que pueden ser magnetizados sin problemas (no se necesita aplicad DC hasta saturar – Efecto Barkhausen).

Es un ensayo no destructivo que consiste en 2 pasos: el primero es el de inducir un campo magnético en la pieza a inspeccionar y el segundo es el de usar un detector sensible de flujo magnético que permita escanear el flujo desviado por las discontinuidades.

Este ensayo se puede aplicar en distintos componentes como planchas (fondo de tanques), cables de acero, tuberías, entre otros, sin importar si es poroso, liso, rugoso, etc.

1) Fundamentos

El magnetismo es una propiedad que poseen ciertos materiales y que pueden generar una fuerza sobre otro material.

Los materiales ferromagnéticos son los materiales que tienen la característica de ser magnetizados con facilidad. La teoría de la magnetización ya fue explicada en el método de Partículas Magnéticas. Esta teoría explica gran parte del principio de este método.

Como se mencionó anteriormente, cuando un campo magnético ha sido creado y atraviesa por una discontinuidad, una disrupción es producida por el alineamiento de los dominios magnéticos en el entorno de esta. El flujo desviado que se produce es captado por ciertos sensores que permiten analizar ciertas características de la discontinuidad. Estos sensores pueden ser:

- Bobinas de inductivas.
- Sensores de efecto hall.
- Magnetómetro de compuerta de flujo.
- Magnetodiodo.
- Sistemas de cinta magnética.
- Sensores de resonancia magnética.

Estos conectores están conectados a una serie de circuitos y mediante un software avanzado permite mostrar la información captada en una pantalla de visualización.

Algunas discontinuidades encontradas por MFL:

- Solapes.
- Seams.
- Grietas.
- Inclusiones subsuperficiales.
- Poros.
- Laminaciones.
- Picaduras.

2) Procedimiento de Ensayo

Debido a la gran aplicación de este método, existen una variedad de procedimientos de inspección, por tal razón se mencionará sobre un procedimiento de inspección en planchas de acero.

- Inspección visual a la zona de trabajo.
- Determinación de obstáculos (lugares de difícil acceso para el escaneo).
- Calibración del equipo.
- Escaneo de la plancha de acero.
- Verificación de problemas en tiempo real.
- Caracterización de las discontinuidades.
- Elaboración de Informe.

3) Equipamiento

Sensores utilizados en inspección mediante MFL

1. Bobina

Es la más utilizada en MFL debido a la larga zona de inspección en los elementos. Pueden ser colocadas de forma paralela o perpendicular a la cara de

inspección. Se pueden utilizar arreglos de bobinas con el fin de obtener una mayor cobertura

2. Sensores de efecto Hall

Son cristales de material semiconductor, cuando la corriente pasa a través de ellos y estos elementos se encuentran en presencia de un campo magnético, se genera un voltaje a través de las dos caras del cristal.

3. Magnetómetro de compuerta de flujo

Estos elementos también referidos como probetas Forster, son dispositivos que miden los campos magnéticos, utilizando las características magnéticas no lineales de los materiales ferromagnéticos que se usan para la medición. Las características de la barra y de la corriente son tales que, los cambios de magnetización inducidos por la fuga del campo afectan a la bobina receptora.

4. Magnetodiodo

Es un dispositivo de estado líquido, cuya resistencia varía con la intensidad del campo magnético. La fuga de flujo magnético es excitada por electromagnetos de corriente alterna, de tal forma que el arreglo, permite detectar discontinuidades internas o externas abiertas en la superficie.

5. Sensores de resonancia magnética

Los magnetómetros de resonancia magnética nuclear, están basados en el principio, que las frecuencias atómicas también son dependientes de la capacidad del campo magnético. Cuando un núcleo atómico es ubicado en un campo magnético constante y sometido a un campo magnético alternante de alta frecuencia, la absorción de energía resonante del campo magnético toma lugar. La absorción siempre toma lugar a una relación fija entre el campo constante y la frecuencia del campo alternante. Entonces midiendo la frecuencia resonante, se podrá medir el campo magnético constante.

A continuación se presentan las ventajas y limitaciones del método MFL:

Ventajas	Limitaciones
<ul style="list-style-type: none"> - Las inspecciones se realizan con gran rapidez. - Verificación de problemas en tiempo real. - Evidencia de buena calidad gracias al software avanzado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Equipo de alto costo. - Se necesita personal calificado. - Se requiere de una calibración.

Tabla 2.4 – Ventajas y Limitaciones con MFL

2.1.2. MÉTODO NO DESTRUCTIVO – EMISIÓN ACÚSTICA (AET)

Método utilizado para evaluar el comportamiento de discontinuidades bajo para evaluar el comportamiento de discontinuidades bajo esfuerzos. Es un método volumétrico de gran alcance. Con capacidades demostradas para monitorear la integridad estructural, detectar fugas, fallas incipientes en equipos mecánicos y caracterizar el comportamiento de materiales.

Con aplicaciones en la Inspección de estructuras, recipientes a presión, tube-trailer, esferas de gas, tanques de almacenamiento, recipientes de fibra de vidrio. Siendo el objetivo de esta técnica (aplicada a la inspección de Tube-Trailes); determinar el estado e integridad de recipientes a presión sin costura. Monitorear de los cambios en la condición de los recipientes sometidos a carga y descarga cíclica en busca de defectos en desarrollo.

2.1.2.1. El fenómeno de la Emisión Acústica

La definición de Emisión Acústica (EA) es la clase de fenómeno que produce ondas elásticas transitorias generadas por un cambio de energía que se da en un material al tener una deformación. La primera investigación bien documentada de emisión acústica en los metales fue hecha en Alemania por Joseph Kaiser en 1950. Él informó que todos los metales examinados (zinc, acero, aluminio, cobre y plomo) exhiben el fenómeno de Emisión Acústica. El uso de la emisión acústica como técnica de inspección no destructiva ha estado en desarrollo durante mucho tiempo y también en la actualidad la actividad de

desarrollo está todavía en progreso. Debido a que la emisión acústica es un método cualitativo, es fundamental utilizar una segunda prueba no destructiva complementaria con la finalidad de caracterizar problemas potenciales.

2.1.2.2. Características de la Emisión Acústica

El objetivo principal de una evaluación de este método alternativo, es realizar un control volumétrico al 100% para localizar y controlar las fuentes de emisión acústica causados por el crecimiento o evolución de defectos y/o discontinuidad en el material generado por un esfuerzo aplicado. Las propiedades y la condición estructural del material, el tipo y la amplitud de esfuerzo aplicado, y la velocidad de la aplicación de esfuerzo son factores significativos que afectan la evaluación.

Las ondas acústicas son captadas por sensores adecuados, colocados en la superficie del componente bajo examen, que convierten el movimiento en la superficie del material en una señal eléctrica.

Estas señales se procesan y se analizan mediante una instrumentación adecuada para localizar las fuentes de emisión acústica.

Puede detectar lo siguiente:

- Movimiento de dislocaciones (deformaciones plásticas).
- Las grietas por fatiga.
- Grietas por carga.
- Corrosión bajo carga cíclica.
- Corrosión.
- Fragilización por hidrógeno.
- La fricción.
- Impacto mecánico.
- Ebullición.
- Cavitaciones.
- Fugas.
- Monitorización del crecimiento de grieta.
- Evaluación de integridad estructural.
- Seguimiento de la evolución.

La emisión acústica se trata de un método pasivo y se aplica solo cuando el material es sometido a un esfuerzo o durante funcionamiento. Generalmente se trata de un proceso irreversible y es sensible al efecto Kaiser, principio bajo el cual se evalúan materiales metálicos.

La emisión acústica se detecta a partir de un bajo nivel de carga hasta la ruptura, pero solo si el material no ha sido esforzado o cargado previamente a niveles de carga superiores al de la evaluación. Por lo tanto, no hay actividad de emisión acústica hasta la carga máxima aplicada previamente.

Durante la examinación, no se tiene control sobre el mecanismo de generación de sonido; sin embargo, es posible someter un material a las condiciones que harán la producción de emisión acústica. Estas pueden ser un alto nivel de esfuerzo o una alta temperatura que producen una inestabilidad en el material.

Las señales de emisión acústica son de dos tipos:

- Señales continuas: este tipo de señal está presente en todo momento, se analiza la amplitud y frecuencia. (Fig. 2.22)
- Señales transitorias: constan de puntos iniciales y puntos finales. (Fig. 2.23)

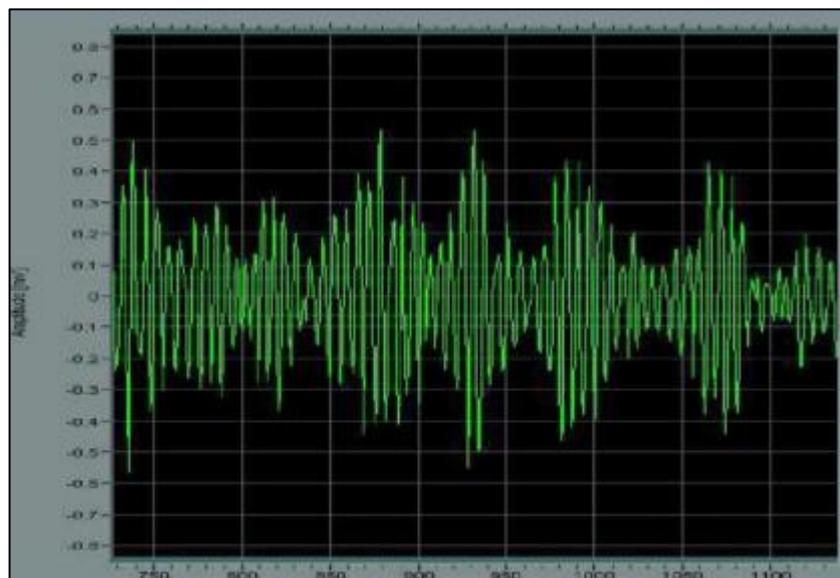


Figura 2.22 – Señal Continua [2]

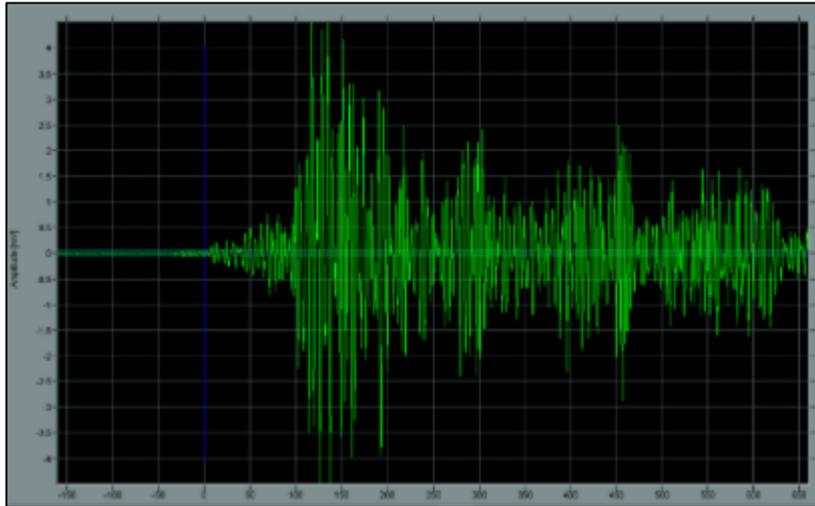


Figura 2.23 – Señal Transitoria [2]

Cada tipo de daño es característico de cierto nivel de amplitud (decibeles), razón por la cual es conveniente saber qué tipo de falla se espera encontrar en el componente que está siendo evaluado. A continuación se muestra un cuadro en el que se observa qué amplitud se genera para cada tipo de daño:

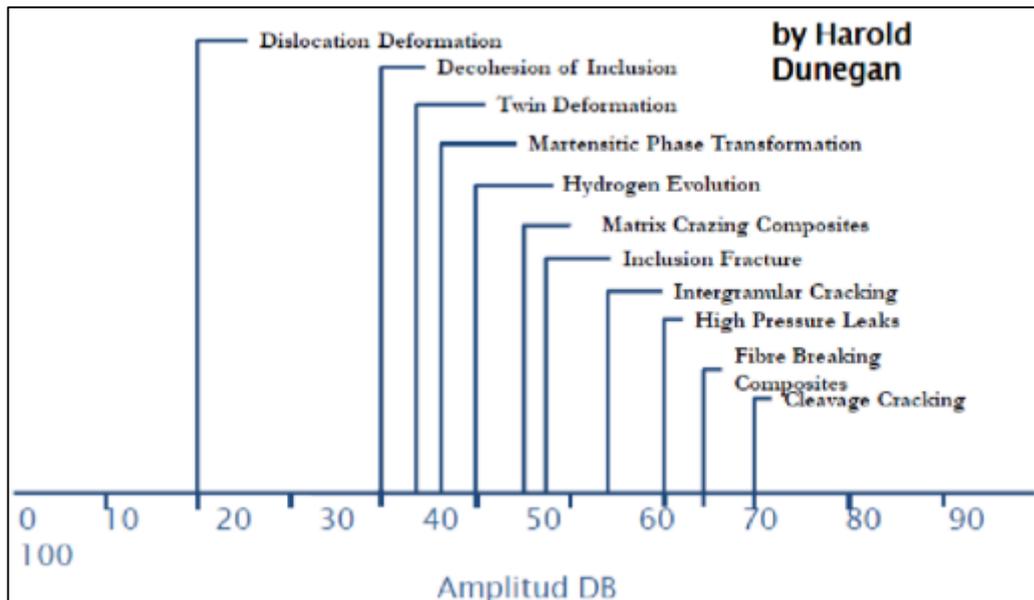


Figura 2.24 – Discontinuidades vs Amplitud [2]

Por otro lado, se ha estudiado qué tipos de falla pueden ser encontradas según el rango de frecuencias de los sensores seleccionados en la evaluación por emisión acústica. A continuación se muestra el rango de frecuencia de varios tipos de estudios de emisión acústica.

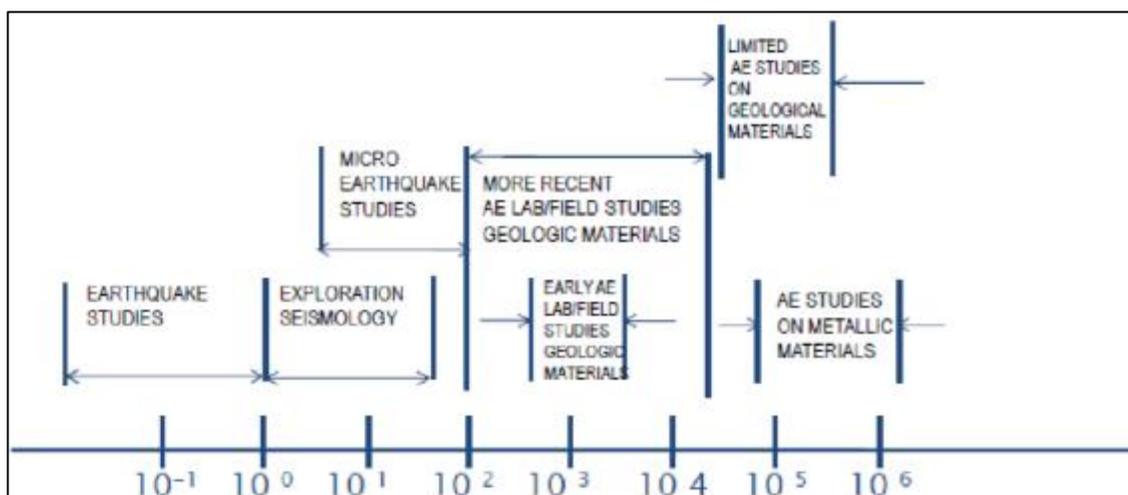


Figura 2.25 – Tipos de Falla vs Frecuencia [2]

Aplicación	20 – 100 kHz	100 – 400 kHz	>400 kHz
Detección de corrosión en fondo de tanques	X		
Detección de fugas en tuberías (agua/combustible)	X		
Detección de fisura		X	
Pruebas de integridad de recipientes a presión		X	
Detección de descargas parciales	X (cuando el ruido es bajo)	X	
Pruebas de integridad de estructuras metálicas		X	
Pruebas de integridad de materiales compuestos		X	
Pruebas de integridad de estructuras de concreto	X		
Monitoreo en procesos de secado de madera		X	
Pruebas en pequeños especímenes			X

Tabla 2.5 – Falla vs Frecuencia [2]

2.1.2.3. Mediciones de Emisión Acústica

Tipos de mecanismo que pueden producir señal transitoria:

- Crecimiento de los defectos.
- Antelación de grieta.
- Inclusiones y fractura.
- Degradación de la superficie debida a la corrosión, la rotura de óxido, la desunión de los revestimientos.
- Degradación en material compuesto de fibras o rotura de la matriz, delaminación, deslizamiento fibra-matriz, etc.

Parámetros de medición en una señal transitoria:

- Hora de llegada.
- Amplitud.
- Duración.
- Energía.
- Tiempo de subida de forma de onda.
- Delta t.
- Orden de llegada a los sensores.
- Función de distribución.

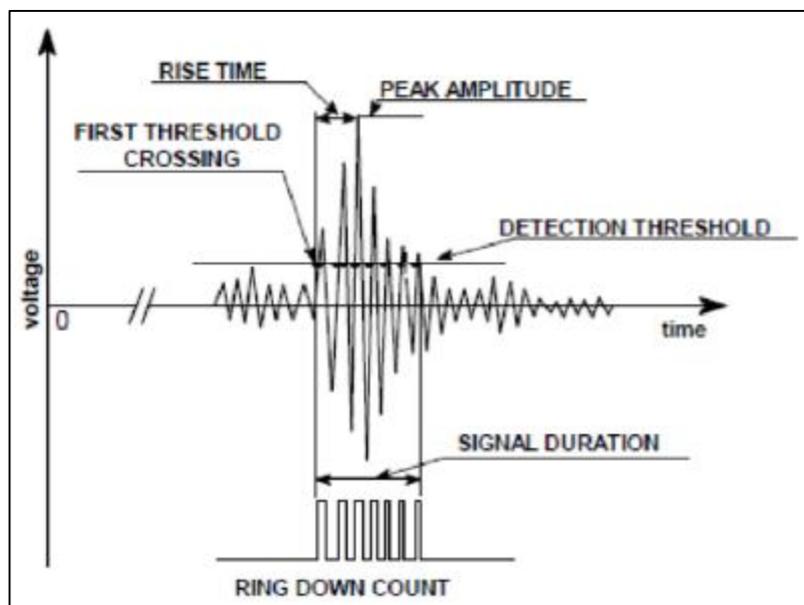


Figura 2.26 – Elementos de una onda [2]

Parámetros de medición en una señal continua:

- RMS.
- Espectros de energía, intercambio de espectros.
- Tiempo correlación, correlación cruzada.
- Coherencia.
- Función que describe la actividad acústica.
- Parámetros externos.

Atenuación

El término atenuación se utiliza generalmente para describir la disminución de la amplitud de una onda que se produce al viajar a través de un medio.

La causa de la atenuación puede ser identificada como:

- Geométrica.
- Estructural.
- Debida a los medios de comunicación adyacentes.

La atenuación será función de:

- Frecuencia de onda.
- Tipo de material.
- Distancia recorrida por la onda.

Atenuación Geométrica

La atenuación geométrica consiste en la pérdida de energía que se da principalmente debido a la distancia que recorre la onda. Una fuente de energía esférica irradia en todas las direcciones, por tal motivo a medida que un cuerpo se aleja de esta fuente de energía, la energía recibida por el cuerpo disminuye.

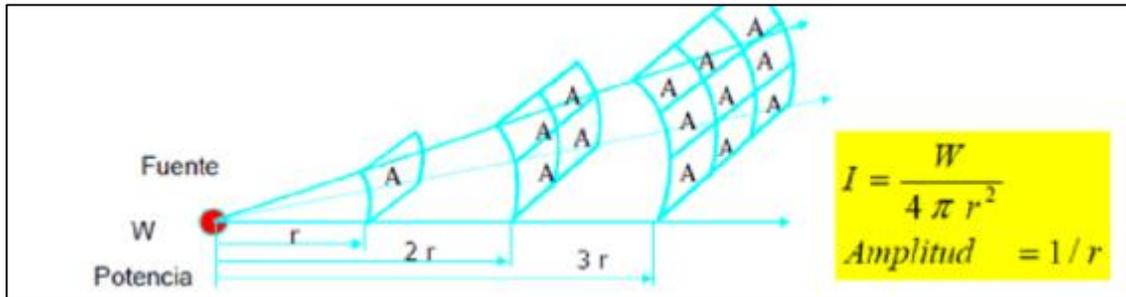


Figura 2.27 – Atenuación geométrica – Esférica [2]

I = Intensidad W = Potencia r = radio

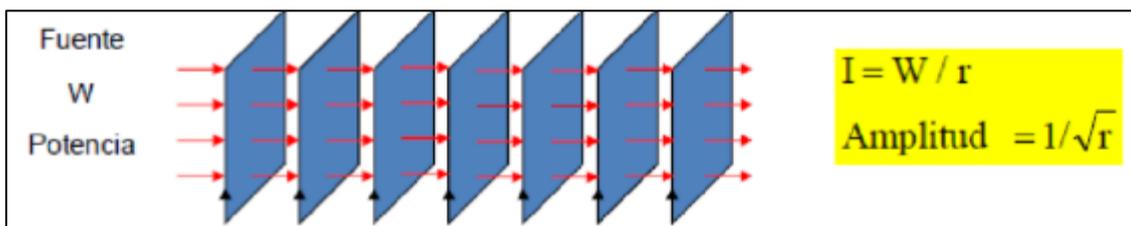


Figura 2.28 – Atenuación geométrica – Lineal [2]

Atenuación estructural

La atenuación estructural está compuesta por varios mecanismos:

- Absorción de la energía por los medios de comunicación, la cual se transforma en calor.
- Dispersión debida a la refracción, reflexión y difracción de la onda que se propaga en todas las direcciones encontrándose con discontinuidades como inclusiones, poros, grietas, hendiduras, etc.
- Diferencias de dispersión de la velocidad para los distintos modos de onda.

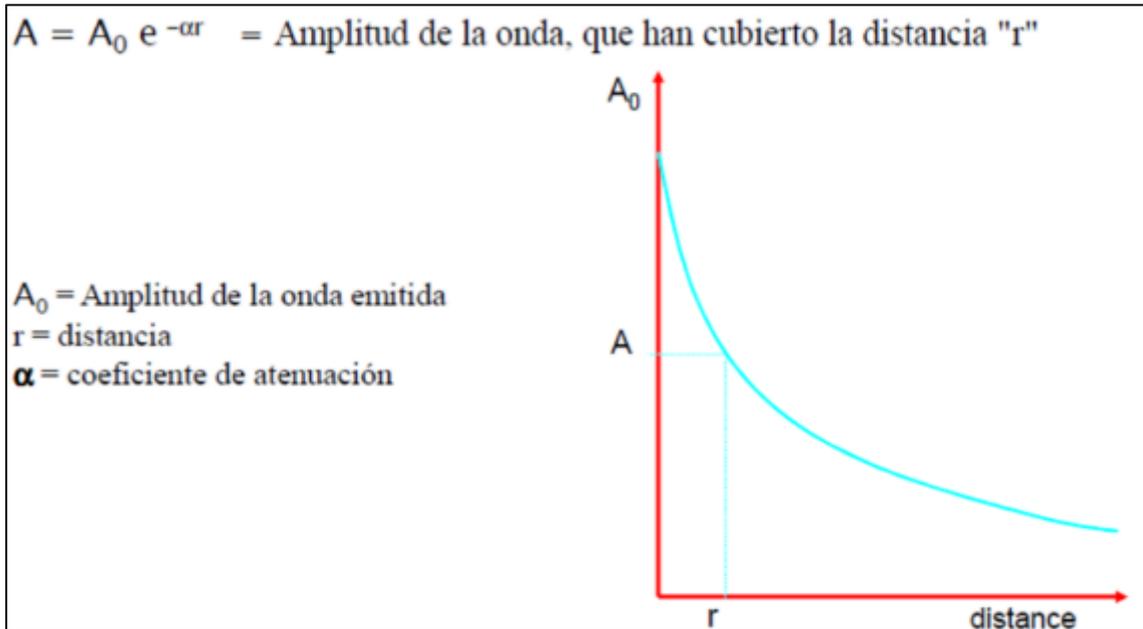


Figura 2.29 – Atenuación estructural [2]

Atenuación en medio adyacente

Durante la prueba de emisión acústica se encuentran distintos elementos de atenuación, los cuales se deben de agregar como factores de atenuación a lo antes ya mencionado (estructurales, geométricos). Algunos de estos elementos son:

- Fluidos.
- Pinturas.
- Revestimientos.
- Aislamiento.
- Tierra.

En condiciones normales, es posible predecir analíticamente el factor de atenuación de ciertas estructuras; sin embargo, podría medirse también experimentalmente en la estructura. Debido a la atenuación, el monitoreo de una gran estructura requiere el uso de un gran número de sensores colocados adecuadamente para asegurar la capacidad de detección de los eventos de emisión acústica generados en cualquier parte de la estructura.

Impedancia acústica

Cada material se caracteriza en relación a la propagación de ondas acústicas, la cual depende de su impedancia acústica.

$$Z = \rho * V$$

ρ = densidad ó masa específica del material (kg/m^3)

V = velocidad de la onda (m/sec)

El valor dimensional de la impedancia es $Z = kg\ m^{-2}\ s^{-1}$

En conclusión, la impedancia acústica para un material dado es la resistencia del material al paso del sonido.

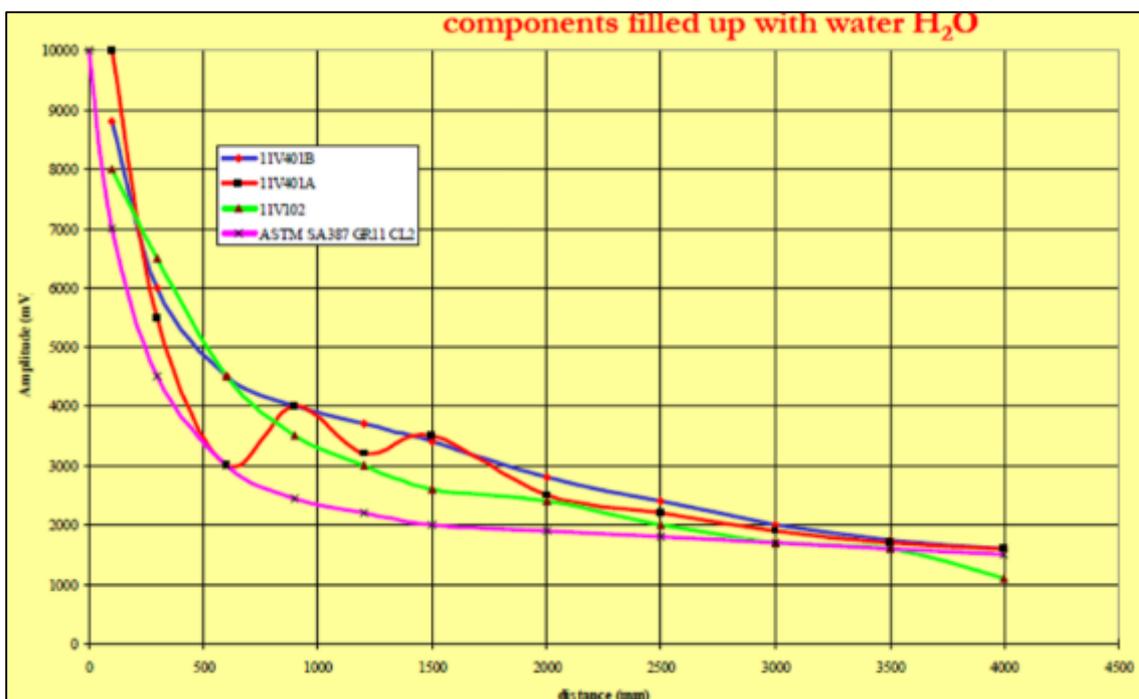


Figura 2.30 – Curvas de atenuación [2]

Propagación de las ondas

Las señales de emisión acústica son las respuestas de un sensor a una onda de sonido producida en un medio sólido.

Estas ondas son similares a las que se propagan en el aire o en un fluido, pero más complejas debido a que el medio sólido ofrece una resistencia a las

fuerzas de cizallamiento generadas. Los tipos de ondas pueden variar en función de la dimensión del medio en que se generan y se propagan. Con precisión se consideran los siguientes casos:

- Medio infinito.
- Medio semi-infinito (con una superficie)
- Placa infinita (con dos superficies)

El enlace entre la fuente y la señal de la emisión acústica producida por el sensor es la onda acústica. Todos los materiales están compuestos de átomos. Para muy bajas frecuencias de los movimientos atómicos, el acoplamiento puede extenderse sobre un gran número de átomos (gran penetración). Este movimiento correlacionado de una gama larga de átomos es una onda acústica la cual corresponde a muchos átomos desplazados en la misma dirección desde su equilibrio. Este movimiento es una deformación local en la estructura cristalina. Esta deformación es dinámica y el movimiento atómico es casi oscilatorio.

En un medio, una onda tiene una componente espacial y otra temporal. La frecuencia, longitud de onda y la velocidad están estrechamente relacionadas de la siguiente manera:

$$V = \lambda * f$$

V = Velocidad

λ = Longitud de onda

f = frecuencia

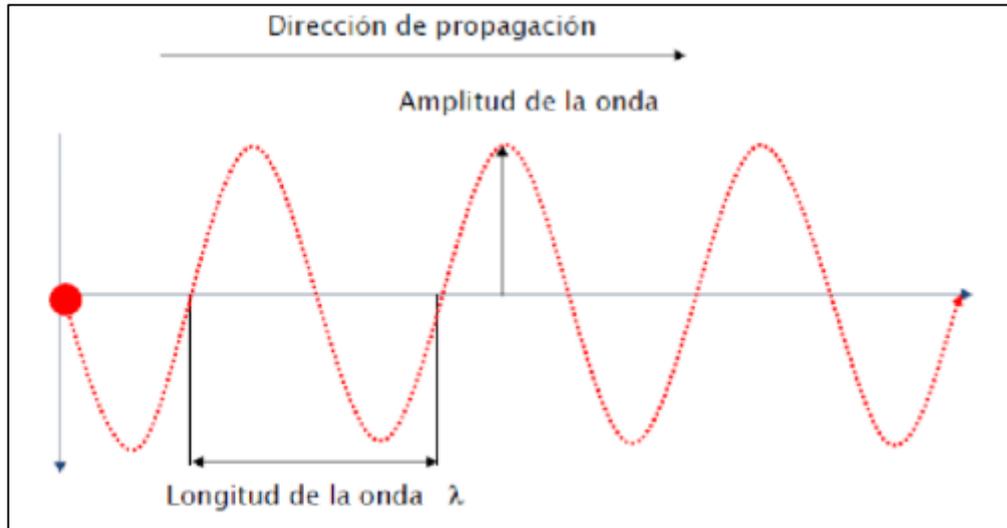


Figura 2.31 – Onda Sinusoidal [2]

Definiciones:

Velocidad (V): Velocidad de Desplazamiento (cm/s)

Frecuencia (f): Ciclos o vibraciones por segundo (1/s)

Longitud de la onda (λ): Distancia que el sonido recorre en un ciclo (cm)

Una onda acústica puede existir en cualquier material: un sólido, un líquido o un gas. Su velocidad se determina por la característica del material.

$$V_i = \sqrt{C_i * \rho}$$

V_i = Velocidad de tipos de ondas.

C_i = constante elástica,

ρ = Densidad del material.

La constante elástica es una medida de la fuerza de acoplamiento entre los átomos para ese tipo particular de movimiento. Con fuerza de acoplamiento, nos referimos a la fuerza que existe en el enlace atómico. Diferentes movimientos relativos de los átomos tendrán diferentes valores de la constante elástica. La velocidad de la onda debe ser directamente proporcional a la fuerza atómica (constante elástica) e inversamente proporcional a la densidad.

La siguiente tabla reduce algunos modos de onda en forma sólida.

Tipos de onda en sólidos	Vibración de partículas
Longitudinal	Paralela a la dirección de onda
Transversal	Perpendicular a la dirección de onda
Superficiales	Orbital elíptica – simétrica
De plato – Lamb	Componente perpendicular a la superficie
De plato – Love	Paralelo a la capa de plano – perpendicular a la dirección de onda
De Rayleigh	Onda guiada a lo largo de la interfase

Tabla 2.6 – Tipo de onda vs Vibración de partículas [2]

2.1.2.4. Tipos de onda acústica

El tipo de onda está determinado por la correlación entre el movimiento de las partículas y la dirección de propagación de las ondas.

- Onda longitudinal o de compresión (Fig. 2.32):
 - La molécula vibra en la dirección de la propagación del sonido.
 - La forma de onda es producida por una serie alternativa de compresión y expansión.
 - Existe en todos los estados de la materia.
 - Es el modo más rápido de todos los que se originan.
 - Casi todos los otros modos se originan como ondas longitudinales y luego son convertidos.

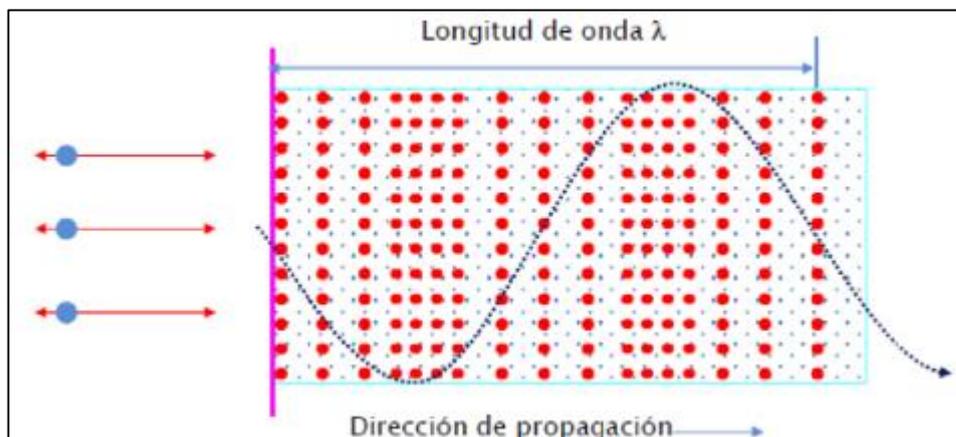


Figura 2.32 – Onda Longitudinal [2]

- Onda transversal o de corte (Fig. 2.33):
 - La molécula vibra a 90° respecto a la dirección de propagación del sonido.
 - La forma de onda producida tiene un movimiento similar al de una serpiente.
 - Existe sólo en materia sólida.
 - Aproximadamente tiene la mitad de velocidad de las ondas longitudinales.

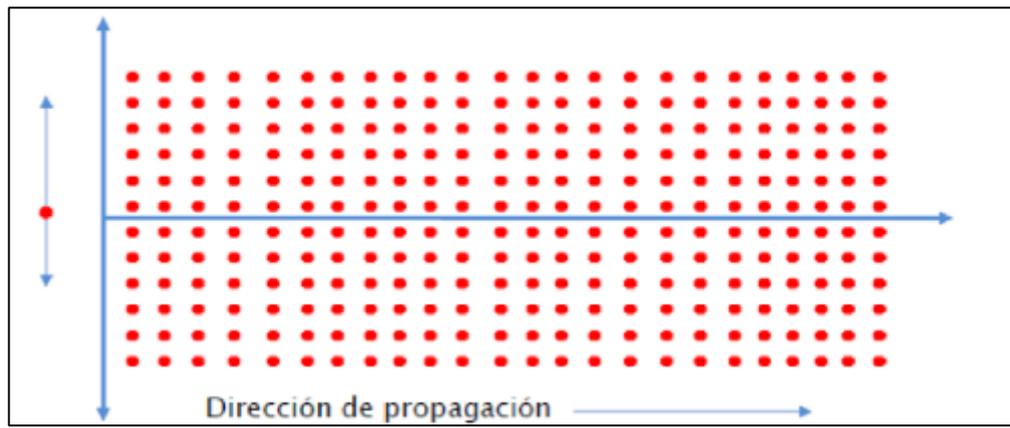


Figura 2.33 – Onda Transversal [2]

- Ondas de Rayleigh (Fig. 2.34):
 - Junto a las ondas transversales y longitudinales se generan las ondas de superficie o Rayleigh que viajan sobre la superficie e ingresan a una profundidad de una longitud de onda.
 - El movimiento de las partículas tienen una órbita elíptica.
 - La propagación es a lo largo de la superficie y su velocidad es de aproximadamente 0.9 veces la velocidad transversal.
 - Este tipo de onda es la más favorable para la localización de fuentes de emisión acústica debido a que es no dispersiva.
 - Son como ondas de agua, excepto que el movimiento de las partículas son elípticas y no circulares.
 - Existe solo en la interfaz entre sólido y gas.
 - El espesor del material debe ser mayor de aproximadamente una longitud de onda.

- La mayor parte de la energía del sonido se concentra en la superficie

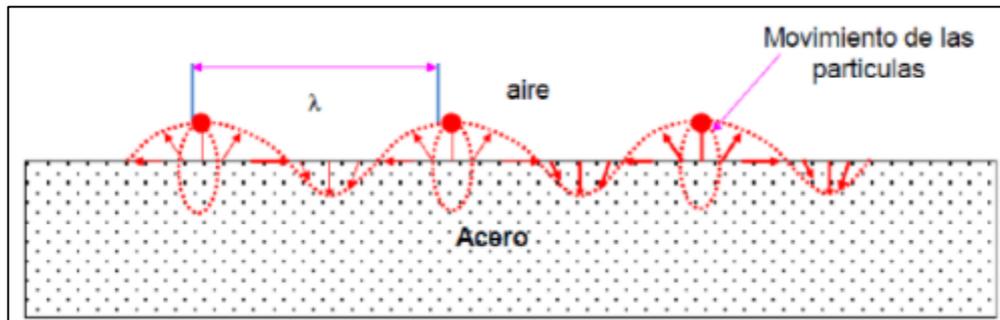


Figura 2.34 – Onda Rayleigh [2]

- Onda de Lamb (Fig. 2.35):
 - Se generan cuando la longitud de onda es comparable con el espesor del material debido a la reflexión de las ondas longitudinales y transversales en las dos placas de la superficie.
 - Se trata de una onda dispersiva pues la velocidad de propagación varía con la frecuencia.
 - La amplitud relativa de movimiento paralelas y perpendiculares a la placa depende en gran medida del modo y la frecuencia.
 - Se tienen dos tipos de ondas Lamb: simétricas y asimétricas.
 - La señal de salida del sensor de emisión acústica es la resultante de la suma de las ondas directas y reflejadas.

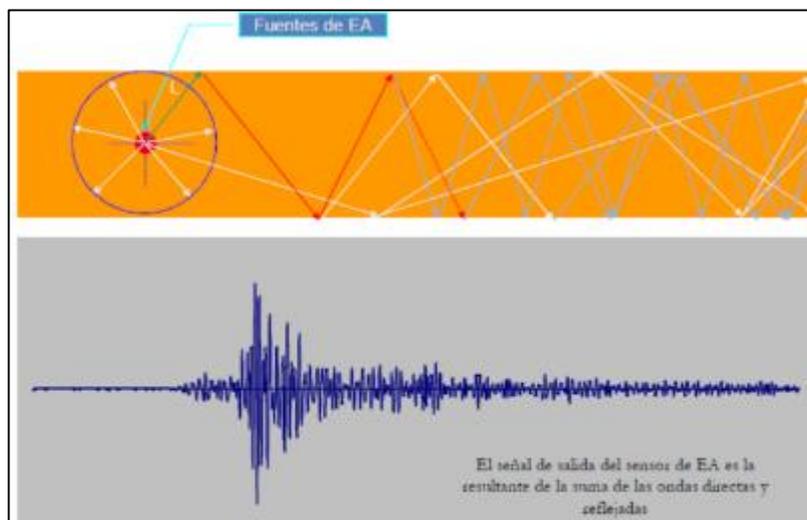


Figura 2.35 – Propagación de la Onda Lamb [2]

Las ondas de Lamb simétricas (Fig. 2.36) pueden existir en un número complejo de movimiento de las partículas.

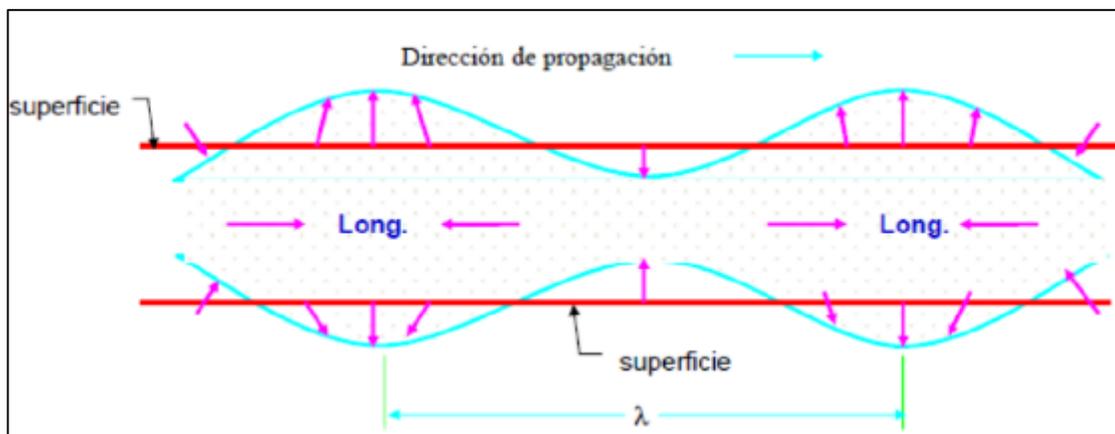


Figura 2.36 – Onda Lamb simétrica [2]

Para la generación de ondas de Lamb asimétricas (Fig. 2.37), el espesor del material debe ser una longitud de onda o menos. Posee una velocidad menor que la onda transversal pero es variable

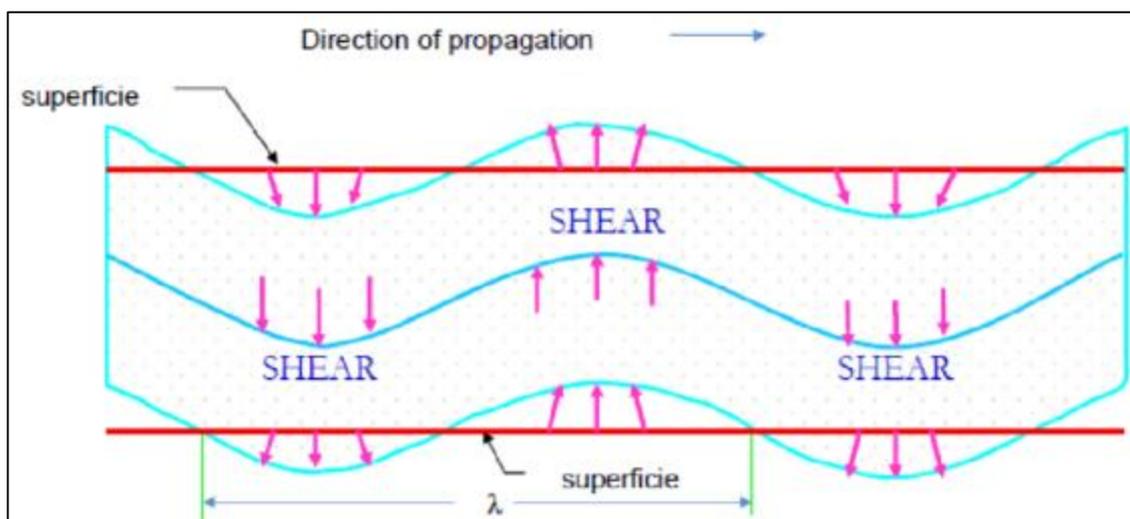


Figura 2.37 – Onda Lamb asimétrica [2]

Reflexión – Transmisión

La reflexión y transmisión de las ondas acústicas en una interface dependen de la impedancia acústica característica de los dos materiales.

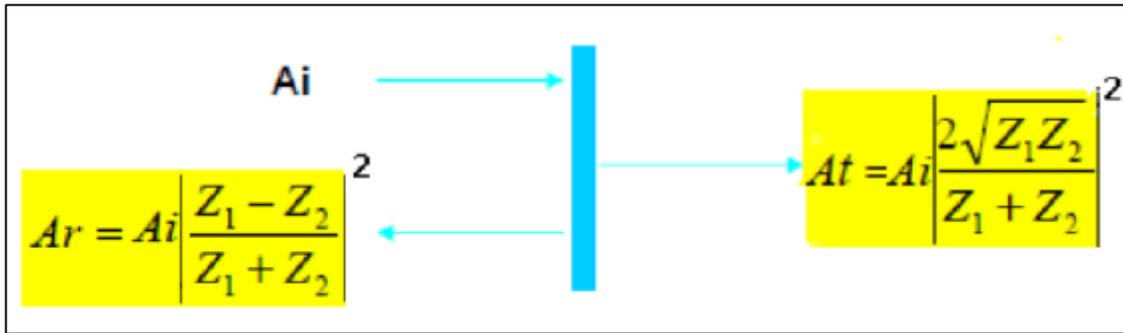


Figura 2.38 – Transmisión – Reflexión [2]

A_i = Amplitud de la onda incidente.

A_r = Amplitud de la onda reflejada.

A_t = Amplitud de la onda transmitida.

*Asumiendo que una onda longitudinal llega de manera oblicua a la interfaz con un ángulo de incidencia “ i ”:

Esta onda se refleja y se divide en dos tipos de ondas:

1. Longitudinal con un ángulo de reflexión R_L tales como $R_L = i$
2. Transversal con un ángulo de R_T , tal que $R_T > R_L$

El proceso de división se conoce como: MODO DE CONVERSIÓN.

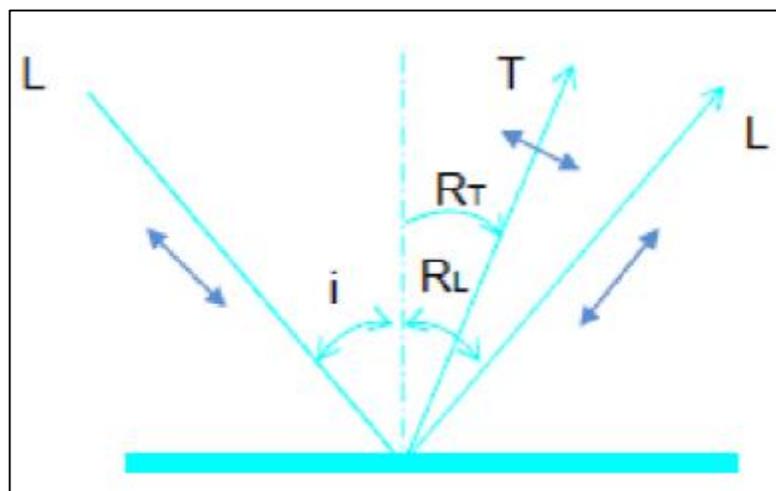


Figura 2.39 – Reflexión – Conversión [2]

Refracción

Tal como los fenómenos de reflexión, también hay un fenómeno de refracción con una división de la onda incidente en dos tipos de onda: Longitudinal y Transversal. Como en el caso anterior, el ángulo de refracción r_L para la onda L será siempre mayor que el ángulo r_T de la onda de refracción.

Cuando una onda plana golpea un interface, los ángulos de reflexión y transmisión se rigen por la “Ley de Snell”.

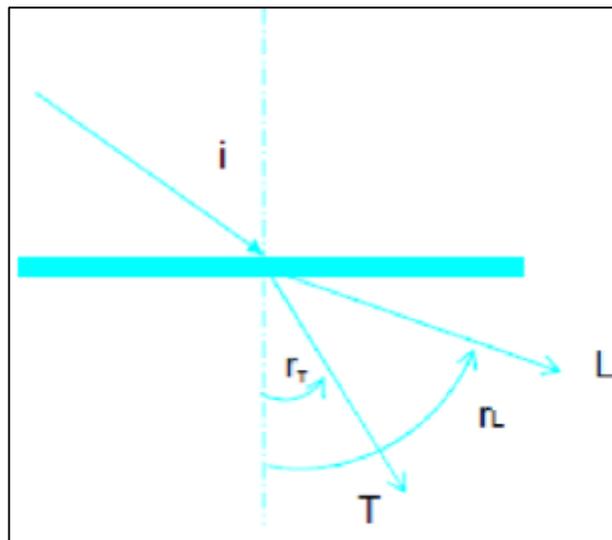


Figura 2.40 – Refracción [2]

Una onda acústica con un ángulo incidente que no sea perpendicular, se convertirá en otros modos de onda. El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

Comparación con otros métodos de ensayos no destructivos

- La energía que se detecta se libera desde el interior del material en lugar de ser suministrado por el método no destructivo tal como en radiografía o ultrasonido.
- Se trata de una inspección volumétrica la cual permite la evaluación de la integridad del componente.
- Permite el control de las zonas sin acceso a las pruebas no destructivas convencionales.

- Se puede aplicar con el sistema en operación.
- Permite un control en tiempo real de los componentes sometidos a carga severa evitando la posibilidad de una falla catastrófica.
- La emisión acústica es capaz de detectar procesos dinámicos asociados con la degradación de la integridad estructural.

2.1.2.5. Principio de Emisión Acústica

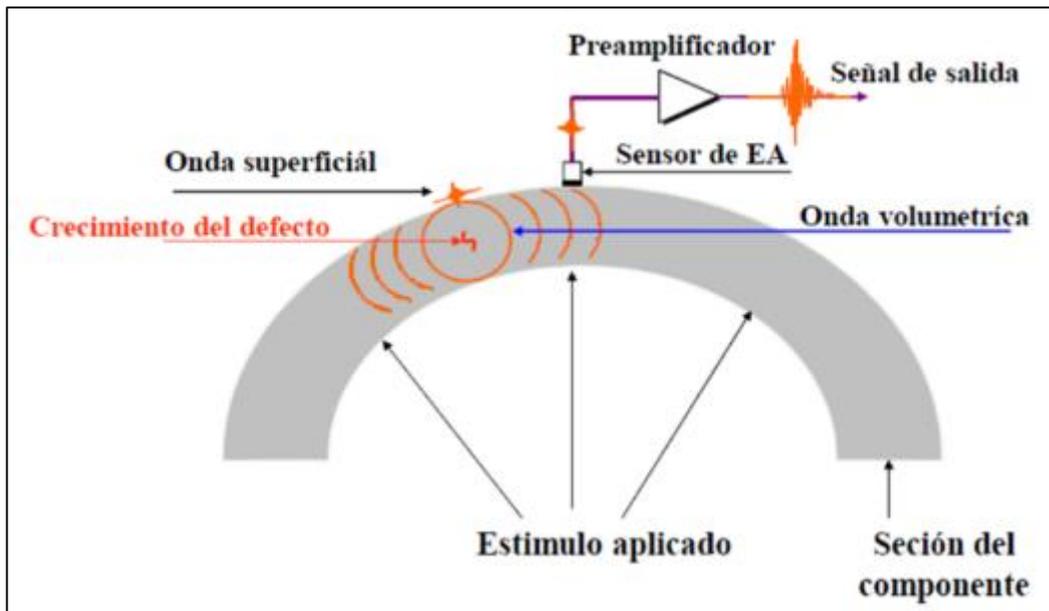


Figura 2.41 – Principio de EA [2]

El principio de esta técnica está basado en el efecto Kaiser el cual indica que si a un material se le aplica una carga mayor a la de trabajo, entonces este va a liberar energía en forma de ondas. La energía que es liberada en este proceso, puede ser captada por algunos sofisticados sensores y mediante un proceso (software) se analizan y se puede identificar si existe algún problema con el sistema que altere su funcionalidad.

El concepto básico de la emisión acústica consiste en aplicar un estímulo al material o estructura hasta localizar un punto de cedencia del material. Este punto de cedencia produce una onda de esfuerzo que se propaga elásticamente por la estructura. En algún punto llega a la superficie y estimula un sensor piezoeléctrico. Este sensor convierte la energía mecánica en una señal eléctrica que se amplifica para el proceso de los análisis.

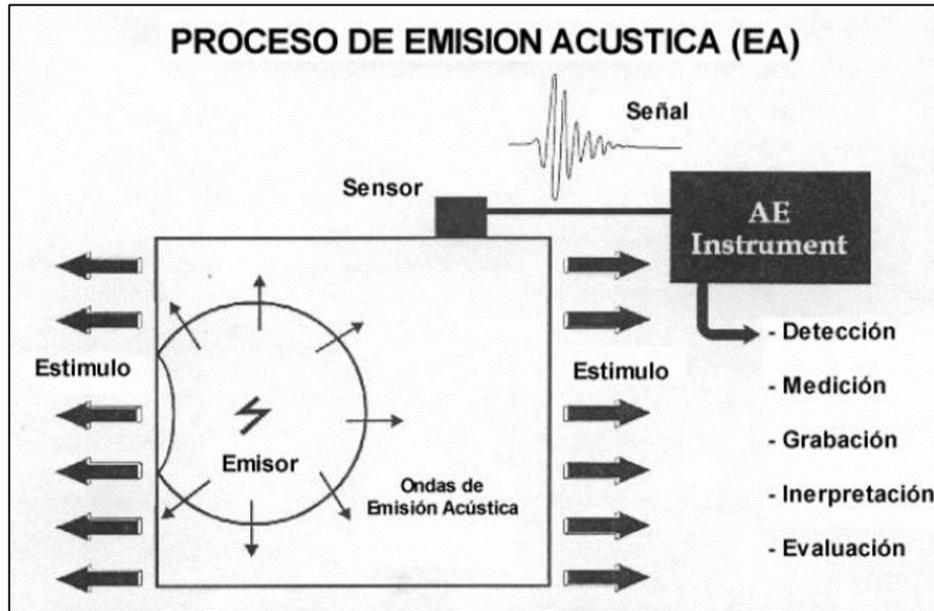


Figura 2.42 – Proceso de emisión acústica [5]

Efecto Kaiser

Una característica importante de emisión acústica es su respuesta irreversible en muchos metales. Esta característica de los metales se ha evidenciado en 1950 por Josef Kaiser de la que tomó el nombre y se define como la ausencia de detectar emisión acústica hasta que no se haya alcanzado previamente el nivel de esfuerzo.

La emisión acústica se crea por la formación o propagación, bajo una carga aplicada, de un “defecto” como una grieta, una avalancha de dislocaciones, descohesión de una interface, etc.

Si se desea producir nuevamente una emisión acústica a partir del mismo defecto, se deberá esforzar el sistema a un esfuerzo mayor al que se esforzó anteriormente para producir la emisión acústica. El nivel de la presencia del efecto Kaiser varía con los metales y puede desaparecer por completo para la aleación con características de recocido a temperatura ambiente.

Se ha demostrado que este efecto no es permanente y que el efecto Kaiser podría disminuir en función de la duración del intervalo entre la aplicación sucesiva de esfuerzo y a la temperatura a la que los materiales han sido sometidos, entre uno y el otro esfuerzo. Esta condición se cumplirá siempre que

los defectos no se alteren de forma irreversible durante la descarga, recarga o entre la descarga y recarga.

Es esencial que no haya nuevas fuente de emisión acústica generadas durante el ciclo de descarga – recarga. Estas condiciones son a menudo cumplidas y el efecto Kaiser se observa para muchos materiales. Los más graves errores de las condiciones requeridas para el efecto Kaiser surgen de procesos activados térmicamente.

Los efectos de los procesos activados térmicamente pueden ser acelerados por una temperatura elevada entre la descarga y ciclos de recarga.

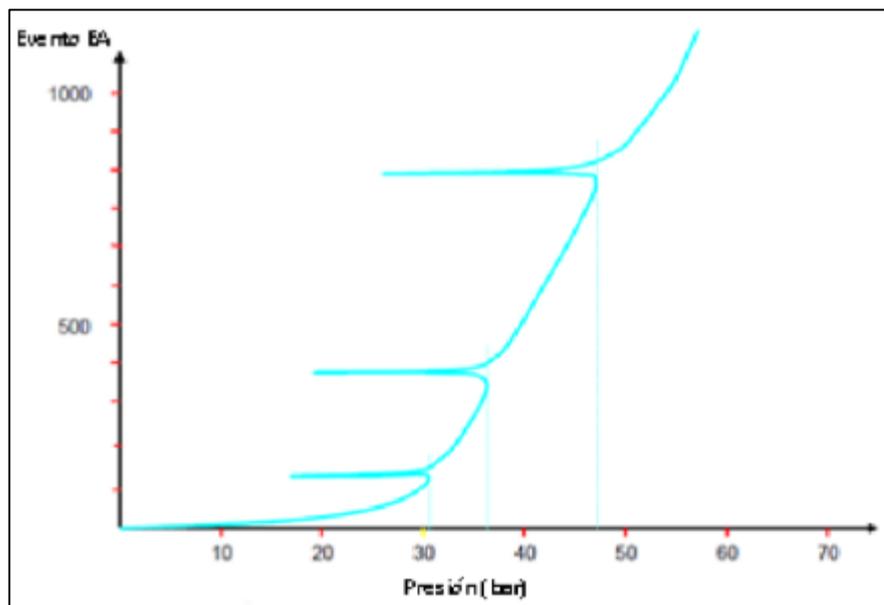


Figura 2.43 – Efecto Kaiser [2]

Equipamiento

Instrumentación de prueba de emisión acústica:

- Instrumentación.
- Acondicionamiento de señal.
- El ruido del sistema de emisión acústica.
- Los lazos de tierra.
- Acoplamiento electrostático.
- Acoplamiento magnético.

- Acondicionamiento de señal – Filtros.
- Acondicionamiento de señal – Amplificador de potencia.
- Convertidor de audio – Elementos.
- El digitalizador de señal de emisión acústica – Elementos.
- Las unidades de medida de amplificación.
- Procesamiento de señales.

La aplicación de la técnica de emisión acústica requiere un sistema capaz de adquirir, procesar, visualizar y almacenar los datos en tiempo real. El equipo de emisión acústica será elegido para garantizar la correcta aplicación del método, llevar a cabo una prueba completa de emisión acústica, incluso si se trata de una aplicación particular.

Dependiendo del tipo de aplicación y el tipo de información requerida, la instrumentación de emisión acústica puede ser de un solo canal y aumentar hasta un sistema multicanal con un sofisticado software de elaboración y presentación de los datos de emisión acústica. A medida que sea más complicada la instrumentación elegida, mayor será la necesidad de que el operador entienda mejor la funcionalidad del sistema de emisión acústica.

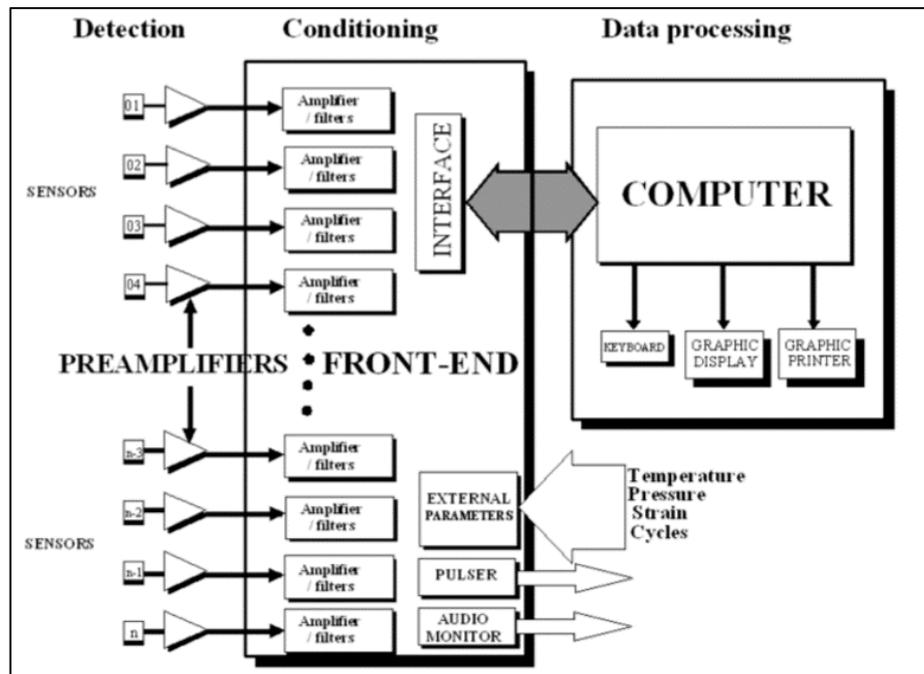


Figura 2.45 – Sistema completo de EA [5]

En la siguiente imagen podemos observar sistemas de emisión acústica y sólo se diferencian en la cantidad de canales.



Figura 2.46 – Equipos de EA – Multicanales (www.xcelinspection.com)

El operador de emisión acústica quien está utilizando un sofisticado sistema, debe tener conocimiento de la electrónica y del software para gestionar correctamente todas las características del equipo con la finalidad de configurar correctamente el equipo y producir una adecuada adquisición de los datos de emisión acústica durante la evaluación. En particular, deberán ser capaces de:

- Seleccionar la frecuencia adecuada para los sensores.
- Hacer la configuración de filtros y de ganancia.
- Hacer una correcta calibración.
- Hacer la configuración del registro de transitorios para la captura de forma de onda.
- Hacer la configuración de la adquisición de parámetros externos como por ejemplo, para adquirir presión, temperatura, ciclos o cualquier otra cantidad física significativa.
- Seleccionar la presentación de la pantalla adecuado para el análisis en tiempo real y otra característica importante en relación con la prueba.

La instrumentación para medir la emisión acústica es especializada y compleja. Los principales elementos son los siguientes:

- Sensor: un elemento piezoeléctrico en contacto con la estructura que convierte la onda elástica con un bajo nivel a una señal eléctrica de alta impedancia (Fig. 2.47).
- Preamplificador: un elemento para amplificar y filtrar la señal del sensor y convertirlo en una señal de baja impedancia para la transmisión de larga distancia mediante cables coaxiales.
- Amplificador: con una amplificación variable para permitir una amplificación total de hasta 100 dB.
- Procesamiento de señales, para caracterizar una señal de emisión acústica y obtener información sobre el pico de amplitud, duración, tiempo, energía, tiempo de retardo, parámetros externos, forma de onda de la señal de emisión acústica.
- Sistema multicanal: usado para adquirir señales de varios sensores para localizar las fuentes de emisión acústica durante un control en tiempo real.
- Convertidor de audio: las señales de emisión acústica se convierten a una de baja frecuencia para permitir al operador escuchar estas señales.
- Registrador de transitorios: este instrumento digitaliza en tiempo real la señal de emisión acústica y almacena los datos digitalizados en la memoria. La señal se reconstruye sucesivamente por medio de la memoria a una baja velocidad y se reproduce en un osciloscopio o un analizador de espectro. Este instrumento es particularmente útil para el análisis de forma de onda de las señales de emisión acústica.
- Circuitos de coincidencia o sensores maestros y de guardia: la discriminación espacial es una técnica para la aceptación de las señales de emisión acústica generadas dentro de un área específica. Otras técnicas utilizadas para la discriminación espacial son sensores de guardia.



Figura 2.47 – Sensores de EA (www.ndtingenieros.es)

Las señales son recibidas por un conector BNC y son enviados a través de un filtro para reducir la señal de baja frecuencia y eliminar cualquier posible fuente de interferencia o ruido. Después de la filtración, la señal se amplifica y el estado final regula la impedancia de salida a 50 ohmios para coincidir con la condición del cable coaxial hasta la sección de amplificación posterior.



Figura 2.48 – Cable Coaxial (www.muellerelectric.com)

Acoplamiento electrostático

Acercando el sensor y el preamplificador mediante una carcasa de metal y utilizando una conexión con conectores y cables blindados, no habrá contribución de ruido a partir del acoplamiento electrostático.

Acoplamiento magnético

Este tipo de acoplamiento no es fácilmente eliminable. Puede ser posible que se elimine este tipo de problemas mediante el posicionamiento de los cables de señal perpendicular al conductor que lleva el ruido para minimizar el acoplamiento.

Filtros

Hay cuatro tipos de filtros básicos:

- Paso bajo: rechaza las señales de alta frecuencia, y hacer pasar las señales de baja frecuencia.
- Paso alto: rechaza las señales de baja frecuencia, y hace pasar las señales de alta frecuencia.
- Ancho de banda: rechaza las señales sobre y por debajo de dos frecuencias establecidas, y hace pasar las señales de frecuencia dentro de ellas.
- Inverso de ancho de banda: rechaza las señales entre dos frecuencias establecidas y hace pasar las señales de arriba y las señales por debajo de esos límites.

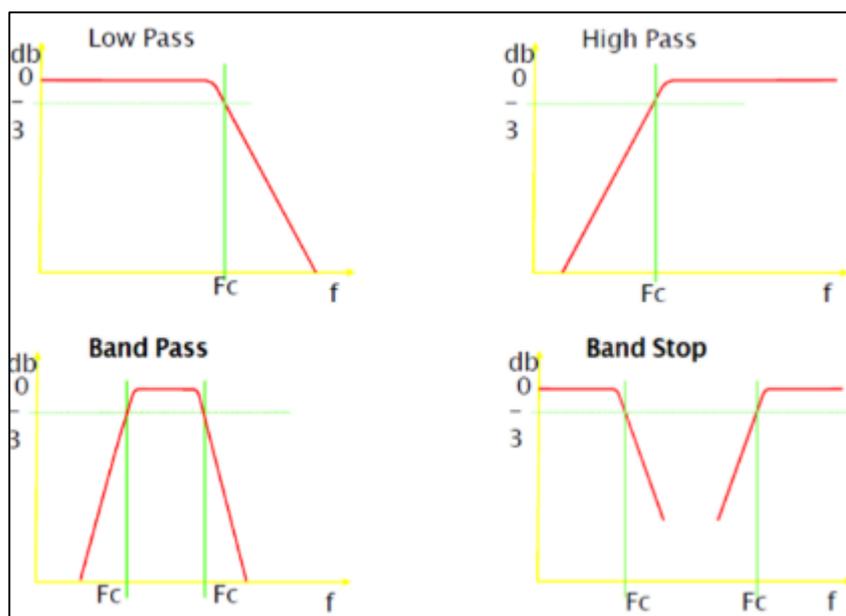


Figura 2.49 – Filtros [2]

Técnicas de Inspección y consideraciones

Técnicas de localización

La capacidad de localizar las fuentes de emisión acústica es una de las funciones más importantes del método. En algunos casos, el proceso puede ser muy simple, como el caso del primer hit detectado por el sensor, pero en otros casos más complejos, tales como la definición de las coordenadas espaciales de una fuente en una estructura grande.

Los métodos de localización pueden resumirse en el siguiente modo:

- Linear $P(x)$
- Planar $P(x,y)$
- Volumétrico $P(x,y,z)$

El algoritmo más utilizado para la localización de emisión acústica es el algoritmo de localización planar. La localización lineal es típica para el control de procesos donde la emisión acústica puede tener origen en una línea y no hay otras causas importantes de señales de emisión acústica que pueda existir fuera de esta línea. La ubicación volumétrica se utiliza solo en los casos que también la profundidad de la fuente de emisión acústica debe ser considerada.

Para todos los tipos de localización, lineal, plana y volumétrica, es necesario conocer los tiempos de retraso de llegada de la señal de emisión acústica en diferentes sensores.

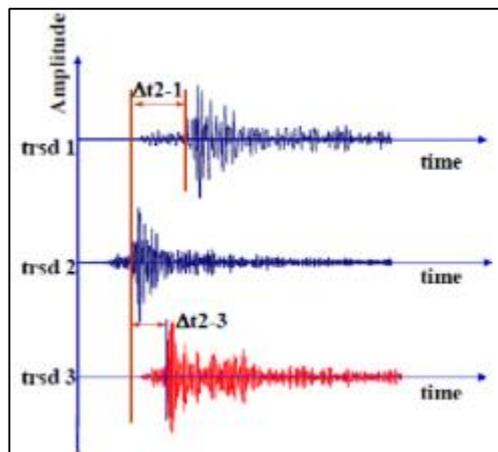


Figura 2.50 – Métodos de Localización [5]

Consideraciones

Para realizar la emisión acústica, se requiere las siguientes facilidades:

- Alimentación eléctrica 110/220v (estable).
- Protección catódica desconectada.
- Válvulas cerradas.
- Instrumentación desconectada.
- En caso de ser un tanque de almacenamiento, tener un nivel superior al 75% de altura máxima.
- Iluminación del área externa.
- Disponibilidad de deshabilitar plantas eléctricas, máquinas de soldar, equipos rotativos, etc. Que puedan interferir con la inspección.
- Historial de reparaciones, inspecciones y planos.
- Protección contra corrientes de viento con partículas (toldos, mantas, etc).

Calibración del equipo

Calibración de los sensores

En la instrumentación de emisión acústica, el sensor es el elemento más susceptible de cambios en el tiempo debido a efectos ambientales, temperatura, etc.

La caracterización de la respuesta del sensor, la sensibilidad y la respuesta en frecuencia, se hacen por primera vez por el fabricante y debe ser calibrado sucesivamente durante la vida operativa.

El objetivo específico de la verificación de sensores incluye:

- Verificar la respuesta de la estabilidad en el tiempo.
- Verificar el sensor después de caídas accidentales.
- Comparación de los sensores de un sistema multicanal para asegurar que las respuestas son adecuadamente comparables.
- Verificar la respuesta después de la exposición a los ciclos térmicos o ambiente hostil.

Procedimiento especificado en la norma EN- 1330-9

Una onda acústica repetible se puede generar rompiendo con cuidado, una mina de lápiz de dureza 2H y diámetro 0.3 mm, contra un bloque de prueba. La mina del lápiz se rompe por medio de una guía especial de teflón que se monta para ayudar a romper la punta siempre con el mismo ángulo y una longitud de entre 2 y 3 mm.



Figura 2.51 – Punta de Lápiz con teflón [2]

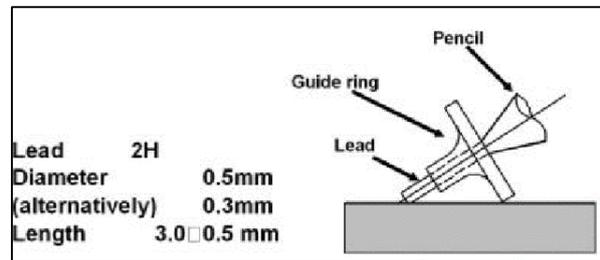


Figura 2.52 – Esquema de ruptura [5]

La rotura frágil de una mina de lápiz libera una tensión repentina en la superficie del bloque de calibración y genera ondas acústicas que se propaga hasta el sensor. La señal de salida del sensor es capturada, digitalizada y analizada con un analizador de espectros de FFT y presentada gráficamente.

Para cada sensor es importante hacer una tabla de control que incluye los siguientes elementos:

- Identificación del sensor.
- Identificación del operario.
- Fecha de la verificación.
- Método usado.
- Características de la fuente y su posición referida al sensor.
- Los medios de transmisión.
- Tipo de acoplante.
- Identificación de cada equipo utilizado.

Un material acoplante es un material que ayuda a la transmisión de la onda acústica entre dos superficies. Este establece una interface acústica entre el sensor de emisión acústica y el material durante la prueba. Por tal razón es necesario aplicar un material acoplante en los sensores, esta capa debe ser la

más delgada posible. Una vez que el acoplante ha sido colocado, se procede a la fijación del sensor.

Los sistemas más utilizados para la fijación de los sensores son los siguientes:

- Resortes de fuerza constante.
- Magnético – para temperaturas bajas y altas.
- Guía de ondas.



Figura 2.53 – Sensor con soporte magnético

2.1.2.6. Procedimiento de Inspección

El procedimiento de inspección dependerá del tipo de componente que está siendo evaluado (tube trailers, tanques de almacenamiento, estructuras, transformadores, etc). En este caso solo se presentará el procedimiento de inspección de un tube-trailer.

Volumen de los cilindros: se preparan los recipientes para que cumpla las siguientes condiciones mínimas, que son las siguientes:

1. Nivel de presión: Un inicio del 50% máximo del nivel mínimo de presión de operación de trabajo. Con esto se logra tener un récord de subida de presión, que permita estímulos de respuesta donde se encuentren las discontinuidades, este será el inicio para poder comenzar con la subida de presión después de tener la configuración completa, tanto en el recipiente como en el software AET.

2. Aislamiento del tube-trailer: Deberá estar ubicado cercano a la mesa de trabajo (mesa de carga) y sin tube-trailers en carga a los alrededores. Esto permite que cualquier ruido externo, al cual la prueba es muy sensible, sea minimizado y se obtengan resultados veraces.
3. Inspección previa: Empleando la técnica de ultrasonido aerotransportado e inspección visual se descarta la existencia de fuentes de ruido, los cuales introducen indicaciones falsas en los resultados.
4. De acuerdo a los estándares: se procede a la colocación de sensores mediante un sujetador magnético y grasa siliconada (Fig. 2.53) en forma simétrica. La cantidad de sensores a utilizar, dependerá del volumen de cada recipiente, con un mínimo de 3 sensores por cilindro. Toda esta distribución de sensores es llevada al software AET.
5. Se verifica el acoplamiento de los sensores mediante la técnica PLB con al menos tres roturas a distancia no mayor a 100 mm del centro del transductor, empleando grafito de 0.5 mm con dureza 2H. Se repite para todos los sensores. Con esto se verifica que el tiempo de llegada del estímulo desde la zona de ruptura hasta el sensor sea el mismo, garantizando que los sensores tengan un buen acople.
6. Se elabora curva de atenuación con roturas de grafito de 0.5 mm con 2H de dureza (al menos 4 roturas), tres repeticiones a distancias de 1 pie entre cada zona de rotura. La curva de atenuación es realizada por el software del sistema, el cual capta la intensidad con la cual está llegando los impulsos dados por la rotura. A medida que vamos alejando la rotura, la intensidad del estímulo disminuye lo cual permite al software calcular la atenuación del sonido en el material.
7. Se calcula la velocidad de la onda mediante roturas de grafito de 0.3 mm con 2H de dureza en diversas posiciones. Teniendo en cuenta que la velocidad del sonido es constante (V), conociendo el tiempo de llegada, dato que ofrece el software, desde la zona de rotura hacia el sensor (T) y

conociendo la distancia (D) entre la zona de rotura y el sensor, se puede calcular la velocidad del sonido ($D = V * T$)

8. Ajuste de los parámetros del procesador. HDT, EDT, ELT, HLT, Threshold (35 dB). Esto permite tener la mejor relación señal-ruido por lo que nuestra probabilidad de detección aumenta significativamente.
9. Registro de actividad, se iniciarán los registros al empezar con la subida de presión (la más lenta posible), hasta el 110% de la presión de trabajo, luego de alcanzar esta presión; se procede a seguir con la adquisición por una hora adicional. Parar y guardar la data.
10. Estimación de Severidad de la emisión acústica, de acuerdo a las prácticas desarrolladas en los procedimientos de inspección, se emplean los siguientes criterios para la estimación de la severidad de la emisión acústica y su relación con la condición:
 - Hits (H): Número de Hits por canal, análisis de la distribución de Amplitud vs Duración.
 - Eventos (Ev): Escala de crecimiento de eventos, análisis y parámetro de presión.
 - Energía (En): Escala de crecimiento de energía absoluta y parámetro de presión.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN

Después de haber definido todos los conceptos, con el apoyo de los ensayos realizados y ciertas normas que nos dan recomendaciones, es posible realizar un procedimiento de inspección adecuado y completo, el cual podrá ser ejecutado por personal que tenga conocimientos y práctica en el tema.

Para la presente tesina, solo se tomará en cuenta las aplicaciones para la norma API-510 según el cumplimiento de inspecciones controladas por OSINERGMIN, que se encuentran en el Perú. Discriminando con respecto a los tipos de recipientes que lleva cada tube-trailer se seleccionará el que tenga

mayor frecuencia de aplicación. Con esta decisión podremos realizar tan solo un procedimiento de inspección el cual tendría un amplio uso en el área de control de calidad de las industrias de transporte de Gas Natural Comprimido (GNC)

Inicialmente, es conveniente definir cuál es la cantidad de tube-trailers con que el Perú cuenta para el transporte de GNC. Para esto nos guiamos de la siguiente tabla:

No	RAZÓN SOCIAL	Distrito	Provincia	Depart.	Placa de Semi-remolque
1	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	ZQ-3388
2	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	ZQ-3240
3	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	ZQ-2508
4	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	ZQ-3891
5	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	ZQ-3655
6	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	ZQ-3656
7	Transportes Guapo Lindo S.R.L	Santiago de Surco	Lima	Lima	A1R-983
8	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	A2G-986
9	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	A1S-976
10	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	A1S-975
11	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	A3Z-977
12	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	A3Z-970
13	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	A4F-971
14	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	A4F-972
15	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	A4D-990
16	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	A4R-976
17	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	La Molina	Lima	Lima	ZI-8077
18	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	A5N-999
19	Grifos Espinoza S.A.	Santiago de Surco	Lima	Lima	A6E-974
20	Grifos Espinoza S.A.	Santiago de Surco	Lima	Lima	B1A-988
21	Grifos Espinoza S.A.	Santiago de Surco	Lima	Lima	B1L-999
22	Grifos Espinoza S.A.	Santiago de Surco	Lima	Lima	B1J-975
23	Servosa logística S.A.C.	Callao	Lima	Lima	A1I-991
24	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	AOR-988
25	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	AOR-989
26	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	B2S-985
27	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	B4G-999
28	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	B4G-983
29	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	B4J-979
30	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	B4M-993
31	Grifos Espinoza S.A.	Santiago de Surco	Lima	Lima	B4R-983
32	Servosa logística S.A.C.	Santiago de Surco	Lima	Lima	B1R-970

33	Grifos Espinoza S.A.	Santiago de Surco	Lima	Lima	B4E-979
34	Grifos Espinoza S.A.	Santiago de Surco	Lima	Lima	B1A-989
35	Neogas Perú S.A.C.	Santiago de Surco	Lima	Lima	B4K-990
36	Neogas Perú S.A.C.	Santiago de Surco	Lima	Lima	B5K-998
37	Neogas Perú S.A.C.	Santiago de Surco	Lima	Lima	B5K-999
38	Neogas Perú S.A.C.	Santiago de Surco	Lima	Lima	B4C-975
39	Neogas Perú S.A.C.	Santiago de Surco	Lima	Lima	B5L-971
40	Neogas Perú S.A.C.	Santiago de Surco	Lima	Lima	B5J-994
41	Neogas Perú S.A.C.	Santiago de Surco	Lima	Lima	B6N-979
42	Neogas Perú S.A.C.	Santiago de Surco	Lima	Lima	B6X-976
43	Neogas Perú S.A.C.	Santiago de Surco	Lima	Lima	B7P-984
44	Neogas Perú S.A.C.	Santiago de Surco	Lima	Lima	B7P-974
45	Neogas Perú S.A.C.	Santiago de Surco	Lima	Lima	B7N-981
46	Neogas Perú S.A.C.	Santiago de Surco	Lima	Lima	B7Q-995
47	Neogas Perú S.A.C.	Santiago de Surco	Lima	Lima	B6B-984
48	Grifos Espinoza S.A.	Santiago de Surco	Lima	Lima	B9W-972
49	Grifos Espinoza S.A.	Santiago de Surco	Lima	Lima	B9W-971
50	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	La Molina	Lima	Lima	ZI-8105
51	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	B9B-979
52	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	B8Z-995
53	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	C1B-996
54	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	BOJ-991
55	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	BOI-988
56	GTM del Peru S.R.L.	Santa Anita	Lima	Lima	B0O-992
57	GTM del Peru S.R.L.	Santa Anita	Lima	Lima	B0N-972
58	GTM del Peru S.R.L.	Santa Anita	Lima	Lima	B0K-996
59	GTM del Peru S.R.L.	Santa Anita	Lima	Lima	B0N-974
60	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	B9J-987
61	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	T2T-991
62	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	T2J-986
63	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	T1N-998
64	Estación San Antonio S.A.C	San Isidro	Lima	Lima	Z2F-974
65	Estación San Antonio S.A.C	San Isidro	Lima	Lima	Z2F-975
66	GTM del Peru S.R.L.	Santa Anita	Lima	Lima	B1J-984
67	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	La Molina	Lima	Lima	ZQ-3606
68	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	La Molina	Lima	Lima	ZQ-3607
69	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	La Molina	Lima	Lima	ZQ-3608
70	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	B9J-986
71	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	B0M-995
72	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	La Molina	Lima	Lima	B9Q-994
73	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	A5M-982
74	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	A5L-989
75	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	B0M-996
76	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	A5M-981

77	Energigas S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	C7T-979
78	Energigas S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	C1K-996
79	Energigas S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	C1L-976
80	Energigas S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	C1N-983
81	Energigas S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	C6L-991
82	Energigas S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	C7R-976
83	Energigas S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	C7R-977
84	Energigas S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	C6L-992
85	Estación el Óvalo E.I.R.L	Ica	Ica	Ica	AOK-985
86	Grifos Espinoza S.A.	Santiago de Surco	Lima	Lima	D6O-973
87	Grifos Espinoza S.A.	Santiago de Surco	Lima	Lima	D6O-972
88	Estacion Finlandia E.I.R.L.	Ica	Ica	Ica	D3N-992
89	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	La Molina	Lima	Lima	B3C-974
90	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	La Molina	Lima	Lima	B3C-972
91	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	La Molina	Lima	Lima	B3C-975
92	Energigas S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	D6L-990
93	Energigas S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	D6M-981
94	Gasocentro & Autoservicios Real S.A.C.	San Juan de Lurigancho	Lima	Lima	D6A-985
95	Gasocentro & Autoservicios Real S.A.C.	San Juan de Lurigancho	Lima	Lima	D6A-986
96	GLP Granel SAC	Miraflores	Lima	Lima	C2U-976
97	GLP Granel SAC	Miraflores	Lima	Lima	C2U-980
98	GLP Granel SAC	Miraflores	Lima	Lima	C2U-979
99	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	C6U-994
100	Energigas S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	D5H-992
101	Energigas S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	D6X-970
102	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	C6S-994
103	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	T0Q-975
104	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	D9A-986
105	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	D9A-991
106	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	D9A-976
107	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	D3R-981
108	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	D3A-975
109	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	D3Q-973
110	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	D9V-986
111	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	D2T-984
112	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	D9V-985
113	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	D9B-985
114	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	D9U-999
115	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	D9V-971
116	George Kazakos Patsias	San Isidro	Lima	Lima	D9B-981
117	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	D3A-972
118	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	D2T-985
119	George Kazakos Patsias	San Isidro	Lima	Lima	FIR-971
120	Gas Peruana Corporativa S.A.C.	Lurigancho	Lima	Lima	F1M-984

121	Gas Peruana Corporativa S.A.C.	Lurigancho	Lima	Lima	F1N-976
122	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	D3L-978
123	GNC Energia Perú S.A.	Lurin	Lima	Lima	COJ-985
124	GNC Energia Perú S.A.	Lurin	Lima	Lima	D1B-977
125	Grifos Sagitario S.R.L.	Huacho	Huaura	Lima	F1M-992
126	Grifos Sagitario S.R.L.	Huacho	Huaura	Lima	F1M-991
127	Plusgas GNC S.A.C.	San Martin de Porres	Lima	Lima	F2O-973
128	Plusgas GNC S.A.C.	San Martin de Porres	Lima	Lima	F2S-970
129	Plusgas GNC S.A.C.	San Martin de Porres	Lima	Lima	F2M-995
130	Garodi S.R.L.	San Antonio	Huachochiri	Lima	F1M-982
131	AJ Group Invergas S.A.C.	Santa Anita	Lima	Lima	D6S-997
132	AJ Group Invergas S.A.C.	Santa Anita	Lima	Lima	D6U-990
133	AJ Group Invergas S.A.C.	Santa Anita	Lima	Lima	D6T-975
134	AJ Group Invergas S.A.C.	Santa Anita	Lima	Lima	D6U-992
135	AJ Group Invergas S.A.C.	Santa Anita	Lima	Lima	D6U-991
136	San Felipe Expres's S.A.	Santa Anita	Lima	Lima	F2C-985
137	San Felipe Expres's S.A.	Santa Anita	Lima	Lima	F2C-984
138	Emp. de Transp. y Serv. Virgen de la Puerta S.A.	Puente Piedra	Lima	Lima	D6V-973
139	Emp. de Transp. y Serv. Virgen de la Puerta S.A.	Puente Piedra	Lima	Lima	F9S-974
140	Emp. de Transp. y Serv. Virgen de la Puerta S.A.	Puente Piedra	Lima	Lima	D6V-974
141	Emp. de Transp. y Serv. Virgen de la Puerta S.A.	Puente Piedra	Lima	Lima	D6V-975
142	Emp. de Transp. y Serv. Virgen de la Puerta S.A.	Puente Piedra	Lima	Lima	D6V-972
143	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	F3Y-975
144	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	F2O-988
145	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	F2O-989
146	Servicentro Aguki S.A.	Callao	Lima	Lima	B7W-895
147	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	C0I-972
148	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	C6Z-997
149	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	C1M-997
150	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	C5I-993
151	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	C6E-980
152	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	C6M-978
153	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	C2P-989
154	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	C2P-971
155	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	C2P-990
156	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	C2R-979
157	Transporte Azañero S.A.C.	Los Olivos	Lima	Lima	F4K-995
158	Transporte Azañero S.A.C.	Los Olivos	Lima	Lima	F4J-984
159	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	La Molina	Lima	Lima	A1I-998
160	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	B0M-997
161	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	B0M-994
162	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	C2D-976
163	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	T7J-994
164	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	T7J-998

165	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	La Molina	Lima	Lima	A1I-997
166	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	A6C-980
167	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	A6C-979
168	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	C6T-980
169	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	C6T-976
170	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	La Molina	Lima	Lima	B3B-971
171	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	La Molina	Lima	Lima	B3C-970
172	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	B7G-996
173	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	B9L-974
174	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	T8K-994
175	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	T8L-975
176	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	T8M-980
177	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	T9H-989
178	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	T9H-998
179	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	T9H-999
180	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	T9I-981
181	Especialistas en Gas del Perú S.A.C	Santiago de Surco	Lima	Lima	T8K-997
182	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	A1I-994
183	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	A1J-976
184	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	A1I-992
185	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	A1I-993
186	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	A1I-995
187	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	A1J-972
188	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	B1Q-989
189	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	D6L-974
190	Energigas S.A.C.	Lima	Lima	Lima	F4F-986
191	Energigas S.A.C.	Lima	Lima	Lima	F4F-988
192	Energigas S.A.C.	Lima	Lima	Lima	F4F-987
193	Energigas S.A.C.	Lima	Lima	Lima	F4F-985
194	Energigas S.A.C.	Lima	Lima	Lima	F4F-989
195	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	D8F-988
196	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	D8G-997
197	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	D3A-978
198	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	F4D-994
199	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	B9O-992
200	Neogas Perú S.A.C.	San Isidro	Lima	Lima	D8N-974
201	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	D6K-988
202	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	D5P-983
203	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	D5P-997
204	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	D8M-980
205	Especialistas en Gas del Perú S.A.C.	Santiago de Surco	Lima	Lima	F6U-981
206	Especialistas en Gas del Perú S.A.C.	Santiago de Surco	Lima	Lima	F6U-982
207	Especialistas en Gas del Perú S.A.C.	Santiago de Surco	Lima	Lima	F6Y-972
208	Grifos Espinoza S.A.	Santiago de Surco	Lima	Lima	F4V-987

209	Grifos Espinoza S.A.	Santiago de Surco	Lima	Lima	F4V-994
210	Grifos Espinoza S.A.	Santiago de Surco	Lima	Lima	F4W-979
211	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	C1M-996
212	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	C7A-970
213	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	C2R-978
214	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	C0I-973
215	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	C6Z-998
216	Neogas Perú S.A.C.	Lurin	Lima	Lima	C6Z-999
217	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	B1R-973
218	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	C6J-975
219	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	D5O-977
220	Gasocentro Lima Sur S.A.C.	Magdalena del Mar	Lima	Lima	F5E-975
221	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	A1J-973
222	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	A1I-996
223	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	A1I-990
224	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	B1Q-999
225	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	B1R-972
226	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	B1Q-998
227	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	C5B-974
228	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	C5K-984
229	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	C6J-977
230	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	C6J-976
231	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	C6J-978
232	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	D5O-990
233	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	D5O-998
234	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	D5Q-977
235	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	D5P-996
236	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	D5P-998
237	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	D5Q-989
238	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	F3L-989
239	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	F3M-988
240	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	F3L-990
241	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	F3L-991
242	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	F3L-988
243	Gas Comprimido del Perú S.A.	San Isidro	Lima	Lima	F5U-974
244	Corporación Trans Belo Horizonte S.A.	Pilcomayo	Pilcomayo	Junin	W3I-978
245	Corporación Trans Belo Horizonte S.A.	Pilcomayo	Pilcomayo	Junin	W3G-993

Tabla 2.7 – Unidades Tube-Trailers (Perú)

Según los datos expuestos en la tabla anterior se puede observar que la mayor concentración de unidades se encuentra en Lima.

El procedimiento de inspección a realizar será en base a una unidad Tube-Trailer general.

2.3.1. Procedimiento General de Inspección

a. Objetivo:

Emisiones Acústicas.- Determinar el estado e integridad de recipientes a presión sin costura. Monitorear de los cambios en la condición de los recipientes sometidos a carga y descarga cíclica en busca de defectos en desarrollo.

b. Ubicación:

El presente procedimiento estará referido a la Inspección por Emisiones Acústicas (AET) de los cilindros que almacenan gases.

c. Alcance:

Sólo personal calificado END ASNT-TC -1A, Nivel II o Nivel III, podrá - interpretar los resultados de este método.

- **Ingeniero Profesional (P.E) capaz de monitorear el proceso**, registrar los datos, evaluar las variables en el campo.
- **Técnico certificado END ASNT-TC -1A**, Nivel II en las técnicas, UT, VT.

d. Referencias:

La presente inspección se basa en los estándares y códigos siguientes:

- ASTM E1419-02b, Standard test method for Examination of Seamless, Gas Filled, Pressure Vessel Using Acoustic Emission. (y referencias).
- CODIGO ASME, Sección V, Artículo 12.

e. Procedimientos de inspección y evaluación de severidad AD-AET

- Definiciones:
 - Emisión Acústica: Ondas elásticas generadas por la liberación rápida de energía desde la fuente en el material.

- Evento AE (Software): Se trata de un grupo de uno o más Hits, detectados en secuencia que se procesan conjuntamente con el propósito de localizar la fuente.
- Hit de AE: La detección y medición de la señal de emisión acústica en un canal.
- Amplitud: El voltaje pico mayor de la señal de onda de emisión acústica, expresado en decibelios.
- Efecto Káiser: Ausencia de emisión acústica detectable a un nivel fijo de sensibilidad, hasta el momento en que la carga aplicada precedentemente viene superada.
- Actividad AE: Una medida de la cantidad de emisión, usualmente se trata del conteo de energía acumulada, conteo de eventos, o las tasa de cambio en estas cantidades.
- Intensidad AE: Medida del tamaño o magnitud de las señales detectadas tal como la amplitud promedio, energía media de emisión acústica o conteo promedio.
- Atenuación: Pérdida de amplitud con la distancia en la medida que la onda por la estructura sometida a la prueba.
- Ruido: Indicaciones no relevantes, señales producidas por causas distintas a la emisión acústica o por fuentes de emisión acústica que no sean relevantes a los efectos del test.
- Localización: Relativo al uso de múltiples sensores para determinar las posiciones relativas de las fuentes de emisión acústica.
- Sensor AE: Dispositivo que contiene un transductor que convierte el movimiento de emisión acústica en voltaje eléctrico.
- Discontinuidad: No cumplimiento de las variables de diseño para la continuidad operativa de los elementos estructurales.
- Defectos: Discontinuidad no permisible.

f. Ejecución:

- Equipo y Herramientas:
 - Equipo CTRL detector de fugas por Ultrasonido.

- Equipo de emisión acústica, Marca Physical Acoustic Corporation (PAC) Modelo DISP 24 o similar.
 - Transductores: Resonantes Intrínsecamente seguros Marca PAC R15I Frecuencia 150 Khz.
 - Transductor de Presión.
 - PLB, grafito de calibración 0.3mm, 2H
 - Grasa siliconada.
 - Cinta Adhesiva Industrial.
- Limpieza de las superficies: Limpiar ligeramente la superficie del cilindro para permitir el mejor contacto del acoplante con el sensor.

g. Procedimiento:

1. De acuerdo a los estándares se procede a la colocación de los sensores a distancias no menores de 14 pulgadas de los extremos de los cilindros, para ellos se emplea grasa siliconada. Se procede tal como está recomendado en estándar E650.
2. Aislar en lo posible los recipientes de manera de evitar contacto con superficies adyacentes u otros recipientes.
3. Se verifica el acoplamiento de los sensores mediante la técnica PLB con al menos tres roturas a distancia no mayor de 100 mm del centro del transductor, empleando grafito 0.5 mm dureza 2H. Se repite para todos los sensores.
4. Se elabora la curva de atenuación con roturas de grafito 0.5 mm 2H a distancias (al menos 4), tres repeticiones a distancias de 3 pies.
5. Se calcula la velocidad de la onda en el material mediante roturas de grafito 0.5 mm 2H en diversas posiciones.
6. Ajuste de los parámetros del procesador. HDT, EDT, ELT, HLT, Threshold (32 dB).

7. Conectar manguera de llenado y transductor de presión (la medición de presión deberá tener como máximo error +- 2% de la presión máxima de llenado). Elimine cualquier fuga en las conexiones.
8. Verificación de Fugas: Empleo de instrumento de ultrasonido aerotransportado CTRL UL101, verificación previo y durante el proceso de llenado. En caso de detectarse fuga el cilindro deberá desincorporarse y retirarse de la corrida.
9. Registro de actividad durante el llenado: No deberá superarse la velocidad de 500 PSI por Hora en el llenado de los cilindros. Se inician los registros al alcanzarse el 50% de la presión máxima de llenado.
10. Presión Máxima: La presión de llenado será al menos 10% superior a la presión máxima recibida por el recipiente en los últimos 6 meses.
11. Estimación de Severidad de la Emisión Acústica: De acuerdo a las prácticas desarrolladas en los procedimientos AD-AET de inspección de Tube-Trailers se emplean los siguientes criterios para la estimación de la severidad de la emisión acústica y su relación con la condición:
 - HITS (H): Número de Hits por canal, Análisis de la distribución de Amplitud vs Duración.
 - EVENTOS (Ev): Escala de crecimiento de eventos análisis y parámetro de presión.
 - ENERGIA (En): Escala de Crecimiento de Energía Absoluta y parámetro de Presión.
 - PARAMETRO (P): Evaluación de emisión en base a tasa de crecimiento del parámetro de presión.
12. Análisis y evaluación de la condición de los cilindros, incluye criterio de aceptación.
 - Incremento de la actividad: Incremento de Intensidad en hits durante el sostenimiento de presión. Incremento Amplitud para eventos localizados en zona con mayor actividad. Desviaciones

requerirá evaluación complementaria por un método END en las áreas.

- Evaluación a través de correlación con históricos de AET en cilindros similares.
- Factor de Localización: (Según ASTM-1419) cada ubicación entre sensores que registre 5 o más eventos en un rango de longitud de cilindro de 8 pulgadas de distancia axial deberá evaluarse con ultrasonido angular (Defectología).
- Energía Absoluta: Evaluación de la correlación entre la energía liberada y cargas. Evaluación a través de correlación con históricos de AET en cilindros similares.

h. Responsables

- Ingeniero Inspector Nivel II AET: Responsable pleno de las actividades descritas, de la revisión de informe y diagnóstico de los datos registrados.
- Ingeniero Inspector Nivel I: Responsable del registro de la data, configuración correcta del equipo y control de la prueba.

CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto consiste en:

3.1.1. ETAPA 1:

- Realizar encuestas a la comunidad universitaria y en diferentes empresas con áreas aplicables a nuestra investigación.
- Fijando el interés por el tema.

3.1.2. ETAPA 2:

- De acuerdo a los resultados, identificar empresas en el país que cuenten con la implementación de estas técnicas o brinden servicios relacionados; para disponer de expositores, los cuales nos cuenten sus experiencias en cuanto a la Técnica de Inspección por Emisiones Acústicas.

3.1.3. ETAPA 3 (FINAL):

- Con respecto a lo logrado en las etapas 1 y 2, proponer un programa de capacitación que se lleve a cabo en las instalaciones de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (UNTELS). Para así poder compartir mayor información con las personas y/o empresas interesadas.

CONCLUSIONES

Principal:

- ✓ La Inspección por Emisiones Acústicas, va directamente dirigido a las posibilidades nuevas que ofrece el mundo para obtener mejoras, tanto en calidad, tiempo y economía; así que, como respuesta a nuestro interrogatorio del éxito o rechazo de la introducción de esta técnica, resulta un tanto favorable.

Secundarias:

- ✓ La difusión de los procedimientos técnicos, harán más interesante el investigar más, a cerca de nuevas tecnologías, tanto de sus ventajas como de sus desventajas.
- ✓ Se determina que este tipo de técnica de inspección es muy interesante para diversos sectores de la industrial e ingenieros y técnicos con carreras afines.

RECOMENDACIONES

- Optar por la investigación de nuevas tecnologías en pro del avance industrial y profesional de nuestro país.
- Estos aportes no son todos los que existen, a partir de este trabajo de investigación se pide difundir enseñanzas y metodologías aprendidas.
- **No hay mayor placer en ver crecer a tu país, así que infórmate, investiga, capacítate, certifícate y sé el mejor.**

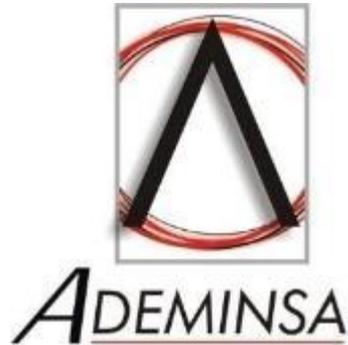
BIBLIOGRAFÍA

1. Nondestructive Testing Handbook, segunda edición. American society for nondestructive testing, USA.
2. "An introduction to acoustic emission", C.B. Scruby, J. Phys. Instrum. Vol 20, p. 946-953, 1987.
3. Ronnie K. Miller. Acoustic Emission Testing. Physical Acoustics Corporation, Princeton, New Jersey.
4. ASME Sección V, Artículo 12, Acoustic Emission Examination of Metallic Vessels During Pressure Testing.
5. Ternowcheck S.J., Gandy T.J., Calva M.V. y Patterson T.S. American Society for Testing and Materials, ASTM STP1353, 1998.
6. ASTM E1419-02b, Standard test method for Examination Of Seamless, Gas Filled, Pressure Vessel Using Acoustic Emission.
7. API 510, Pressure Vessel Inspection Code.
8. Long, R.S., Vine, K., Lowe, M.J.S. and Cawley, P. "Monitoring of acoustic wave propagation in buried water pipes", Review of Progress in Quantitative NDE, Vol 20, D.O. Thompson and D.E. Chimenti (eds), 2001, American Institute of Physics, pp. 1202-1209.
9. W.D. Rummel, Probability of Detection as a Quantitative Measure of Nondestructive Testing End-to-End Process Capabilities, Materials Evaluation, 56, 1, 1998, 29-35.
10. D.O. Harris and H.L. Dunegan, Continuous Monitoring of Fatigue Crack Growth by Acoustic Emission Techniques, Experimental Mechanics, EXMCA, 14, 2, 1974, 71-81.
11. Probability of Detection for Acoustic Emission, Adrian Pollock, Physical Acoustic Corporation, 195 Clarksville Road, Princeton Junction, NJ 08550.
12. Drouillard, T.F., "A History of Acoustic Emission", Journal of Acoustic Emission, vol. 14, N°1, 1996.
13. Mark F. Carlos, Acoustic Emission: Heeding the Warning Sounds from Materials, Standardization News, 2003 Oct.
14. Asociación Española de Normalización y Certificación, UNE-EN 15495: ensayos no destructivos : emisión acústica, AENOR; 2008

ANEXOS

ANEXO 1.

Informe AET Proporcionado por la empresa ADEMINSAC



INFORME TÉCNICO INSPECCIÓN POR ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (AET) TUBETRAILER B6K-975

NEOGAS
LIMA, PERU

2014

Lima, 10 de Diciembre del 2014.

Señores:

NEOGAS

Att: Ing. Jaime Loveday / Ing. Miguel Angel Terrones

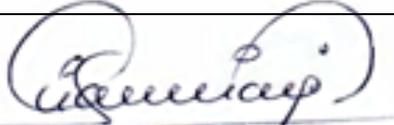
REF.: INFORME TÉCNICO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (AET) DE TUBE-TRAILER DE TRANSPORTE DE GNC B6K-975

Respetado Ingeniero

ADEMINSAC, presenta a ustedes el Informe de la Evaluación Predictiva por END (Inspección Visual y Emisión Acústica) a Tube-Trailer B6K-975 de transporte de GNC. Esta actividad se efectuó el día 10 de Diciembre del 2014, en las instalaciones de planta NEOGAS ubicada en Lurín.

Este informe contiene las observaciones, resultados y conclusiones planteadas por personal de ADEMINSAC referentes al servicio.

Atentamente,

 <p>ING. GIANNI GANGERI A. SNT-TC-1A. AET. LEVEL II. E-mail: ggangeri@ademinsa.com</p>	<p>ING. JULIO DIAZ VAZQUEZ GERENTE COMERCIAL UN3 ADEMINSAC</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.
2. ANTECEDENTES.
3. OBJETIVOS DEL PROYECTO.
 - 3.1 OBJETIVO GENERAL.
 - 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.
4. PERSONAL DE ADEMINSAC
5. ASPECTOS TÉCNICOS DEL SERVICIO.
 - 5.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS INSPECCIONADOS.
 - 5.2 METODOLOGÍA EMPLEADA.
 - 5.2.1 Durante la Ejecución.
 - 5.2.2 Después de la Ejecución.
 - 5.3 DURACIÓN DEL SERVICIO.
 - 5.4 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MATERIALES EMPLEADOS.
 - 5.4.1 Equipos y Herramientas.
 - 5.4.2 Equipos y/o elementos de Protección Personal.
 - 5.4.3 Consumibles.
 - 5.4.4 Equipos y/o elementos de inspección.
 - 5.5 TÉCNICAS EMPLEADAS.
 - 5.5.1 Inspección Visual
 - 5.5.2 Emisión Acústica
 - 5.6 NORMAS UTILIZADAS EN EL SERVICIO.
 - 5.6.1 Inspección General Visual Externa.
 - 5.6.2 Emisión Acústica
6. PROCEDIMIENTO DE INSPECCION: AET. EMISION ACUSTICA.
7. INFORME TECNICO
8. ANEXOS.
 - ANEXO 1. Registro de Datos
 - ANEXO 2. Curva de Carga de los Cilindros
 - ANEXO 3. Set de Fotografías
 - ANEXO 4. Datos Relevantes Emisión acústica

1. INTRODUCCIÓN.

1. INTRODUCCION

EL día 10 de Diciembre del 2014, personal de la empresa ADEMINSAC se hizo presente en las instalaciones de NEOGAS para la inspección del Tube-Trailer B6K-975 de transporte de GNC (Gas Natural Comprimido).

2. ANTECEDENTES.

El presente informe detalla las actividades realizadas por el personal de ADEMINSAC., en la inspección de TUBE TRAILER B6K-975 de transporte de GNC

FECHA	EQUIPO/COMPONENTE	SERVICIO
10-12-2014	✓ Tube-Trailer de transporte de GNC B6K-975	<ul style="list-style-type: none">• Arribo a planta.• Verificación de condiciones de seguridad y acceso.• Inspección por END (AET. Emisión Acústica) Determinar el estado e integridad de recipientes a presión sin costura. Monitorear de los cambios en la condición de los recipientes sometidos a carga y descarga cíclica en busca de defectos en desarrollo.• Limpieza del área.• Retiro de la planta.• Informe final del servicio.

3. OBJETIVOS DEL PROYECTO.

3.1 OBJETIVO GENERAL.

Inspección por Ensayos No Destructivos (AET. Emisión Acústica) Determinar el estado e integridad de recipientes a presión. Monitorear de los cambios en la condición de los recipientes sometidos a carga y descarga cíclica en busca de defectos en desarrollo, etcétera.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar inspección por Ensayos No Destructivos AET. Emisión Acústica. Determinar el estado e integridad de recipientes a presión sin costura: TUBE-TRAILER B6K-975
- Elaboración y entrega de un informe con los resultados, conclusiones, registro fotográfico, análisis y recomendaciones del servicio.

4.PERSONAL DE ADEMINSAC

Las inspecciones fueron realizadas por personal de ADEMINSAC calificado y certificado de acuerdo a la práctica recomendada SNT-TC-1A de la ASNT. Este trabajo fue desarrollado por un inspector de campo, con su respectiva documentación de seguridad industrial y certificados de calificación para el trabajo.

NIVEL DE RESPONSABILIDAD	PERSONAL ADEMINSAC	FUNCIONES DEL PERSONAL
1	ING. GIANNI GANGERI A.	Elaboración de procedimientos de trabajo, seguridad, coordinación y supervisión de labores.
3,4, 5	ING. LUIS LEDEZMA	Toma de datos, ejecución de procedimientos, elaboración de informes.
7	TEC. JUAN NAVARRO	Limpieza mecánica y toma de datos bajo supervisión.

	NIVEL DE RESPONSABILIDAD	FUNCIONES DEL PERSONAL
1	Coordinación y procedimiento de trabajo	Elaboración de procedimientos de trabajo, seguridad, coordinación y supervisión de labores.
2	Apoyo administrativo y logistic	Elaboración de CTS, logística, control de ingreso y egreso de personal y recursos.
3	Inspector especialista de campo	Toma de datos, ejecución de procedimientos, elaboración de informes.
4	Técnico de campo	Toma de datos, ejecución de procedimientos, elaboración de informes bajo supervisión.
5	Inspector nivel I y II	Toma de datos, elaboración de reportes bajo supervisión.
6	Inspector en entrenamiento	Toma de datos bajo supervisión.
7	Personal de apoyo	Limpieza mecánica y toma de datos bajo supervisión.

5 ASPECTOS TÉCNICOS DEL SERVICIO.
5.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS INSPECCIONADOS.

Se inspeccionaron los cilindros del TUBE TRAILER B6K-975. A continuación se detallan los elementos inspeccionados:

ITEM	EQUIPO	CANTIDAD/ DESCRIPCION	DATOS DE CARGA	CANTIDAD ELEMENTOS	TECNICA O ENSAYO
1	B6K-975	8 CILINDROS 35 pies de longitud y 22" de diámetro	Presión de operación: 200 BAR Presión de Prueba: 235 BAR	Tube-Trailer transporte de GNC 8 Recipientes a presión sin costura	Emisión Acústica (AET)

5.2 METODOLOGÍA EMPLEADA.

5.2.1 DURANTE LA EJECUCIÓN.

La metodología del trabajo será la siguiente:

1. Alistamiento de equipos, herramientas, consumibles, elementos de protección personal y seguridad, documentación del personal.
2. Arribo a las zonas del servicio, planta NEOGAS, Lurín.
3. Diligenciamiento de los permisos de trabajo, APR y demás documentación de "trabajo seguro".
4. Desplazamiento hacia el sitio de la labor para la ejecución del servicio.
5. Verificación de condiciones de seguridad: des-energizado de equipos, bloqueo de los mismos, elementos de protección personal, verificación de líneas de vida, andamios, escaleras, etc.
6. Acceso a cada uno de los equipos TUBE TRAILERS

7. Desarrollo de las inspecciones AET, de acuerdo a lo establecido en el alcance general del servicio.
8. Una vez culminadas las labores de campo, se dejará el área de inspección limpia y libre de material residual.
9. Retiro de la planta.

5.2.2 DESPUÉS DE LA EJECUCIÓN.

1. Se entrega al cliente el respectivo informe técnico con observaciones, resultados y conclusiones, además de un archivo fotográfico digital de los puntos inspeccionados y del estado general de los elementos.
2. El servicio y el informe fue preparado, revisado y efectuado por personal profesional calificado y certificado SNT-TC-1A. Nivel II. Responsable de la revisión de informe y diagnóstico de los datos registrados.

5.3 DURACIÓN DEL SERVICIO.

El servicio fue desarrollado en un tiempo total de 8 horas – 1 día, desde el momento de arribo a las instalaciones de planta NEOGAS, LURIN hasta el retiro del personal de ADEMINSAC de la misma.

5.4 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MATERIALES EMPLEADOS.

5.4.1 Equipos y Herramientas.

Los equipos complementarios y herramientas necesarios para la realización de las inspecciones en planta fueron:

- Equipo de emisión acústica, Marca Physical Acoustic Corporation (PAC) Modelo DISP 24.
- Transductores: Resonantes Marca PAC R15i. Frecuencia central 150 Khz.
- Solución Jabonosa para de fugas.
- Computador portátil: 1.
- Cámara digital: 1.
- Flexómetro: 1.
- Linterna portátil: 2.

5.4.2 Equipos y/o elementos de protección personal.

Cada inspector de ADEMINSAC contó con los siguientes EPP:

- Casco blanco tipo capitán (dieléctrico)
- Lentes de protección visual claro.
- Guantes de vaqueta tipo ingeniero – sin refuerzo.
- Overol con distintivos de la empresa y cinta reflectiva.
- Bota de seguridad industrial o tenis de seguridad industrial con puntera de acero y aislamiento dieléctrico.

5.4.3 Consumibles.

Los consumibles que se emplearon para la realización del trabajo fueron los siguientes:

- Trapo industrial.
- Marcador industrial.
- Silicón de secado en frío.
- Cinta Adhesiva Industrial

5.4.4 Equipos y/o elementos de Inspección.

- **Inspección Visual:**

- 15. Linternas, cinta métrica, calibrador pie de rey, lupas.
- 16. Cámara Digital.
- 17. Trapo industrial.

- **Emisión Acústica:**

- 18. Equipo de emisión acústica, Marca Physical Acoustic Corp (PAC) Modelo DISP 24.
- 19. Transductores: Resonantes R15i. Frecuencia central 150 Khz.
- 20. Transductor de Presión
- 21. PLB, grafito de calibración 0.3mm o 0.5mm, 2H

5.5 TECNICAS EMPLEADAS:

- **VT. INSPECCION VISUAL:**

INSPECCIÓN VISUAL

La Inspección Visual Directa es la más común de todos los END y la más económica, antes de hacer cualquier ensayo se debe hacer una pre-inspección visual, brinda un cuadro informativo muy completo sobre el estado superficial del componente a inspeccionar de fácil interpretación. Generalmente va acompañada de metrología.

Es aplicable a todos los materiales y componentes que vayan a ser inspeccionados para verificar su integridad estructural vista desde la superficie como: Rugosidad, estado de la pintura, corrosión, desgaste y erosión, ralladuras, fisuras y medición de las dimensiones.



- **AET. EMISION ACUSTICA:**

AET	DESCRIPCION
	<p>Método utilizado para evaluar el comportamiento de discontinuidades bajo esfuerzos. Es un método volumétrico de gran alcance. Utiliza la liberación de ondas elásticas acústicas en presencia del crecimiento de fisuras, picaduras, pérdidas de material por corrosión, desgaste, concentradores de esfuerzos, etc.</p> <p>Aplicaciones en la Inspección de estructuras, recipientes a presión, tube trailer, esferas de gas, tanques de almacenamiento, recipientes de fibra de vidrio.</p>

5.6 NORMAS UTILIZADAS.

5.6.1 Inspección General Visual Externa.

La presente inspección se basó en los estándares y códigos siguientes:

22. ASTM - E 165 anexo A1, en la preparación de la superficie.
23. DIN 8524- parte 1 y ASTM-E433-71, en la caracterización de discontinuidades bajo inspección visual directa.
24. ASTM G46 Recommended Practice for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion.

5.6.2 AET. Emisión Acústica.

La presente Inspección se basará en los estándares y códigos siguientes:

- ASTM E1419-02b, Standard test method for Examination of Seamless, Gas Filled, Pressure Vessel Using Acoustic Emission.
- CODIGO ASME, Sección V, Artículo 12.

6. PROCEDIMIENTO DE INSPECCION:

PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN EMISIÓN ACÚSTICA

(TUBE-TRAILERS) (AD-AET-GNC-2014)

a. Objetivo:

Emisiones Acústicas.- Determinar el estado e integridad de recipientes a presión sin costura. Monitorear de los cambios en la condición de los recipientes sometidos a carga y descarga cíclica en busca de defectos en desarrollo.

b. Ubicación:

El presente procedimiento estará referido a la Inspección por Emisiones Acústicas (AET) de los cilindros (Tubolones) que almacenan Gas Natural Comprimido ubicados en las instalaciones de NEOGAS, LURIN.

Alcance:

- Sólo personal calificado END ASNT–TC –1A, Nivel II o Nivel III, podrá interpretar los resultados de este método.
- Ingeniero Profesional (P.E) capaz de monitorear el proceso, registrar los datos, evaluar las variables en el campo
- Técnico certificado END ASNT–TC –1A, Nivel II en las técnicas, UT, VT

c. Referencias:

La presente inspección se basa en los estándares y códigos siguientes:

-ASTM E1419-02b, Standard test method for Examination of Seamless, Gas Filled, Pressure Vessel Using Acoustic Emission. (y referencia)

-CODIGO ASME, Sección V, Artículo 12.

-Procedimientos de inspección y evaluación de severidad AD-AET

d. Definiciones:

- i. Emisión Acústica: Ondas elásticas generadas por la liberación rápida de energía desde la fuente en el material.

- ii. Evento AE (Software): Se trata de un grupo de uno o más Hits, detectados en secuencia que se procesan conjuntamente con el propósito de localizar la fuente.
- iii. Hit de AE: La detección y medición de la señal de emisión acústica en un canal.
- iv. Amplitud: El voltaje pico mayor de la señal de onda de emisión acústica, expresado en decibelios.
- v. Efecto Káiser: Ausencia de emisión acústica detectable a un nivel fijo de sensibilidad, hasta el momento en que la carga aplicada precedentemente viene superada.
- vi. Actividad AE: Una medida de la cantidad de emisión, usualmente se trata del conteo de energía acumulada, conteo de eventos, o las tasa de cambio en estas cantidades.
- vii. Intensidad AE: Medida del tamaño o magnitud de las señales detectadas tal como la amplitud promedio, energía media de emisión acústica o conteo promedio.
- viii. Atenuación: Pérdida de amplitud con la distancia en la medida que la onda por la estructura sometida a la prueba.
- ix. Ruido: Indicaciones no relevantes, señales producidas por causas distintas a la emisión acústica o por fuentes de emisión acústica que no sean relevantes a los efectos del test.
- x. Localización: Relativo al uso de múltiples sensores para determinar las posiciones relativas de las fuentes de emisión acústica.
- xi. Sensor AE: Dispositivo que contiene un transductor que convierte el movimiento de emisión acústica en voltaje eléctrico.
- xii. Discontinuidad: No cumplimiento de las variables de diseño para la continuidad operativa de los elementos estructurales.
- xiii. Defectos: Discontinuidad no permisible.

e. Ejecución:

i. Equipo y Herramientas:

- Equipo CTRL detector de fugas por Ultrasonido
- Equipo de emisión acústica, Marca Physical Acoustic Corp (PAC) Modelo DISP 24.
- Transductores: Resonantes Intrínsecamente seguros Marca PAC R15I Frecuencia 150 Khz.
- Transductor de Presión
- PLB, grafito de calibración 0.3mm, 2H
- Grasa siliconada.
- Cinta Adhesiva Industrial

- ii. Limpieza de las superficies: Limpiar ligeramente la superficie del cilindro para permitir el mejor contacto del acoplante con el sensor.

f. Procedimiento:

- i. De acuerdo a los estándares se procede a la colocación de los sensores a distancias no menores de 14 pulgadas de los extremos de los cilindros, para ellos se emplea grasa siliconada o silicona de secado en frío. Se procede tal como está recomendado en estándar E650.
- ii. Aislar en lo posible los recipientes de manera de evitar contacto con superficies adyacentes u otros recipientes.
- iii. Se verifica el acoplamiento de los sensores mediante la técnica PLB con al menos tres roturas a distancia no mayor de 100 mm del centro del transductor, empleando grafito 0.3mm o 0.5mm dureza 2H. Se repite para todos los sensores.
- iv. Se elabora la curva de atenuación con roturas de grafito a distancias (al menos 4), tres repeticiones a distancias de 3 pies.
- v. Se calcula la velocidad de la onda en el material mediante roturas de grafito en diversas posiciones.
- vi. Ajuste de los parámetros del procesador. HDT, EDT, ELT, HLT, Threshold (32 dB).
- vii. Conectar manguera de llenado y transductor de presión (la medición de presión deberá tener como máximo error +- 2% de la presión máxima de llenado). Elimine cualquier fuga en las conexiones.

- viii. Verificación de Fugas: Verificación previo y durante el proceso de llenado. En caso de detectarse fuga relevante que pueda alterar la prueba, el cilindro deberá desincorporarse de la corrida.

- ix. Registro de actividad durante el llenado: Se inician los registros al alcanzarse el 50% de la presión máxima de llenado.

- x. Presión Máxima: La presión de llenado será al menos 10% superior a la presión nominal de trabajo establecida por el fabricante.

- xi. Estimación de Severidad de la Emisión Acústica: De acuerdo a las prácticas desarrolladas en los procedimientos AD-AET de inspección de Tube-Trailers se emplean los siguientes criterios para la estimación de la severidad de la emisión acústica y su relación con la condición.
 - a. HITS (H): Número de Hits por canal, Análisis de la distribución de Amplitud vs Duración.
 - b. EVENTOS (Ev): Escala de crecimiento de eventos análisis y parámetro de presión.
 - c. ENERGIA (En): Escala de Crecimiento de Energía Absoluta y parámetro de Presión
 - d. PARAMETRO (P): Evaluación de emisión en base a tasa de crecimiento del parámetro de presión.

- xii. –Análisis y Evaluación de la condición de los cilindros, incluye criterio de aceptación.
 - a. **Incremento de la actividad**: Incremento de Intensidad en hits durante el sostenimiento de presión. Incremento Amplitud para eventos localizados en zona con mayor actividad. Desviaciones requerirá evaluación complementaria por un método END en las áreas.
Evaluación a través de correlación con históricos de AET en cilindros similares

 - b. **Factor de Localización**: (Según ASTM-1419) cada ubicación entre sensores que registre 5 o más eventos en un rango de longitud de cilindro de 8 pulgadas de distancia axial deberá evaluarse con método complementario.

- c. **Energía Absoluta:** Evaluación de la correlación entre la energía liberada y cargas. **Evaluación a través de correlación con históricos de AET en cilindros similares.**

g. RESPONSABLES

- Ingeniero Inspector Nivel II AET: Responsable pleno de las actividades descritas, de la revisión de informe y diagnóstico de los datos registrados
- Ingeniero Inspector Nivel I: Responsable del registro de la data, configuración correcta del equipo y control de la prueba.

Procedimiento Realizado por:



Ing. Gianni Gangeri
SNT-TC-1A. Level II (AET)
CWI-AWS N° 09030021

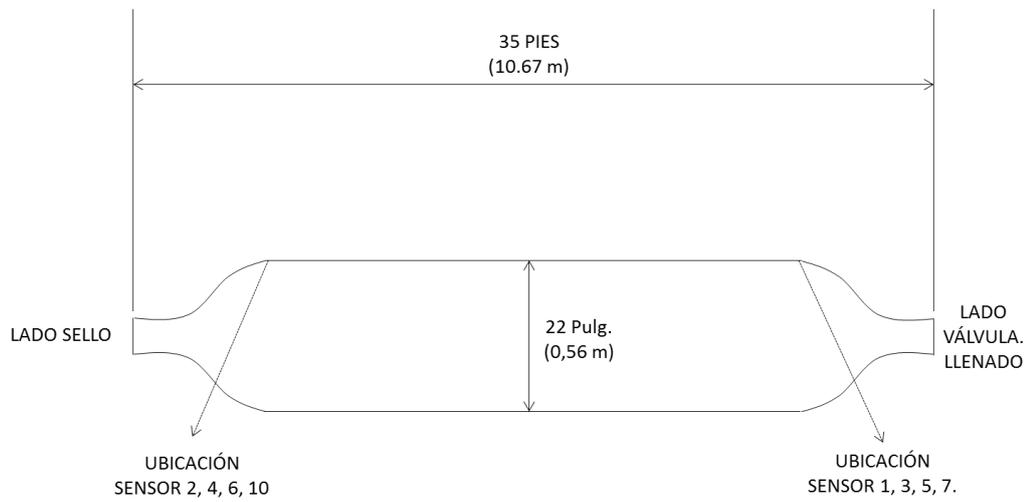
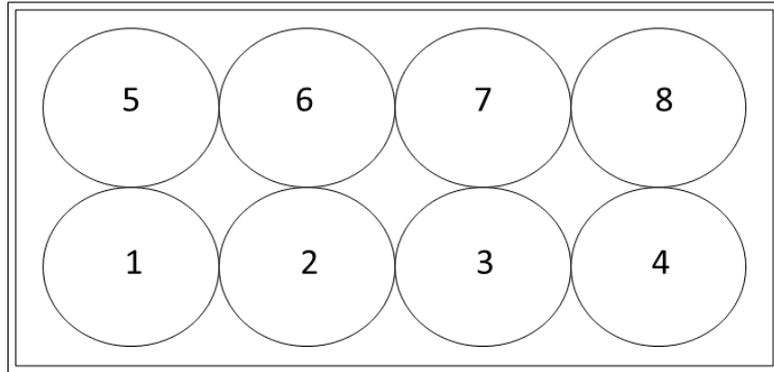


Ing. Alberto F. Reyna Otayza
ASNT NDT Level III N° 121763
CWI – AWS N° 04070861
Certified API 510 N° 41734

7. INFORME DE INSPECCION POR EMISIONES ACUSTICAS DETUBE TRAILER B6K-975, DE TRANSPORTE DE GNC

a. Esquemático:

LADO VÁLVULAS.
LLENADO



b. Resultados: Cilindros inspeccionados por fecha:

CILINDRO	FECHAS	RECOMENDACIONES GENERALES	RESULTADO PRUEBA AET
1	10/12/2014	Inspección Periódica	Acceptable
2	10/12/2014	Inspección Periódica	Acceptable
3	10/12/2014	Inspección Periódica	Acceptable
4	10/12/2014	Inspección Periódica	Acceptable
5	10/12/2014	Inspección Periódica	Acceptable
6	10/12/2014	Inspección Periódica	Acceptable
7	10/12/2014	Inspección Periódica	Acceptable
8	10/12/2014	Inspección Periódica	Acceptable

Resultados Análisis:

-Presencia de Emisión Acústica e baja amplitud por fugas de gas en cilindros 4, 5 y 6.

-Condición de Ruido generado por la entrada de gas a los cilindros (carga a baja presión) y vibración transmitida por el sistema de carga al tráiler

-No se evidencia deterioro estructural en los cilindros.

-Presión de Llenado Final: 235 Bar

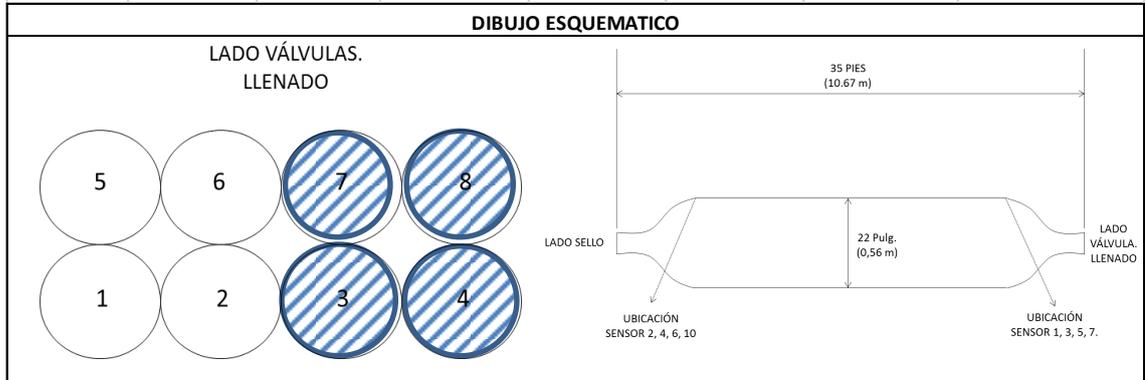
c. Conclusiones y Recomendaciones Generales:

C.1.- Control de Corrosión: Evaluación periódica (Anual) de espesores con Ultrasonido. Considerar igualmente la inspección videoscópica o boroscópica en la próxima ventanaplanificada para un mantenimiento mayor.

C.2.-Condiciones de Operación: Se recomienda la operación a presiones dentro del rango recomendado

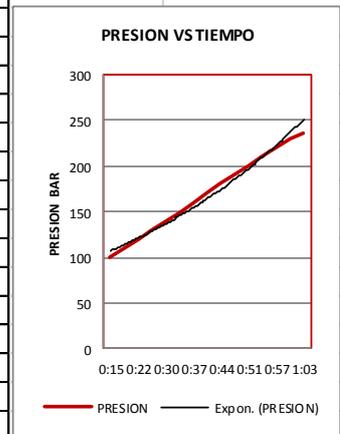
ANEXO 1 (REGISTRO DE DATOS)

Test / Ensayo:		EMISIONES ACÚSTICAS		Tipo de Documento:		Registro de Datos		
Cliente:		NEOGAS PERU				Fecha:		10/12/2014
Inspectores:		Gianni Gangeri / Luis Ledezma				ID Equipo:		B6K-975
Cilindro ensayados:		3	4	7	8			
Grupo 4 (cilindro 3):		Sensores 7 y 10		Grupo 2 (cilindro 8):		Sensores 3 y 4		
Grupo 3 (cilindro 7):		Sensores 5 y 6		Grupo 1 (cilindro 4):		Sensores 1 y 2		



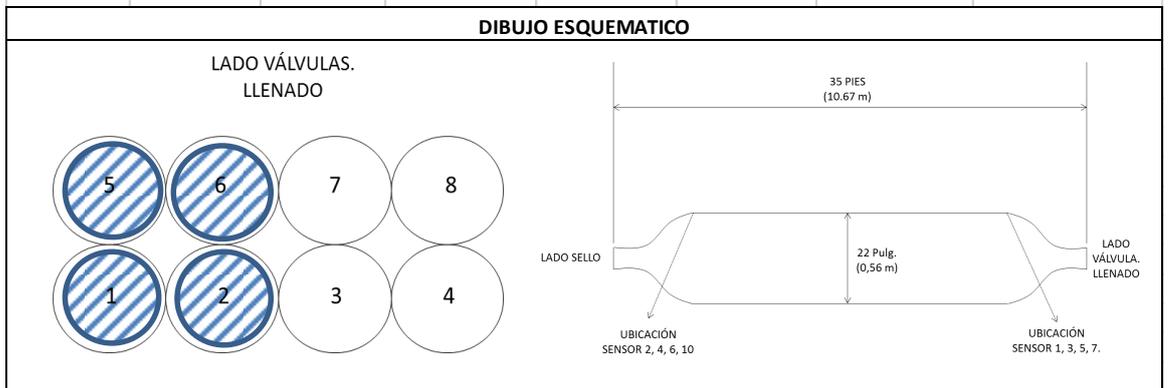
PRUEBA DE SENSORES A 125 BAR					
SENSOR	AMPLITUD (dB)			MEDIA (dB)	SPREAD
1	81	81	80	81	1
2	83	82	80	82	3
3	79	81	82	81	3
4	85	82	83	83	3
5	84	84	81	83	3
6	82	81	84	82	3
7	80	80	83	81	3
10	84	83	82	83	2
MEDIA GENERAL (dB)	82		RANGO (+/- 4)	79	a
HORA DE INICIO	8:20 PM		HORA FINAL	9:40 PM	

REGISTRO DE INFORMACION PRESIÓN VS TIEMPO							
PRESION INICIAL (BAR)		100		PRESION FINAL (BAR)		235	
DURACION Hr (INCLUYE HOLD TIME)		1:20		PRESIÓN MEDIA DE LLENADO (BAR/MIN)		2	
#	TIEMPO (HH:MM)	PRESION (BAR)	#	TIEMPO (HH:MM)	PRESION (BAR)		
1	0:15	100	16				
2	0:18	110	17				
3	0:22	120	18				
4	0:26	130	19				
5	0:30	140	20				
6	0:34	150	21				
7	0:37	160	22				
8	0:41	170	23				
9	0:44	180	24				
10	0:47	190	25				
11	0:51	200	26				
12	0:54	210	27				
13	0:57	220	28				
14	1:00	230	29				
15	1:03	235	30				



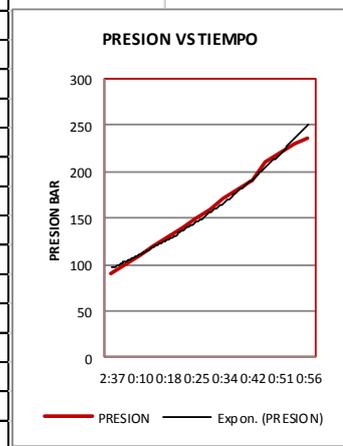
Comentarios: sensores impares colocados en lado de válvulas y pares colocados en lado sello. Cilindros con soportes y amarres (ver fotografías). Fuga detectada por NEOGAS en Cilindro 4.

Test / Ensayo:	EMISIONES ACÚSTICAS	Tipo de Documento:	Registro de Datos
Ciente:	NEOGAS PERU		Fecha: 10/12/2014
Inspectores:	Gianni Gangeri/ Luis Ledezma		ID Equipo: B6K-975
Cilindro ensayados:	1	2	5
Grupo 1 (cilindro 1):	Sensores 1 y 2		Sensores 5 y 6
Grupo 2 (cilindro 5):	Sensores 3 y 4		Sensores 7 y 10



PRUEBA DE SENSORES A 100 BAR					
SENSOR	AMPLITUD (dB)			MEDIA (dB)	SPREAD
1	81	80	80	80	1
2	83	84	86	84	3
3	82	82	80	81	2
4	81	81	80	81	1
5	84	84	84	84	0
6	80	81	83	81	3
7	79	80	80	80	1
10	82	83	84	83	2
MEDIA GENERAL (dB)	82	RANGO (+/- 4)	79	a	86
HORA DE INICIO	10:00 PM		HORA FINAL	11:16PM	

REGISTRO DE INFORMACION PRESIÓN VS TIEMPO					
PRESION INICIAL (BAR)		100	PRESION FINAL (BAR)		235
DURACION Hr (INCLUYE HOLD TIME)		1:16 hr	PRESIÓN MEDIA (BAR/min)		2
#	TIEMPO (HH:MM)	PRESION (BAR)	#	TIEMPO (HH:MM)	PRESION (PSI)
1	2:37	90	16		
2	0:06	100	17		
3	0:10	110	18		
4	0:14	120	19		
5	0:18	130	20		
6	0:21	140	21		
7	0:25	150	22		
8	0:30	160	23		
9	0:34	170	24		
10	0:38	180	25		
11	0:42	190	26		
12	0:48	210	27		
13	0:51	220	28		
14	0:54	230	29		
15	0:56	235	30		



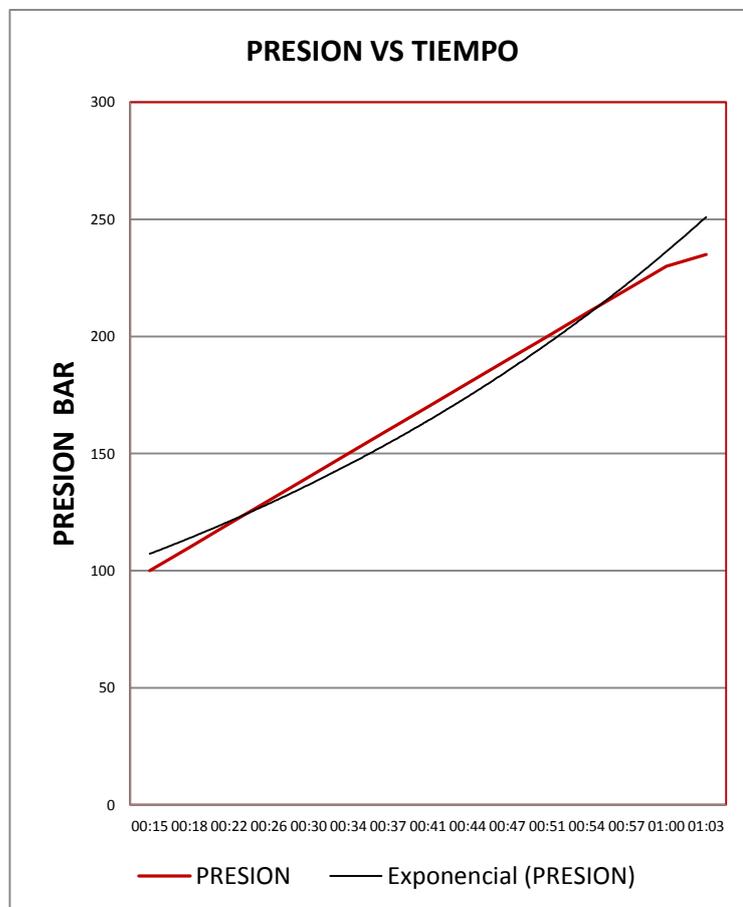
Comentarios: sensores impares colocados en lado de válvulas y pares colocados en lado sello. Fuga detectada por NEOGAS en cilindros 5 y 6

ANEXO 2

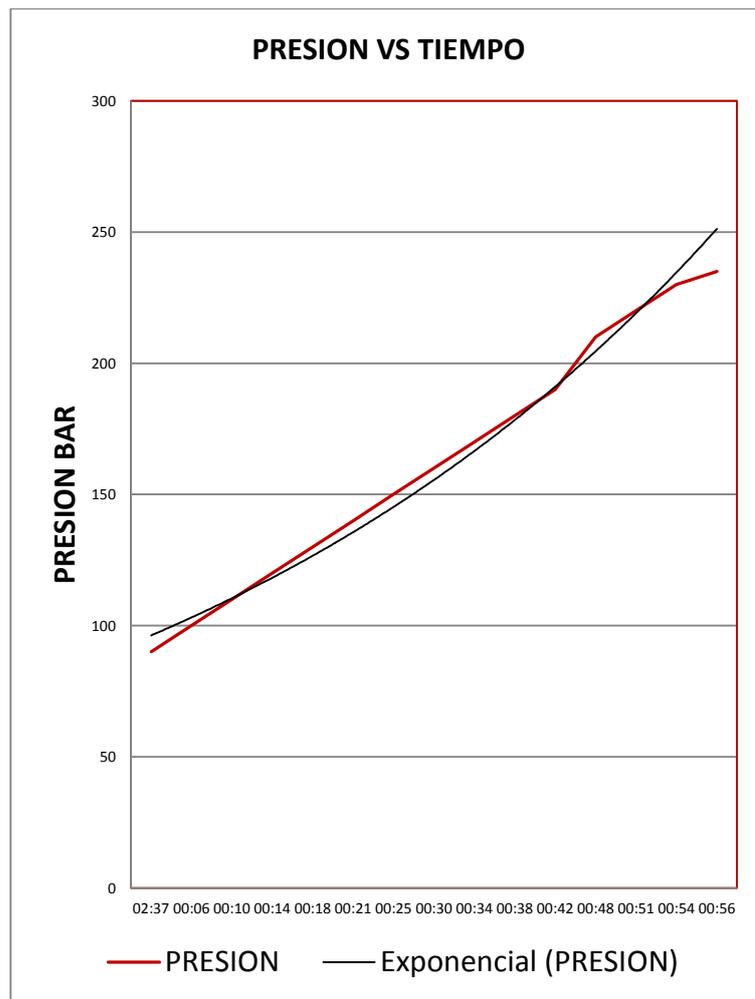
(CURVA DE CARGA CILINDROS)

CURVA DE CARGA CILINDROS 3, 4,7 y 8

(Pmax) 235 Bar



CURVA DE CARGA CILINDROS 1, 2, 5, 6(Pmax) 235 Bar



ANEXO 3
(SET DE FOTOGRAFÍAS)

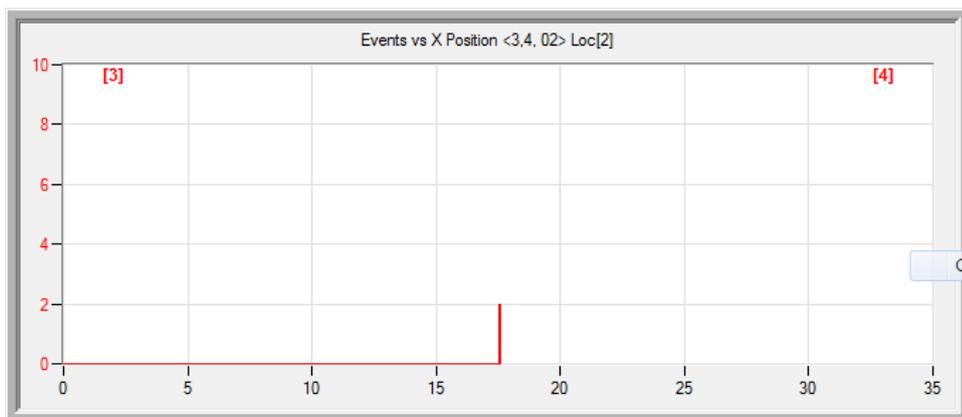
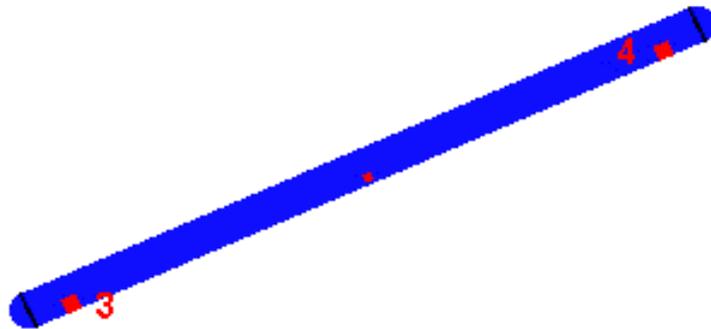
REGISTROS FOTOGRÁFICOS	
	
Foto 1. Vista B6K-975	Foto 2. Colocación Sensores
	
Foto 3. Vista Cilindros Lado Valvulas (Llenado)	Foto 4. Identificativo Trailer

ANEXO 4

GRAFICAS CON EMISION ACUSTICA RELEVANTE

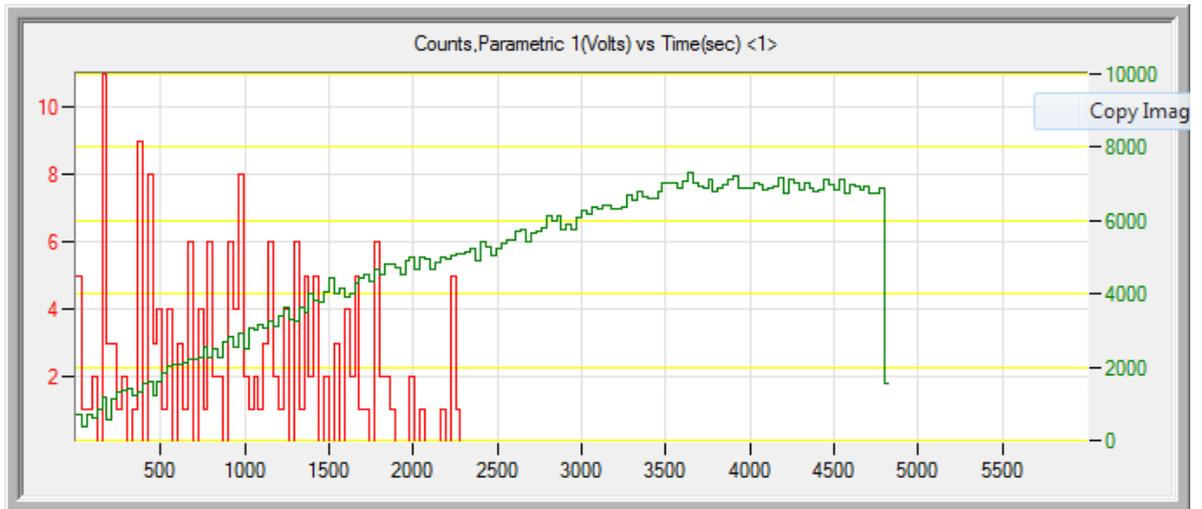
CILINDRO 8

Cylinder <All Channels> Loc[2]



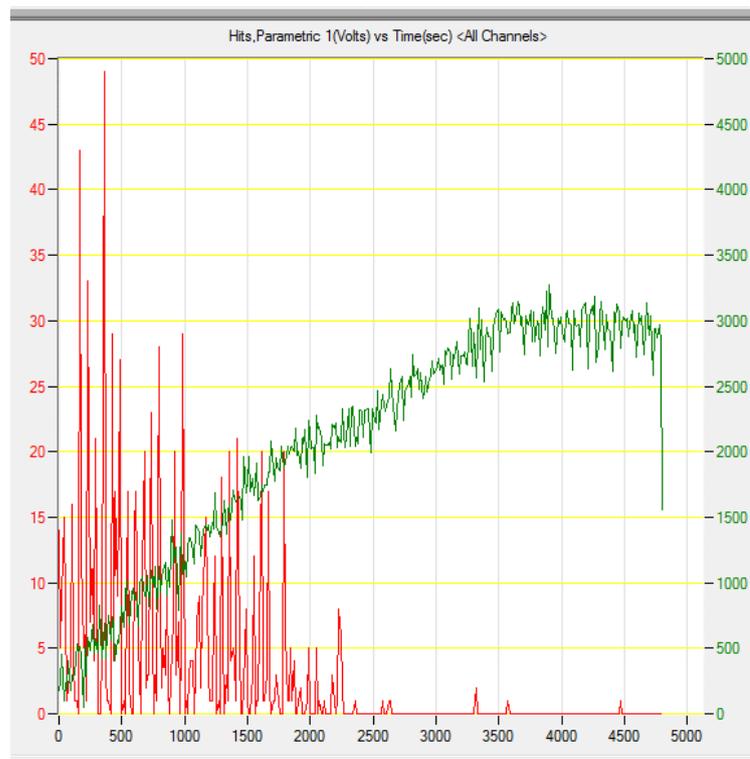
Eventos para el Cilindro 8.

CILINDRO 4



Actividad Acústica en el Cilindro 4. Canal 1

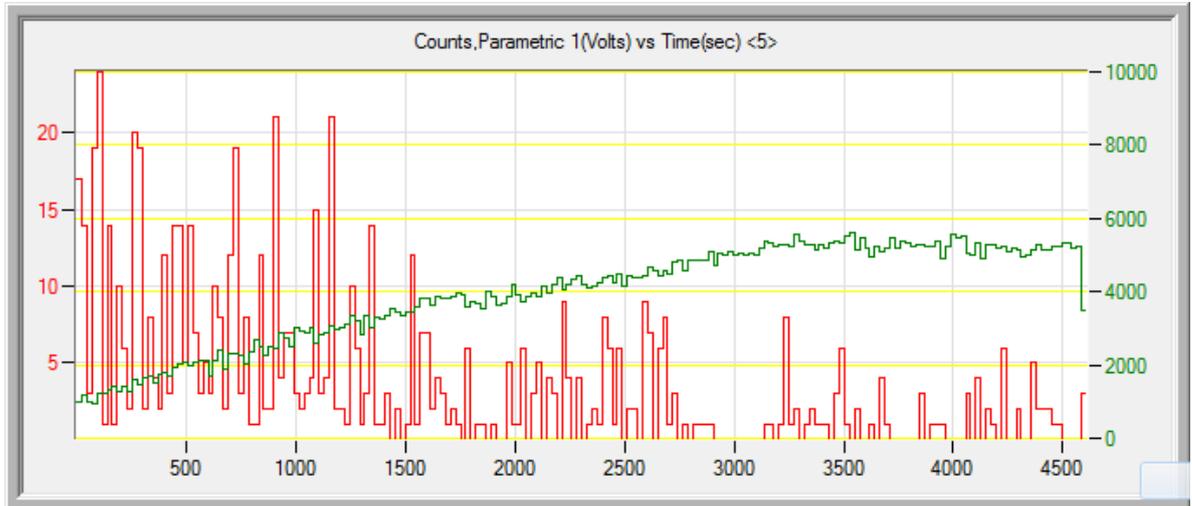
CILINDROS 3, 4, 7,8



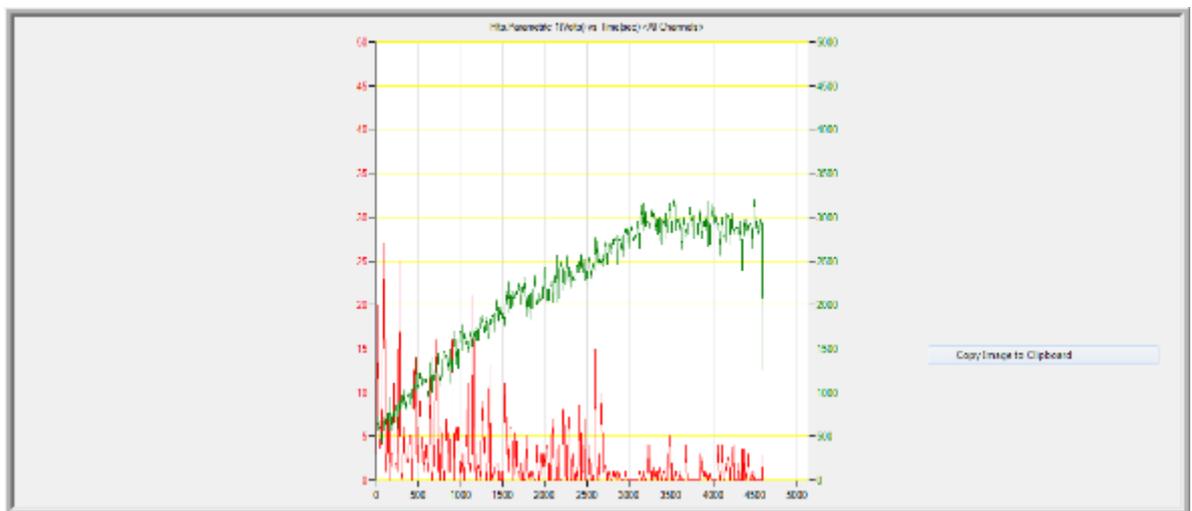
Hits vs, Parámetro de Presión

CILINDROS 1, 2, 5, y 6

Actividad Acústica por Canal



Actividad Acústica Canal 5 (Fuga Detectada por NEOGAS cilindro 6)



Actividad Acústica vs. Parámetro de Presión

Ademinsac, da fe de la información aquí contenida. El presente informe final del servicio (AET. TUBETRAILER B6K-975NEOGAS.-10-12-2014), se firma el día de hoy 11 de Diciembre de 2014, por el personal técnico.

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Gianni Gangeri', written over a horizontal line.

ING. GIANNI GANGERI A.

SNT-TC-1A. AET. LEVEL II

E-mail: ggangeri@ademinsa.com

Web: www.ademinsa.com

ANEXO 2.

Ejemplo de certificado de calibración de un equipo para AET.

CERTIFICATE OF CALIBRATION

Customer: **ADEMINSA USA INC**
Certificate No: **002846**
Model: **DISP 24** **DISP 24 CH SYSTEM**
SerialNo: **6330556912**
Order No: **DIS-2881F** Customer PO: **GIANNI GANGERI**

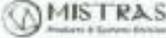
Calibration date: **6/17/2013** Due for calibration: **6/17/2014**
Cal. Temp. (F): **73** Humidity (%): **48**
Condition, as found: **NEW**
Condition, as left: **NEW**
Calibrated by: **T-14 We Paio Huang**

Measuring and Test Equipment Used

Asset No(s)	Date Calibrated	Date Due
12539	3/9/2013	3/9/2015
0080	6/9/2013	6/9/2015

The above described instrument was calibrated at Physical Acoustics Corporation and is certified to meet its published specification in accordance with the applicable calibration procedure. Measuring and test equipment used in the performance of the above calibration is traceable to the U.S. National Institute of Technology (NIST). The collective uncertainties of measuring and test equipment do not exceed 25% tolerance of the characteristics being calibrated. Documentation relative to traceability is on file at this office and is available for examination upon request. Do not reproduce except in full, without written approval.

Quality Assurance: *Dejai Bena*

195 Clarksville Road, Princeton Junction, New Jersey 08550-5303 USA
QOP 11-09-02 rev 1

ANEXO 3.

Ejemplo de Certificación de Personal



ANEXO 4. Fotografías de Inspección

Colocación de sensores



✚ Distribución de sensores



✚ Equipo instalado y adquisición de data

