

Pruebas no destructivas (PND)

Como su nombre lo indica, las **PND** son pruebas o ensayos de carácter NO destructivo, que se realizan a los materiales, ya sean éstos metales, plásticos (polímeros), cerámicos o compuestos. Este tipo de pruebas, generalmente se emplea para determinar cierta característica física o química del material en cuestión.

Las principales aplicaciones de las **PND** las encontramos en:

- Detección de discontinuidades (internas y superficiales).
- Determinación de composición química.
- Detección de fugas.
- Medición de espesores y monitoreo de corrosión.
- Adherencia entre materiales.
- Inspección de uniones soldadas.

Las **PND** son sumamente importantes en el continuo desarrollo industrial. Gracias a ellas es posible, por ejemplo, determinar la presencia de defectos en los materiales o en las soldaduras de equipos tales como recipientes a presión, en los cuales una falla catastrófica puede representar grandes pérdidas en dinero, vida humana y daño al medio ambiente.

Las principales **PND** se muestran en la siguiente Tabla, en la cual, se han agregado las abreviaciones en Inglés, ya que éstas en México son comúnmente utilizadas.

Tipo de Prueba	Abreviación en Español	Abreviación en Inglés
Inspección Visual	IV	VI
Líquidos Penetrantes	LP	PT
Pruebas Magnéticas, principalmente Partículas Magnéticas	PM	MT
Ultrasonido	UT	UT
Pruebas Radiográficas	RX	RT
Pruebas Electromagnéticas, principalmente Corrientes Eddy	PE	ET
Pruebas de Fuga	PF	LT
Emisión Acústica	EA	AE
Pruebas Infrarrojas	PI	IT

Inspección visual

La inspección visual (**IV**), es sin duda una de las Pruebas No Destructivas (**PND**) más ampliamente utilizada, ya que gracias a esta, uno puede obtener información rápidamente, de la condición superficial de los materiales que se estén inspeccionando, con el simple uso del ojo humano.

Durante la **IV**, en muchas ocasiones, el ojo humano recibe ayuda de algún dispositivo óptico, ya sea para mejorar la percepción de las imágenes recibidas por el ojo humano (anteojos, lupas, etc.) o bien para proporcionar contacto visual en áreas de difícil acceso, tal es el caso de la **IV** del interior de tuberías de diámetro pequeño, en cuyo caso se pueden utilizar boroscopios, ya sean estos rígidos o flexibles, pequeñas videocámaras, etc.

Es importante marcar que, el personal que realiza **IV** debe tener conocimiento sobre los materiales que esté inspeccionando, así como también, del tipo de irregularidades o discontinuidades a

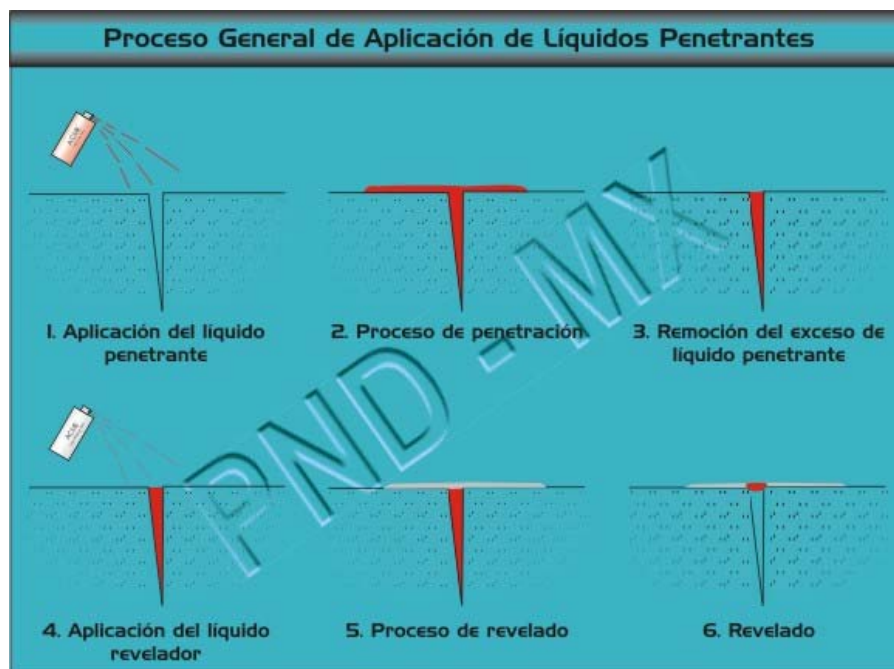
detectar en los mismos. Con esto, podemos concluir que el personal que realiza **IV** debe tener cierto nivel de experiencia en la ejecución de la IV en cierta aplicación (Por ejemplo, la **IV** de uniones soldadas).

Líquidos penetrantes

El método o prueba de líquidos penetrantes (**LP**), se basa en el principio físico conocido como "*Capilaridad*" y consiste en la aplicación de un líquido, con buenas características de penetración en pequeñas aberturas, sobre la superficie limpia del material a inspeccionar. Una vez que ha transcurrido un tiempo suficiente, como para que el líquido penetrante recién aplicado, penetre considerablemente en cualquier abertura superficial, se realiza una remoción o limpieza del exceso de líquido penetrante, mediante el uso de algún material absorbente (papel, trapo, etc.) y, a continuación se aplica un líquido absorbente, comúnmente llamado revelador, de color diferente al líquido penetrante, el cual absorberá el líquido que haya penetrado en las aberturas superficiales.

Por consiguiente, las áreas en las que se observe la presencia de líquido penetrante después de la aplicación del líquido absorbente, son áreas que contienen discontinuidades superficiales (grietas, perforaciones, etc.)

En la siguiente Figura, se puede visualizar el procedimiento general de ejecución del método de **LP**.



En general, existen dos principales técnicas del proceso de aplicación de los **LP**: la diferencia entre ambas es que, en una se emplean líquidos penetrantes que son visibles a simple vista ó con ayuda de luz artificial blanca y, en la segunda, se emplean líquidos penetrantes que solo son visibles al ojo humano cuando se les observa en la oscuridad y utilizando luz negra o ultravioleta, lo cual les da un aspecto fluorescente.

Estas dos principales técnicas son comúnmente conocidas como: Líquidos Penetrantes Visibles y Líquidos Penetrantes Fluorescentes. Cada una de estas, pueden a su vez, ser divididas en tres subtécnicas: aquellas en las que se utiliza líquidos removibles con agua, aquellas en las que se utiliza líquidos removibles con solvente y aquellas en las que se utilizan líquidos posemulsificables.

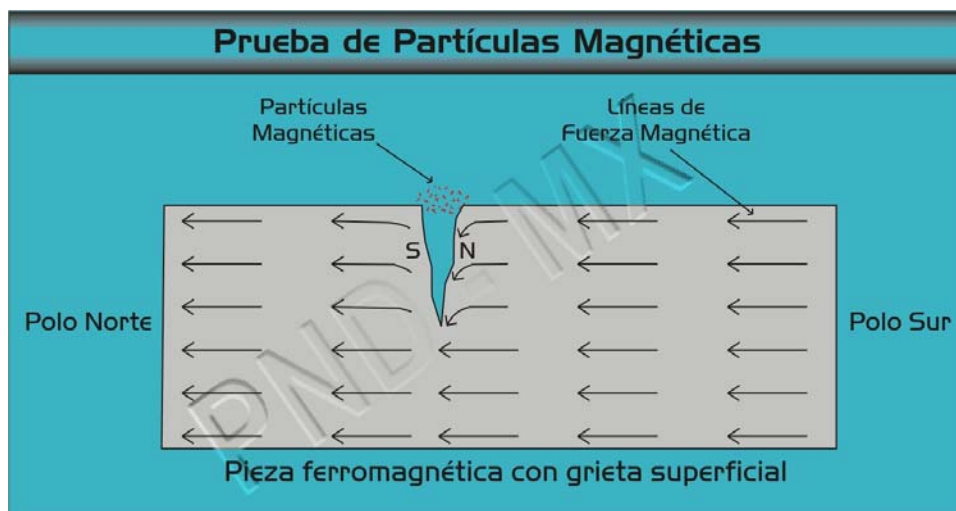
Cada una de las técnicas existentes en el método de **LP**, tiene sus ventajas, desventajas y sensibilidad asociada. En general, la elección de la técnica a utilizar dependerá del material en cuestión, el tipo de discontinuidades a detectar y el costo. En la siguiente tabla se muestran las técnicas de aplicación de los **LP**.

Técnica	Sub-Técnica
Líquidos Visibles	Lavables con agua
	Lavables son solvente
	Posemulsificables
Líquidos Fluorescentes	Lavables con agua
	Lavables son solvente
	Posemulsificables

Pruebas magnéticas

Este método de Prueba No Destructiva, se basa en el principio físico conocido como *Magnetismo*, el cual exhiben principalmente los materiales ferrosos como el acero y, consiste en la capacidad o poder de atracción entre metales. Es decir, cuando un metal es magnético, atrae en sus extremos o polos a otros metales igualmente magnéticos o con capacidad para magnetizarse.

De acuerdo con lo anterior, si un material magnético presenta discontinuidades en su superficie, éstas actuarán como polos, y por tal, atraerán cualquier material magnético o ferromagnético que esté cercano a las mismas. De esta forma, un metal magnético puede ser magnetizado local o globalmente y se le pueden esparcir sobre su superficie, pequeños trozos o diminutas *Partículas Magnéticas* y así observar cualquier acumulación de las mismas, lo cual es evidencia de la presencia de discontinuidades sub-superficiales y/o superficiales en el metal. Este mecanismo puede observarse en la siguiente figura:



Este método de **PND** está limitado a la detección de discontinuidades superficiales y en algunas ocasiones sub-superficiales. Así mismo, su aplicación también se encuentra limitada por su carácter magnético, es decir, solo puede ser aplicada en materiales ferromagnéticos. Aún así, este método es ampliamente utilizado en el ámbito industrial y algunas de sus principales aplicaciones las encontramos en:

- El control de calidad o inspección de componentes maquinados.
- La detección discontinuidades en la producción de soldaduras.
- En los programas de inspección y mantenimiento de componentes críticos en plantas químicas y petroquímicas (Recipientes a presión, tuberías, tanques de almacenamiento, etc.)

- La detección de discontinuidades de componentes sujetos a cargas cíclicas (Discontinuidades por Fatiga).

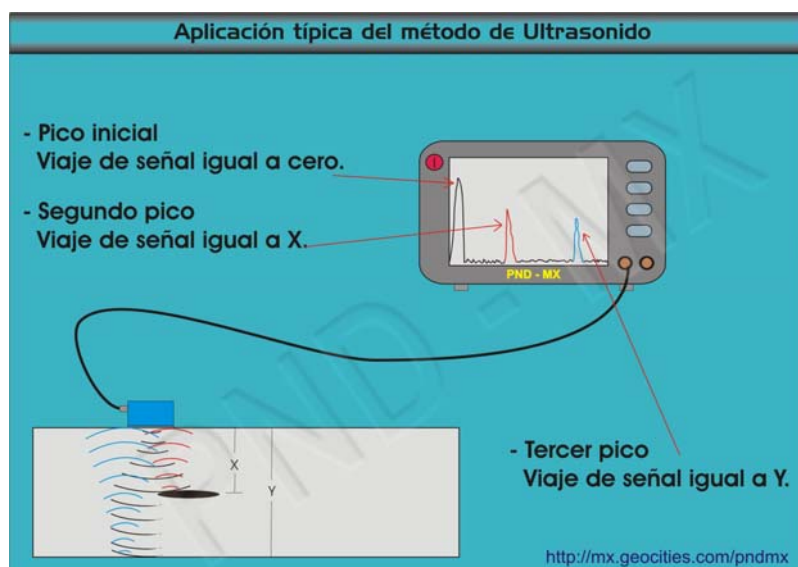
En general, existen dos principales medios o mecanismos mediante los cuales se puede aplicar las partículas magnéticas, estos son: *vía húmeda* y *vía seca*. Cuando las partículas se aplican en vía húmeda, éstas normalmente se encuentran suspendidas en un medio líquido tal como el aceite o el agua. En la aplicación de las partículas magnéticas vía seca, éstas se encuentran suspendidas en aire.

Así mismo, existen dos principales tipos de partículas magnéticas: aquellas que son visibles con luz blanca natural o artificial y aquellas cuya observación debe ser bajo luz negra o ultravioleta, conocidas comúnmente como partículas magnéticas fluorescentes.

Cada medio de aplicación (húmedo o seco) y cada tipo de partículas magnéticas (visibles o fluorescentes) tiene sus ventajas y desventajas. El medio y el tipo de partícula a utilizar lo determinan distintos factores entre ellos podemos enunciar: el tamaño de las piezas a inspeccionar, el área a inspeccionar, el medio ambiente bajo el cual se realizará la prueba, el tipo de discontinuidades a detectar y el costo. El personal que realiza este tipo de pruebas, generalmente realiza un análisis de los factores anteriores para determinar cual es el medio y tipo óptimo de partícula magnética a utilizar para cierta aplicación específica. Otro factor importante a considerar, es la forma o mecanismo mediante el cual se magnetizarán las piezas o el área a inspeccionar, lo cual puede conseguirse de distintas formas, ya sea mediante el uso de un yugo electromagnético, puntas de contacto, imanes permanentes, etc.

Ultrasonido

El método de Ultrasonido se basa en la generación, propagación y detección de ondas elásticas (sonido) a través de los materiales. En la figura de abajo, se muestra un sensor o transductor acústicamente acoplado en la superficie de un material. Este sensor, contiene un elemento piezo-eléctrico, cuya función es convertir pulsos eléctricos en pequeños movimientos o vibraciones, las cuales a su vez generan sonido, con una frecuencia en el rango de los megahertz (inaudible al oído humano). El sonido o las vibraciones, en forma de ondas elásticas, se propaga a través del material hasta que pierde por completo su intensidad ó hasta que topa con una *interfase*, es decir algún otro material tal como el aire o el agua y, como consecuencia, las ondas pueden sufrir *reflexión*, *refracción*, *distorsión*, etc. Lo cual puede traducirse en un cambio de intensidad, dirección y ángulo de propagación de las ondas originales.



De esta manera, es posible aplicar el método de ultrasonido para determinar ciertas características de los materiales tales como:

- Velocidad de propagación de ondas.
- Tamaño de grano en metales.
- Presencia de discontinuidades (grietas, poros, laminaciones, etc.)
- Adhesión entre materiales.
- Inspección de soldaduras.
- Medición de espesores de pared.

Como puede observarse, con el método de ultrasonido es posible obtener una evaluación de la condición interna del material en cuestión. Sin embargo, el método de ultrasonido es más complejo en practica y en teoría, lo cual demanda personal calificado para su aplicación e interpretación de indicaciones o resultados de prueba

Radiografía

La radiografía como método de prueba no destructivo, se basa en la capacidad de penetración que caracteriza principalmente a los Rayos X y a los Rayos Gama. Con este tipo de radiación es posible irradiar un material y, si internamente, este material presenta cambios internos considerables como para dejar pasar, o bien, retener dicha radiación, entonces es posible determinar la presencia de dichas irregularidades internas, simplemente midiendo o caracterizando la radiación incidente contra la radiación retenida o liberada por el material.

Comúnmente, una forma de determinar la radiación que pasa a través de un material, consiste en colocar una película radiográfica, cuya función es cambiar de tonalidad en el área que recibe radiación. Este mecanismo se puede observar más fácilmente en la figura de abajo. En la parte de arriba se encuentra una fente radiactiva, la cual emite radiación a un material metálico, el cual a su vez presenta internamente una serie de poros, los cuales por contener aire o algún otro tipo de gas, dejan pasar más cantidad de radiación que en cualquier otra parte del material. El resultado queda plasmado en la película radiográfica situada en la parte inferior del material metálico.



Como puede observarse el método de radiografía es sumamente importante, ya que nos permite obtener una visión de la condición interna de los materiales. De aquí que sea ampliamente utilizada en aplicaciones tales como:

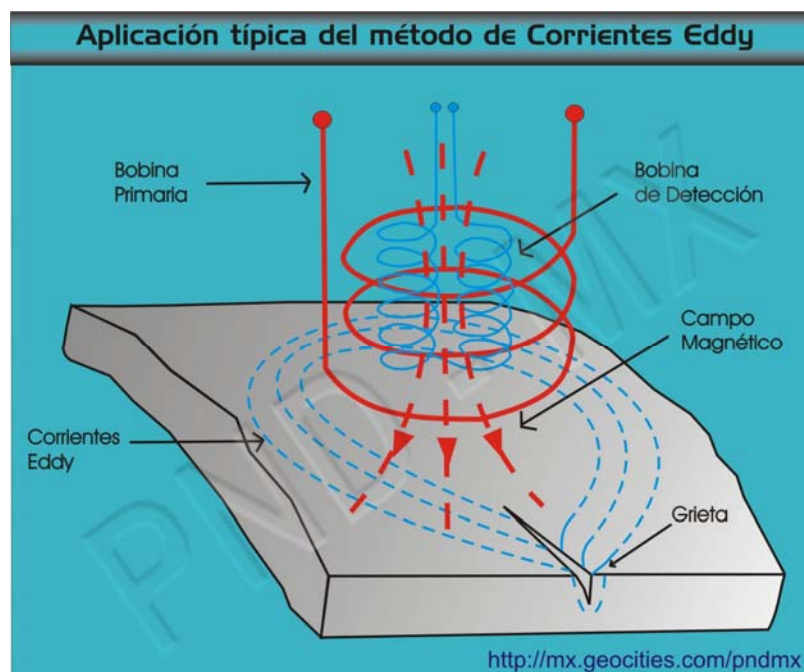
- Medicina.
- Evaluación de Soldaduras.
- Control de calidad en la producción de diferentes productos.
- Otros

Sin embargo, este método también tiene sus limitaciones. El equipo necesario para realizar una prueba radiográfica puede representar una seria limitación si se considera su costo de adquisición y mantenimiento. Más aún, dado que en este método de prueba se manejan *materiales radiactivos*, es necesario contar con un permiso autorizado para su uso, así como también, con detectores de radiación para asegurar la integridad y salud del personal que realiza las pruebas radiográficas

Pruebas electromagnéticas

Las pruebas electromagnéticas se basan en la medición o caracterización de uno o más campos magnéticos generados eléctricamente e inducidos en el material de prueba. Distintas condiciones, tales como discontinuidades o diferencias en conductividad eléctrica pueden ser las causantes de la distorsión o modificación del campo magnético inducido (ver figura abajo).

La técnica más utilizada en el método electromagnético es la de Corrientes de Eddy. Esta técnica puede ser empleada para identificar una amplia variedad de condiciones físicas, estructurales y metalúrgicas en materiales metálicos ferromagnéticos y en materiales no metálicos que sean eléctricamente conductores. De esta forma, la técnica se emplea principalmente en la detección de discontinuidades superficiales. Sus principales aplicaciones se encuentran en la medición o determinación de propiedades tales como la conductividad eléctrica, la permeabilidad magnética, el tamaño de grano, dureza, dimensiones físicas, etc., también sirve para detectar, traslapes, grietas, porosidades e inclusiones.



Este tipo de pruebas ofrecen la ventaja de que los resultados de prueba se obtienen casi en forma instantánea, además dado que lo único que se requiere es inducir un campo magnético, no hay necesidad de tener contacto directo con el material de prueba, con esto se minimiza la posibilidad de causar algún daño al material de prueba. Sin embargo, la técnica está limitada a la detección de discontinuidades superficiales y a materiales conductores.

Pruebas de fuga

Las pruebas de detección de fugas son un tipo de prueba no destructiva que se utiliza en sistemas o componentes presurizados o que trabajan en vacío, para la detección, localización de fugas y la medición del fluido que escapa por éstas. Las fugas son orificios que pueden presentarse en forma de grietas, fisuras, hendiduras, etc., donde puede recluirse o escaparse algún fluido.

La detección de fugas es de gran importancia, ya que una fuga puede afectar la seguridad o desempeño de distintos componentes y reducen enormemente su confiabilidad. Generalmente, las pruebas de detección de fugas se realizan:

- Para prevenir fugas de materiales que puedan interferir con la operación de algún sistema.
- Para prevenir fuego, explosiones y contaminación ambiental, o daño al ser humano.
- Para detectar componentes no confiables o aquellos en donde el volumen de fuga exceda los estándares de aceptación.

El propósito de estas pruebas es asegurar la confiabilidad y servicio de componentes y prevenir fallas prematuras en sistemas que contienen fluidos trabajando a presión o en vacío. Los componentes o sistemas a los cuales generalmente se les realiza pruebas de detección fugas son:

Recipientes y componentes herméticos

Para prevenir la entrada de contaminación o preservar internamente los fluidos contenidos. Por ejemplo: dispositivos electrónicos, circuitos integrados, motores y contactos sellados.

Sistemas herméticos

Para prevenir la pérdida de los fluidos contenidos. Por ejemplo: sistemas hidráulicos y de refrigeración; en la industria petroquímica: válvulas, tuberías y recipientes.

Recipientes y componentes al vacío

Para asegurar si existe un deterioro rápido del sistema de vacío con el tiempo. Por ejemplo: tubos de rayos catódicos, artículos empacados en vacío y juntas de expansión.

Sistemas generadores de vacío

Para asegurar que las fugas se han minimizado y mejorar su desempeño.

Las pruebas de fuga comúnmente utilizadas se basan en uno o más de los siguientes principios:

TIPOS DE PRUEBAS DE FUGAS

Ultrasonido

Este ensayo comúnmente se aplica en la detección de fugas de gas en líneas de alta presión. Dependiendo de la naturaleza de la fuga, el gas al escapar, produce una señal ultrasónica que puede detectarse con una sensibilidad aproximada de $10^{-3} \text{ cm}^3/\text{s}$.

Por Burbujeo

Este ensayo se basa en el principio de generación o liberación de aire o gas de un contenedor, cuando este se encuentra sumergido en un líquido. Se emplean frecuentemente en instrumentos presurizados, tuberías de proceso y recipientes. Es una prueba más bien cualitativa que cuantitativa, ya que es difícil determinar el volumen de la fuga.

Por Tintas Penetrantes

Consiste en rociar tintas penetrantes en las zonas de alta presión donde se desea detectar fugas. Si existe alguna fuga, la presión diferencial del sistema hará filtrar la tinta hacia el lado de baja presión del espécimen ensayado.

Por Medición de Presión

Este tipo de prueba se utiliza para determinar si existen flujos de fuga aceptables, determinar si existen condiciones peligrosas y para detectar componentes y equipo defectuoso. Se puede obtener una indicación de fuga relativamente exacta al conocer el volumen y presión del sistema y los cambios de presión respecto al tiempo que provoca la fuga.

Algunas ventajas de este método son que se puede medir el flujo total de la fuga independientemente del tamaño del sistema y que no es necesario utilizar fluidos trazadores.

Por Detección de Halógenos (Diodo de Halógeno)

Este tipo de prueba es más sensitivo que los anteriores. Fugas tan pequeñas como 10^{-5} cm³/s pueden detectarse con facilidad. Las dos limitantes de este ensayo son que se necesitan gases de trazado especiales y el uso de calentadores de alta temperatura, lo cual resulta inconveniente en ambientes peligrosos.

Por Espectrómetro de Helio

Se considera la técnica de detección de fugas, tanto industrial como de laboratorio, más versátil. Tiene las mismas limitantes que el ensayo por detección de halógenos porque se requiere de helio como gas de trazado y, el tubo del espectrómetro se mantiene a alta temperatura mediante filamentos calefactores. Sin embargo, el helio es completamente inerte y menos caro que los gases halógenos. La sensibilidad es del orden de 10^{-11} cm³/s.

Con Radioisótopos trazadores

En esta técnica se utilizan radioisótopos de vida corta como fluidos trazadores para probar cavidades selladas herméticamente y circuitos cerrados de tubería. La pérdida de flujo o la detección del gas trazador en sitios no esperados son la evidencia de fuga. Esta técnica tiene la misma sensibilidad que el ensayo por Espectrómetro de Helio, aunque es más caro y es necesario establecer medidas de seguridad adecuadas debido a la radiación.

La selección del método a utilizar generalmente se basa en el tipo de fuga a detectar, el tipo de servicio del componente en cuestión y el costo de la prueba. En cualquier caso es necesario, al igual que en otros métodos de pruebas no destructivas, que el personal que las realice este calificado en la aplicación de las mismas

Emisión acústica

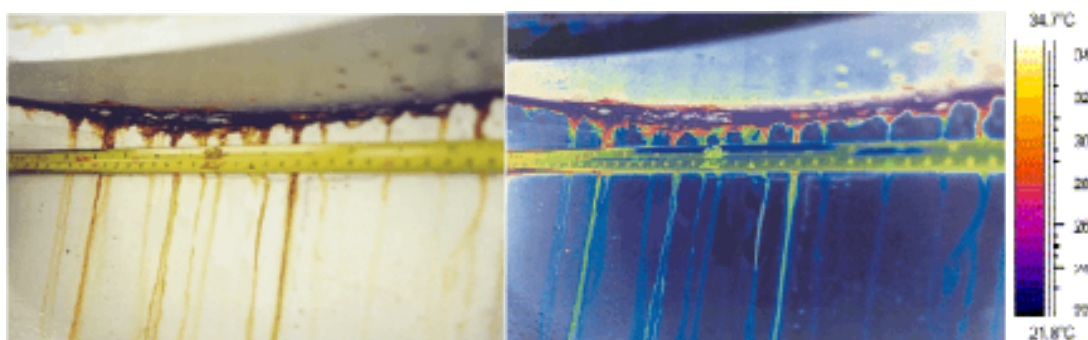
Hoy en día, uno de los métodos de pruebas no destructivas más recientes y, que ha venido teniendo gran aplicación a nivel mundial en la inspección de una amplia variedad de materiales y componentes estructurales, es sin duda el método de Emisión Acústica (**EA**).

Este método detecta cambios internos en los materiales o dicho de otra manera, detecta micro-movimientos que ocurren en los materiales cuando por ejemplo: existe un cambio micro-estructural, tal como lo son las transformaciones de fase en los metales, el crecimiento de grietas, la fractura de los frágiles productos de corrosión, deformación plástica, etc. La detección de estos mecanismos mediante **EA**, se basa en el hecho de que cuando ocurren, parte de la energía que liberan es transmitida hacia el exterior del material en forma de ondas elásticas (sonido), es decir, emiten sonido (emisión acústica). La detección de estas ondas elásticas se realiza mediante el uso de sensores piezo-eléctricos, los cuales son instalados en la superficie del material. Los sensores, al igual que en el método de ultrasonido, convierten las ondas elásticas en pulsos eléctricos y los envía hacia un sistema de adquisición de datos, en el cual se realiza el análisis de los mismos.

Rayos infrarrojos

La principal técnica empleada en las pruebas infrarrojas es la *Termografía Infrarroja (TI)*. Esta técnica se basa en la detección de áreas calientes o frías mediante el análisis de la parte infrarroja del espectro electromagnético. La radiación infrarroja se transmite en forma de calor mediante ondas electromagnéticas a través del espacio. De esta forma, mediante el uso de instrumentos capaces de detectar la radiación infrarroja, es posible detectar discontinuidades superficiales y sub-superficiales en los materiales.

Generalmente, en la técnica de **TI** se emplea una o más cámaras que proporcionan una imagen infrarroja (termograma), en cual las áreas calientes se diferencian de las áreas frías por diferencias en tonalidades. Como ejemplo, podemos observar la termografía de abajo, en la cual los tonos amarillos y rojizos representan las áreas calientes y los tonos azules y violetas representan las áreas frías.



De esta forma uno puede obtener un termograma típico de una pieza o componente sin discontinuidades. Posteriormente, si hubiese alguna discontinuidad, ésta interrumpirá el flujo o gradiente térmico normal, lo cual será evidente en el termograma.

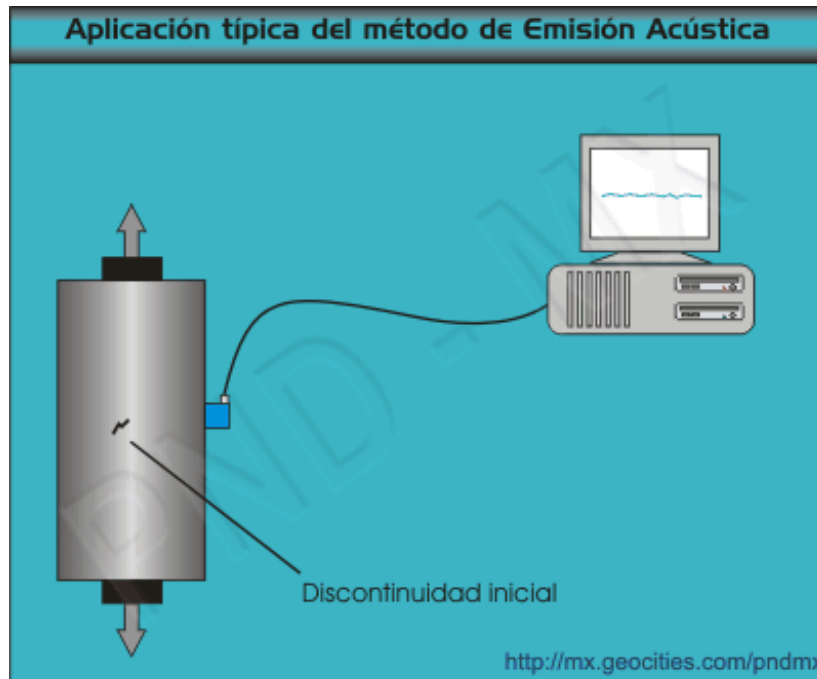
La técnica de **TI** ofrece grandes ventajas: no se requiere contacto físico, la prueba se efectúa con rapidez incluso en grandes áreas, los resultados de la prueba se obtienen en forma de una imagen o fotografía, lo cual agiliza la evaluación de los mismos.

En general, existen dos principales técnicas de **TI**: La *termografía pasiva* y la *termografía activa*.

Técnicas de Termografía Infrarroja	
Termografía Pasiva	Consiste en simplemente obtener un termograma del componente en cuestión, sin la aplicación de energía. El componente por si mismo proporciona la energía para generar la imagen infrarroja. Ejemplos de la aplicación de ésta técnica los encontramos por ejemplo en la evaluación de un motor funcionando, maquinaria industrial, conductores eléctricos, etc.
Termografía Activa	En esta técnica, para obtener un termograma, es necesario inducir cierta energía al material o componente en cuestión. Muchos componentes, dadas sus condiciones de operación y servicio, son evaluados en forma estática o a temperatura ambiente, lo cual da lugar a que el termograma que se obtenga, presente un patrón o gradiente térmico uniforme, es en este tipo de situaciones en que la termografía activa tiene uso. Así, esta técnica puede ser empleada en la detección de laminaciones o inclusiones, las cuales representan variaciones en conducción de calor y por lo tanto son evidentes en el termograma.

Hoy en día la termografía infrarroja se utiliza exitosamente en numerosas aplicaciones, entre las cuales podemos nombrar: discontinuidades sub-superficiales y superficiales como la corrosión, resistencia eléctrica, inclusiones, pérdida de material, grietas, esfuerzos residuales, deficiencias

en espesores de recubrimiento, etc. El principal inconveniente puede ser el costo del equipo. Sin embargo, los resultados se obtienen rápidamente y la evaluación es relativamente sencilla, por lo que no se requiere mucho entrenamiento en el uso y aplicación de la técnica



La inspección de tanques atmosféricos de almacenamiento, recipientes a presión tuberías, puentes, reactores, transformadores, etc., son solo algunos ejemplos de las numerosas aplicaciones que tiene el método de **EA** a escala mundial.

Es importante mencionar que el método de **EA**, solamente indica áreas con actividad acústica asociada con la presencia de discontinuidades y no proporciona información acerca del tipo, dimensiones y orientación de la discontinuidad que genera dicha actividad acústica. Por tal, este método en muchas ocasiones se utiliza complementariamente con otros métodos de inspección. Primero, con el método de **EA** se detectan aquellas áreas con actividad acústica significativa y, posteriormente se aplica algún otro método no destructivo como el ultrasonido o las partículas magnéticas y se obtiene el detalle de la discontinuidad que generó dicha actividad acústica. Actualmente, muchas investigaciones se están llevando a cabo con el objetivo de poder determinar no solamente áreas con actividad acústica sino también el tipo de discontinuidad que la está generando. Estas investigaciones incluyen estudios más avanzados acerca de la forma de onda de las señales, su procesamiento mediante algoritmos de redes neurológicas, modos de propagación de ondas, simulación mediante elementos finitos, etc.