

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE MATERIALES

LECTURAS DE INGENIERÍA 25

SOLDADURA Y PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS



RECOPILO:

Mtro. FELIPE DÍAZ DEL CASTILLO RODRIGUEZ

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO.

2017-2

INTRODUCCIÓN

El Ingeniero de hoy no debe ni puede utilizar los materiales empíricamente; requiere un conocimiento de ellos que además de enseñarle “¿cómo?” debe utilizarlos, le permita saber el “¿por qué?”. Sin “ello”, no sólo no podría nunca realizar una obra técnicamente perfecta, ya que no habría de lograr más que casualmente aprovechar el máximo rendimiento de los materiales, sino que se expone a graves fracasos.

La complejidad extraordinaria de aplicaciones a las que se someten los materiales y los reducidos coeficientes de seguridad que la ligereza y economía de la obra imponen, junto con la enorme gama de aleaciones existentes, imposibilitan una utilización empírica y sólo el conocimiento científico de los materiales nos otorga una orientación para lograr la utilización racional.

El Ingeniero debe saber, ante todo, elegir un material adecuado para la obra a realizar, lo que le exige el conocimiento de las propiedades después de adquirir el material, para lo cual debe saber imponerle condiciones y saber comprobar si las cumple, con el fin de seleccionar las buenas de las malas calidades. Después, tiene que manipular aquellos metales, dándoles los tratamientos mecánicos y térmicos que sean más convenientes a los mismos y a las condiciones de trabajo que se les exigen. Finalmente, debe controlar su utilización para que los elementos fabricados se conserven con eficiencia el mayor tiempo posible. Difícil sería esta labor sin otros fundamentos que los conocimientos empíricos de manuales o catálogos.

En esta lectura se presenta una introducción a los métodos de soldadura más utilizados hoy en día, así como las Pruebas no Destructivas más comunes.

Como siempre, cualquier sugerencia o corrección será bien recibida.

ATTE.

Prof. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez.

INTRODUCCIÓN

Desde finales del siglo XIX hasta la actualidad, los procesos de soldadura han ido evolucionando rápidamente, con métodos cada vez más confiables y de bajo costo. Luego de la Primera y Segunda Guerra Mundial fueron desarrolladas varias técnicas modernas de soldadura, incluyendo métodos manuales como la Soldadura de metal por arco, así como procesos semiautomáticos y automáticos tales como Soldadura GMAW, soldadura de arco sumergido, soldadura de arco con núcleo de fundente y soldadura por electroescoria. Más recientes son las soldadura por rayo láser y la soldadura robotizada, muy utilizada en las instalaciones industriales.

En todos los casos, una buena soldadura requiere personal altamente calificado y con requisitos específicos en cada proceso para lograr una unión perfecta de las piezas a soldar.

En la industria metalúrgica, el 90% de los conjuntos (piezas armadas) se unen con soldadura, de tal modo que la capacitación del personal en este tema es fundamental, ya que si no se realiza por personal especializado, no hay calidad alguna.

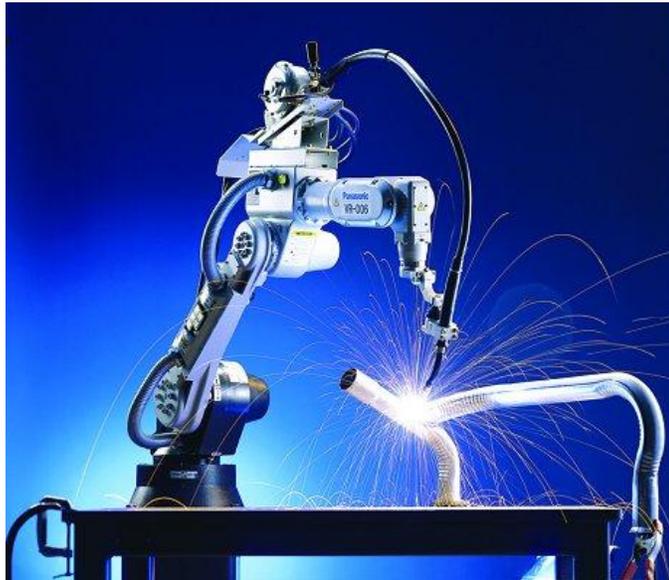


Figura 1. Soldadura robotizada (<http://www.interempresas.net/Robotica/FeriaVirtual/Producto-Robots-de-soldadura-Panasonic-91.html>)

Si bien cada proceso posee características particulares, todos se caracterizan por la unión de dos materiales, generalmente metales o termoplásticos, en la cual las piezas son soldadas fundiendo ambas que, al enfriarse, se convierte en una unión fija.

Se puede decir que en la actualidad, la soldadura es un proceso de fabricación que se aplica a muchas ramas de la actividad industrial. Diversas industrias como la autopartista, agrícola y la industria de electrodomésticos, utilizan diferentes técnicas de soldadura para la obtención de productos, siendo éste un proceso clave, ya que una buena soldadura determinará entre otros elementos, la calidad del producto final.

Los ensayos no destructivos se han practicado por muchas décadas. Se tiene registro desde 1868 cuando se comenzó a trabajar con campos magnéticos. Uno de los métodos más utilizados fue la detección de grietas superficiales en ruedas y ejes de ferrocarril. Las piezas eran sumergidas en aceite, y después se limpiaban y se esparcían con un polvo. Cuando una grieta estaba presente, el aceite que se había filtrado en la discontinuidad, mojaba el polvo que se había esparcido, indicando que el componente estaba dañado. Esto condujo a formular nuevos aceites que serían utilizados específicamente para realizar éstas y otras inspecciones, y esta técnica de inspección ahora se llama prueba por líquidos penetrantes (PT).

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

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

CAPITULO 1

EL PROCESO DE SOLDADURA

1.1 El origen de la soldadura.

El origen de la soldadura como tecnología para unir materiales metálicos data de la Edad de Bronce donde se pueden encontrar algunos de los primeros vestigios de soldadura utilizados para fines ornamentales.

Tiempo después se encontró piezas de hierro forjado pertenecientes a la Edad de Hierro las cuales habían sido unidas (calentándolas y martillándolas juntas) abriendo dado origen a la soldadura por forjado.

En la Edad Media se utilizaba soldadura en fase sólida la cual disminuía el mineral de hierro a hierro metálico sin la necesidad de fundirlo.

Sin embargo gracias a la soldadura por fusión se pudo resolver el problema de unir chapa, la cual utilizaba una fuente de calor suficientemente intensa para fundir los bordes de ambas chapas.

Al final del siglo XIX fuentes de calor estuvieron disponibles a una escala industrial, apareciendo así la soldadura oxi-gas, la soldadura por resistencia y la soldadura por arco eléctrico.

En la soldadura por arco eléctrico con electrodo consumible inicialmente se utilizaban electrodos de alambre desnudo pero el resultado era una soldadura con alto contenido de nitrógeno otorgándole fragilidad.

En 1809 Sir Humphry Davy descubre que la electricidad puede ser conducida a través del aire entre dos electrodos de carbono (grafito) lo que ahora conocemos como descarga gaseosa.

En 1885 Bernados y Olszewski patentaron el proceso en el cual es posible reproducir el mismo fenómeno pero ahora entre un electrodo de carbono y una pieza metálica, el calor generado provoca una fusión localizada la cual nos permite unir piezas, pero así mismo era necesario aportar un material adicional para llenar el espacio entre las dos chapas a unir.

En 1892 a Slawianoff se le ocurrió que si la varilla fuera usada como cátodo en lugar del electrodo de carbono esta se fundiría por el calor que genera el catodo y a su vez una mayor proporción de calor disipado en el arco eléctrico entraría a la soldadura. Sin embargo la soldadura final de esta técnica era de baja calidad debido a la reacción que provoca el metal fundido con la atmosfera del arco a alta temperatura.

El fortuito éxito de la soldadura por arco con electrodo de carbono se debe a que genera una atmosfera de CO₂ y CO que protegía la pileta líquida del aire, rico en oxígeno y nitrógeno.

En 1907 se le adjudicaron al sueco O. Kjellberg las primeras patentes de la idea de aplicar recubrimientos protectores al electrodo siendo el mismo quien fundaría tiempo después la empresa ESAB (Elektriska Svetsnings-Aktiebolaget) dedicada a la fabricación de equipo para soldadura y corte de materiales.

Una de las primeras técnicas fue desarrollada en Bretaña donde se utilizaba una tela impregnada con asbestos alrededor del alambre metálico lo que generaba una mejor protección en contra de la contaminación.

Para la Primera Guerra Mundial en Estados Unidos, no se tenía asbesto por lo que se utilizó como sustituto fibras de algodón impregnadas en silicato de sodio húmedo. Este revestimiento es capaz de estabilizar el arco, creando una atmósfera protectora del oxígeno y del nitrógeno del aire y una escoria, que ahora son los principales requerimientos de un revestimiento moderno. De esta manera la soldadura adquiriría un lugar importante en la construcción de estructuras de ingeniería.

Los procesos de soldadura se han desarrollado a una gran velocidad, dando como resultado que una gran mayoría de los materiales metálicos actualmente utilizados en la industria puedan ser soldados por algunos de los procesos de soldadura ya existentes, figura 1.1.

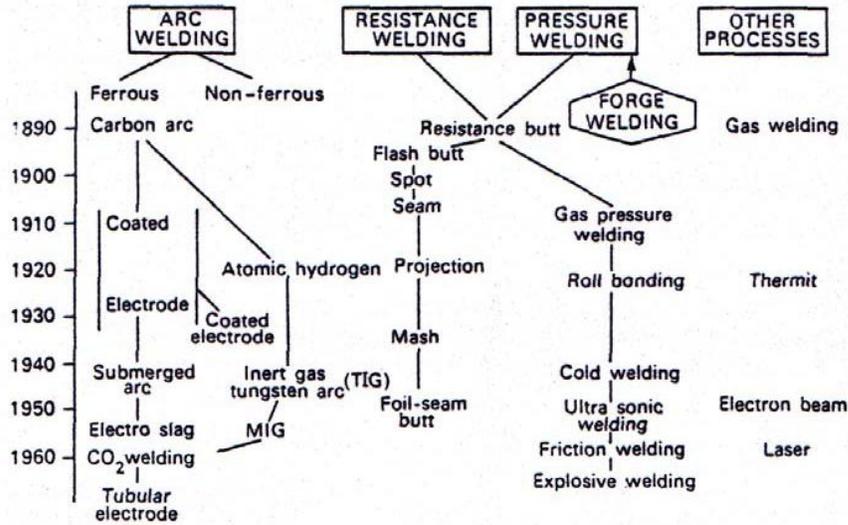


Figura 1.1. Esquema representativo de la evolución histórica de los distintos procesos de soldadura.

1.2 Algunos métodos de soldadura y descripción.

Soldadura Oxigás.

Este tipo de soldadura es un proceso por fusión en el cual utilizamos el calor producido de la llama la cual es obtenida de la de la combustión de un gas y el oxígeno para finalmente fundir el metal base y si se emplea el metal aportado.

Para conseguir la adecuada combustión necesitamos:

- Un gas combustible (acetileno, gas natural, propano... etc.).
- Un gas comburente (oxígeno).

Cuando se desea soldar con algún material de aportación, este metal deberá aplicarse mediante una varilla, independientemente de nuestra fuente de calor, lo que distingue una de nuestras principales características del procedimiento.

La protección del baño de fusión es realizada por los propios gases de la llama, aunque en algún caso es necesario el empleo de desoxidantes.

Los diferentes nombres que se denominan a este proceso son:

- 31, soldadura oxigás (EN 24063)
- OFW, Oxy-fuel gas welding (ANSI/AWS A3.0)

Si se utiliza acetileno como gas combustible el proceso se denomina:

- 311, soldadura oxiacetilénico (EN 24063)
- OAW, Oxy-acetylene welding (ANSI/AWS A3.0)

Ventajas:

- El soldador tiene control sobre la fuente de calor y la temperatura de una forma independiente al control del metal de aportación.
- El equipo de soldadura necesario para este procedimiento es de bajo costo, regularmente portátil y versátil ya que puede ser utilizado para otras operaciones relacionadas con el soldadura como: oxicorte, pre y pos calentamiento, enderezado, doblado...etc. Con solo intercambiar o añadir algún accesorio.

Limitaciones:

- Se producen deformaciones y tensiones internas causadas por un elevado aporte térmico debido a la lenta velocidad de soldadura.
- Este proceso es lento, de una baja productividad y para espesores pequeños exclusivamente. Ya que aunque se pueda aplicar a espesores grandes resulta más económico para estos utilizar el soldadura por arco eléctrico.

Aplicaciones:

Las ventajas previamente enunciadas hacen que el soldadura oxigas sea el indicado para:

- Trabajos en campo.
- Pequeñas producciones.
- Reparaciones por soldadura.
- Pequeños espesores.
- Soldaduras con cambios de dirección o posición bruscos.

Con este proceso pueden soldarse metales y aleaciones férreas y no férreas, a excepción de metales refractarios, que pueden ser utilizados a altas temperaturas (volframio, molibdeno y tantalio) y de los activos (titanio y circonio).

Equipo de soldadura oxiacetilénico.

La principal función de estos equipos es suministrar la mezcla de gases (combustible y comburente) a una velocidad, presión y proporción adecuadas.

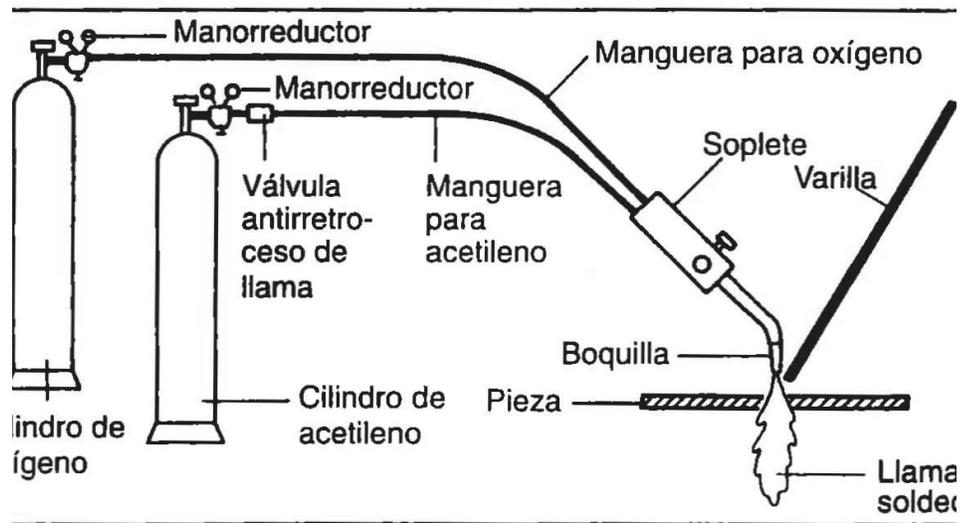


Figura 1.2. El equipo de oxiacetileno

Soldadura por Arco con Electrodo Revestidos

Es un proceso en el cual la fusión del metal se origina gracias al calor suministrado por un arco eléctrico establecido entre el extremo del electrodo revestido y el metal base de una unión a soldar.

El material de aportación se extrae de la fusión del electrodo en forma de pequeñas gotas (ver figura 1.3). La protección es generada por la descomposición del revestimiento en forma de gases y en forma de escoria líquida la cual flota sobre el baño de fusión y eventualmente se solidifica.

La soldadura por arco con electrodo revestido se le conoce por las siguientes denominaciones:

- SMAW. Shielded metal-arc welding (ANSI/AWS A3.0)
- 111, Soldadura metálica por arco con electrodo revestido (EN 24063)
- MMAW, Manual metal-arc welding (Reino Unido).

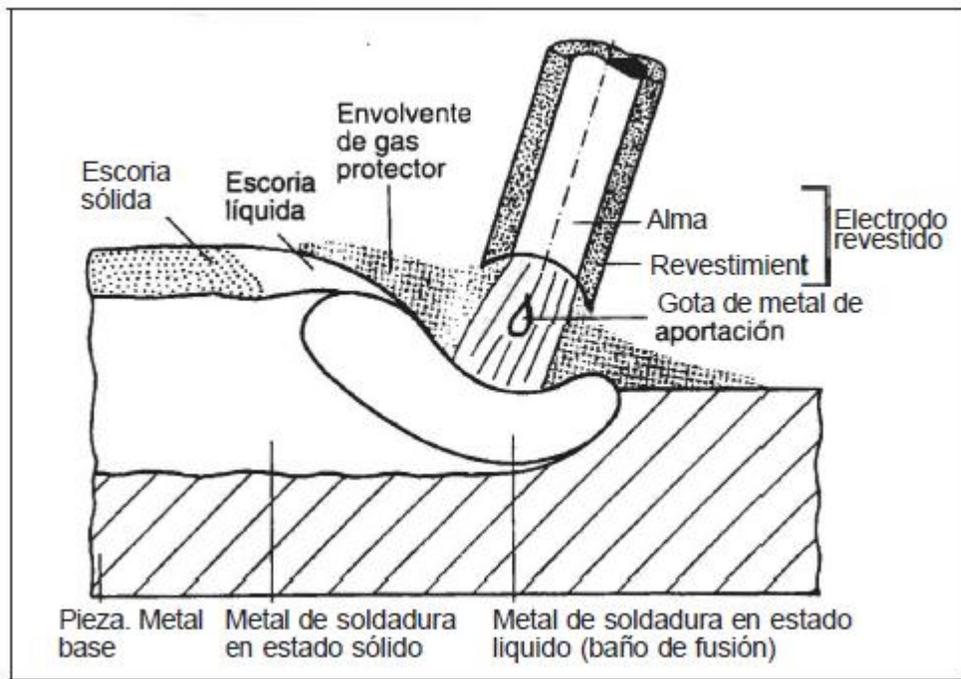


Figura 1.3 descripción del proceso

Ventajas:

- Este equipo se considera relativamente sencillo, no muy caro y portable.
- Tanto como el metal de aportación y medios para su protección durante el soldadura se originan del propio electrodo revestido. No se requiere una protección adicional por medio de gases auxiliares o fundentes granulares.
- Aunque es menos sensible al viento y a las corrientes de aire que procesos con protección gaseosa este debe emplearse siempre protegido del viento, lluvia y nieve.
- De muy fácil el manejo ya que puede usarse en cualquier posición, lugares abiertos o cerrados o con restricciones de espacio. No necesita conducciones de agua ni tuberías de gases de protección, por lo que relativamente puede ser usado en lugares alejados de la fuente de energía.
- Aplicable a espesores variados (en general mayores de 2 mm.).
- Aplicable a la mayoría de los metales y aleaciones de uso normal.

Limitaciones:

- No es un proceso rápido, debido a la necesidad de retirar escoria y la baja tasa de deposición razones por las cuales ha sido desplazado por otros procesos en algunas aplicaciones.

- Este proceso requiere de una gran habilidad por parte del soldador.
- Para metales como el plomo, estaño, zinc, y aleaciones no es aplicable dado su bajo punto de fusión ya que el calor del arco es excesivo para estos. De igual forma para metales como titanio, niobio, tantalio, circonio no es aplicable debido a su alta sensibilidad a la oxidación ya que la protección que proporciona es insuficiente para evitar la contaminación por oxígeno de la soldadura
- No es aplicable a espesores por debajo de 1.5-2mm.
- A pesar de que teóricamente se puede soldar cualquier espesor por encima de 1.5mm, este proceso no resulta provechoso para espesores mayores a 38mm.

Aplicaciones:

Utilizado especialmente en soldaduras de producciones cortas, trabajos de mantenimiento y reparación y construcciones de campo.

La mayor parte de aplicaciones de este proceso se da en espesores comprendidos entre 3 y 38mm.

Es aplicable a aceros al carbono, aceros aleados, inoxidable, fundiciones y metales no ferreos como aluminio, cobre, níquel y sus aleaciones.

Los sectores con una mayor aplicación serían la construcción naval, de máquinas, estructuras, tanques, puentes, recipientes a presión, calderas, refineries de petróleo, oleoductos y cualquier tipo de trabajo similar.

Pueden ser empleados en combinación con otros procesos, realizando la pasada de raíz o las de relleno.

Equipo de soldadura.

El equipo para este proceso de soldadura es muy sencillo (ver figura 1.4) el cual consiste en fuente de energía, porta electrodo, conexión y cables de soldadura.

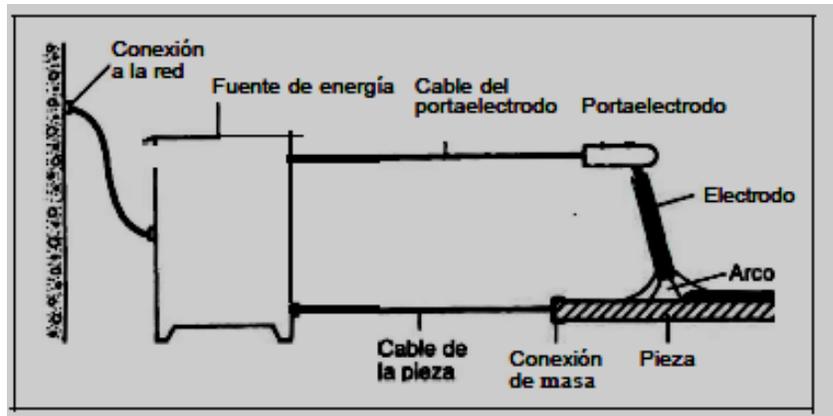


Figura 1.4. Equipo de soldadura de arco con electrodo revestido

Introducción al Soldadura por Arco Protegido con Gas

Los procesos de soldadura por arco protegidos por gas más comunes son:

- Soldadura TIG.
- Soldadura MIGIMAG.
- Soldadura por plasma.

La principal función de los gases de protección es evitar que el metal, el baño de fusión y el electrodo se oxiden o contaminen con impurezas. Ya que si el aire entrara en contacto con el metal ya fundido el oxígeno del aire produciría óxido, el nitrógeno causaría porosidad y la humedad tanto porosidad como grietas.

Otra importante función de los gases de protección es la de hacer más fácil la transferencia de material en la soldadura por arco, ionizándose para lograr el estabilizar el arco y la formación de la columna de plasma.

Gases de protección.

Básicamente se utilizan 3 gases como protección durante el proceso de soldadura.

- Argón.
- Helio
- Dióxido de Carbono

Estos gases pueden usarse separados o mezclados entre sí. En algunos casos se añade:

- Oxígeno.
- Hidrógeno.
- Nitrógeno

Propiedades de los gases.

Las características o propiedades a tener en consideración de los gases son:

- Energía de ionización
- Densidad
- Conductividad

Energía de ionización.

Al establecerse el arco eléctrico el gas circulante se ioniza, en otras palabras se produce la separación, con carácter reversible.

También los gases formados por más de un átomo como el nitrógeno o el hidrogeno se disocian, es decir se produce la separación con carácter reversible de sus iones en los átomos.

Para obtener estos fenómenos (ionización y disociación), es necesario suministrar al gas una energía denominada respectivamente (de ionización y disociación).

En ambos casos esta energía es suministrada por el arco eléctrico durante el proceso de soldadura.

Cuando el gas (ionizado o disociado) entra en contacto con la pieza a soldar se enfría y el plasma se convierte de nuevo en gas, es decir tanto los iones y átomos se unen de nuevo formando el mismo gas previo a la operación de soldadura. Al unirse los átomos es liberada la energía de ionización o disociación que es transmitida a la pieza.

Densidad.

En tanto mayor sea la densidad del gas, se necesitara menor caudal para obtener la misma protección ya que cubrirá de forma más fácil la zona de soldadura.

Conductividad térmica.

El término se refiere a la facilidad para transmitir el calor. En tanto la conductividad térmica sea grande la distribución de temperatura en el arco será más homogénea, originando cordones más anchos y penetración más uniforme.

TIG

El soldadura por arco bajo gas protector con electrodo no consumible se llama TIG (Tungsten Inert Gas) utiliza como fuente de energía el arco eléctrico formado entre el electrodo no consumible y la pieza a soldar, mientras el gas inerte protege el baño de fusión.

El material de aportación, cuando de necesita utilizar, se aplica por medio de varillas como en el soldadura oxiacetilénico.

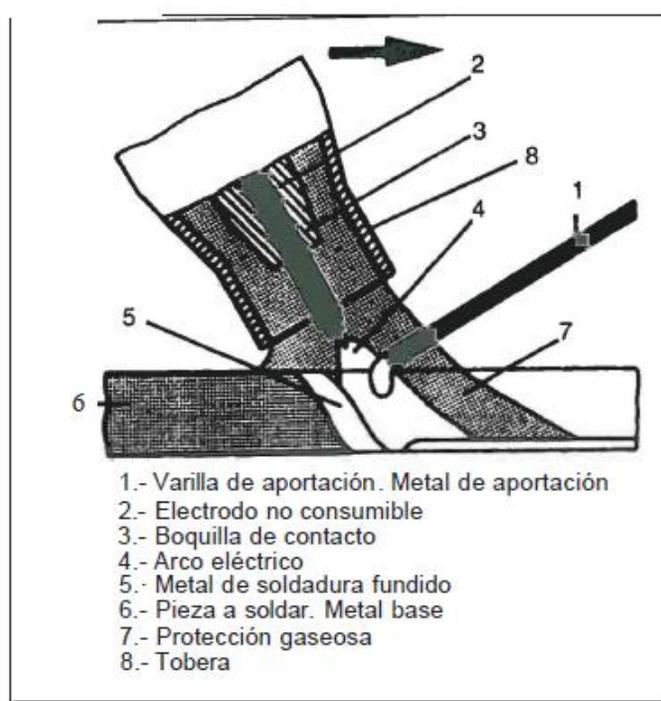


Figura 1.5 Esquema del proceso TIG.

La soldadura TIG también recibe las denominaciones de:

- GTAW, Gas Tungsten Arc Welding (ANSUAWS A3.0).
- 141, Soldadura por arco con electrodo de volframio y gas inerte (EN 24063).
- Soldadura por arco con electrodo de volframio (UNE 14-100).
- Gas-Shielded Tungsten-Arc Welding (Reino Unido).

Ventajas.

- Es un proceso adecuado para unir la mayoría de los metales.
- Arco estable y concentrado.
- Aunque en esencia es un proceso manual se ha automatizado para fabricaciones en serie.
- No se produce escoria.
- No se produce proyecciones (al no existir transporte de metal en el arco).
- Genera soldaduras lisas y regulares.
- Se puede utilizar con y sin el metal de aporte, todo dependiendo de la aplicación.
- Se puede usar en todo tipo de uniones y posiciones.
- Soldaduras de gran calidad
- Permite un control excelente de la penetración en la pasada de raíz.
- Permite control independiente de la fuente de energía y del metal de aportación.

Limitaciones.

- La tasa de deposición es baja en comparación con la que se puede conseguir con otros procesos de soldeo por arco (en soldadura automática esto se puede solucionar con la técnica de alambre caliente).
- En general la aplicación manual requiere de gran habilidad por parte del soldador.
- Para espesores mayores de 10mm no resulta económico.
- En corrientes de aire puede resultar difícil obtener una protección adecuada de la zona de soldadura.

Aplicaciones

Este proceso se puede utilizar en el soldadura de todos los materiales, incluido el aluminio y magnesio y materiales sensibles a la oxidación como titanio circonio y sus aleaciones.

Es ideal para soldaduras de responsabilidad en la industria del petróleo, química, petroquímica, alimentación, generación de energía nuclear, y aeroespacial.

Debido a que la tasa de deposición es baja, no resulta económico para la soldadura de materiales con espesores mayores de 6-8mm. En estos casos el TIG se usa para la pasada de raíz y después se emplean otros procesos de más productividad para las pasadas de relleno.

Factible también para realizar soldaduras por puntos y por costuras.

Equipo de soldadura requerido.

El equipo básico para el soldadura TIG consiste en una fuente de energía , porta electrodos, electrodos, cable de soldadura, botellas de gas inerte y manqueras para la conducción del gas.

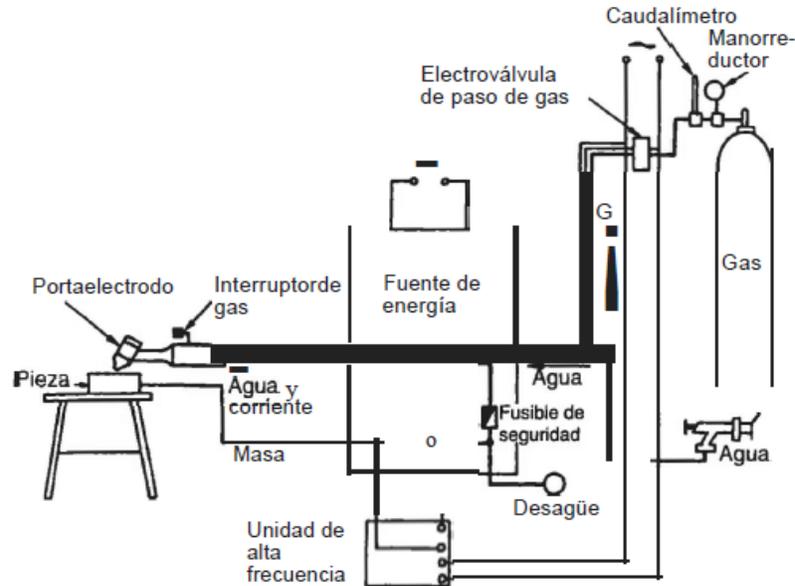


Figura 1.6. Instalación de soldadura TIG, con portaelectrodos refrigerado con agua y con unidad de alta frecuencia

MIG/MAG

La soldadura por arco eléctrico con protección de gas, es un proceso en el cual el calor necesario es generado por un arco que se origina entre un electrodo consumible y el metal a soldar.

Tanto el electrodo como el arco, metal fundido y zonas adyacentes del metal base quedan protegidas en contra de la contaminación de los gases atmosféricos mediante una corriente de Gas que se aporta por la tobera de la pistola, concéntricamente al alambre/electrodo. Proceso el cual queda representado en la figura 1.7

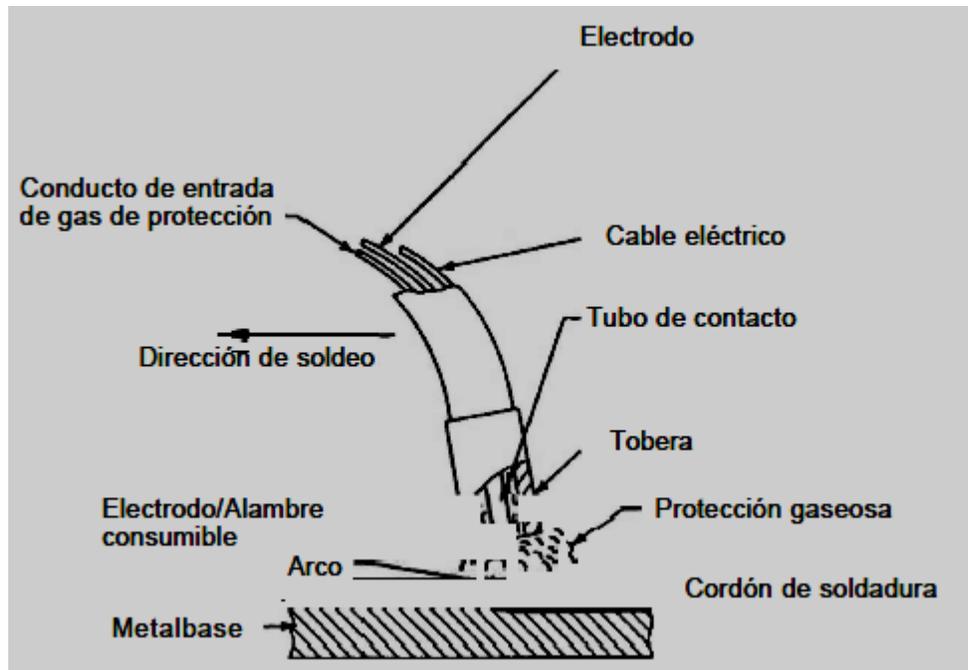


Figura 1.7. Soldadura por arco con gas.

El proceso de soldadura por arco con gas se denomina también:

- GMAW, gas metal arc welding (ANSUAWS A3.0)
- 13, Soldadura por arco con gas (EN 24063).

Si se emplea un gas inerte como protección el proceso se denomina:

- MIG, metal inert gas (ANSUAWS A3.0).
- 131, soldadura por arco con gas inerte (EN 24063).

Si se utiliza un gas activo como protección en el proceso se denomina:

- MAG, metal active gas (ANSUAWS A3.0).
- 135, soldadura por arco con gas activo (EN 24063).

Este proceso de soldadura puede ser automático o manual, al manual se le llama también semiautomático.

Ventajas.

- Se puede soldar cualquier tipo de material.
- La tasa de deposición es elevada y el electrodo es continuo por lo que no es necesario cambiarlo y aumenta la productividad.
- La velocidad de soldadura es mucho mayor a la conseguida con SMAW
- Se puede realizar cordones largos sin la necesidad de que existan empalmes entre cordones.
- No se necesita eliminar la escoria ya que esta no existe.

Limitaciones.

- El equipo para este proceso es más costoso, complejo y menos transportable que el de SMAW
- Es difícil trabajar en espacios restringidos y se necesita conducciones de gas y agua de refrigeración, tanques de gas de protección, tuberías por lo que no puede realizarse en lugares relativamente alejados de la fuente de energía.
- Es sensible a corrientes de aire así como al viento por lo que su uso al aire libre es limitada.

Equipo de soldadura.

- Fuente de energía.
- Fuente de suministro de gas.
- Sistema de alimentación de alambre.
- Pistola (refrigerada por aire o por agua)
- Sistema de control.
- Carrete de alambre/electrodo (de alambre que actúa como electrodo y como metal de aporte).
- Sistema de regulación para el gas de protección.
- Sistema de circulación de agua de refrigeración para las pistolas refrigeradas por agua.
- Cables y tubos o mangueras.

Soldadura con alambre tubular.

En este proceso llamado soldadura con alambre tubular el calor del arco establecido entre un alambre- electrodo consumible continuo y la pieza, genera la soldadura.

La protección es obtenida del fundente el cual se encuentra dentro del alambre tubular pudiéndose usar con o sin gas de protección adicional.

Este proceso combina las características de soldadura de electrodo revestido, soldadura por arco sumergido y el soldadura MIG/MAG.

Esta técnica se diferencia del soldadura MIG/MAG en el tipo de electrodo. Es un alambre hueco y relleno de fundente, el cual al momento de fundirse por acción del arco eléctrico, vierte un metal fundido protegido con una fina capa de escoria.

Dentro de este proceso se pueden encontrar 2 variantes:

- Auto protegido (self-shielded ó innershielded) figura 1.8: esta protege al baño de fusión por medio de la descomposición y vaporización del fundente.

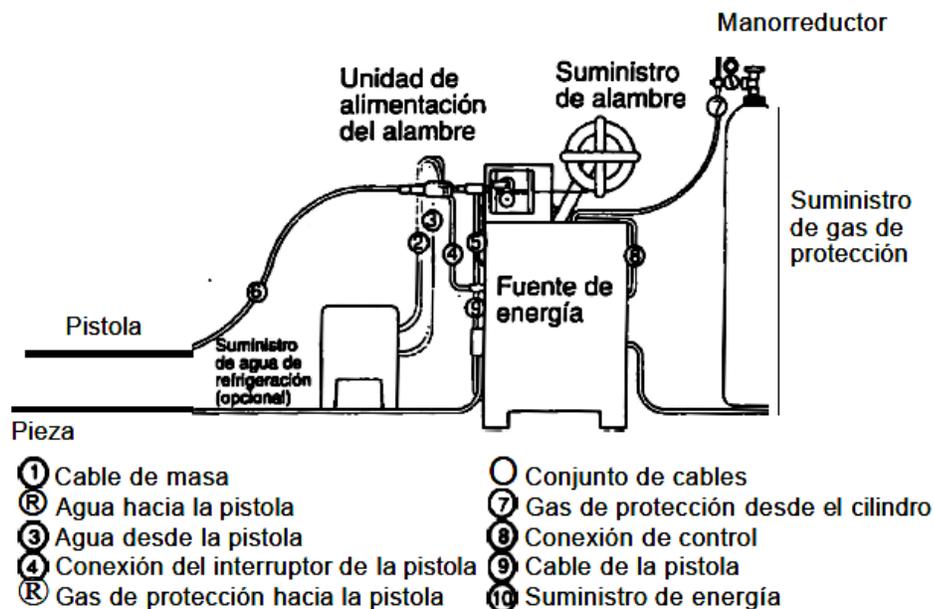


Figura 1.8. Equipo para soldadura MIG/MAG

- Con protección de gas (gas-shielded ó outershielded) figura 1.9: suelen ser CO₂ o mezclas entre argón y CO₂, que usa gas de protección además de la acción protectora del fundente.

En ambos casos el electrodo forma una escoria que cubre y protege el metal hasta que se solidifica y en ambos la protección obtenida del arco puede soportar el viento y los agentes atmosféricos en mayor grado que los procesos TIG, MIG/MAG.

Este es un proceso semiautomático aunque también puede usarse en una soldadura automatizada o mecanizada.

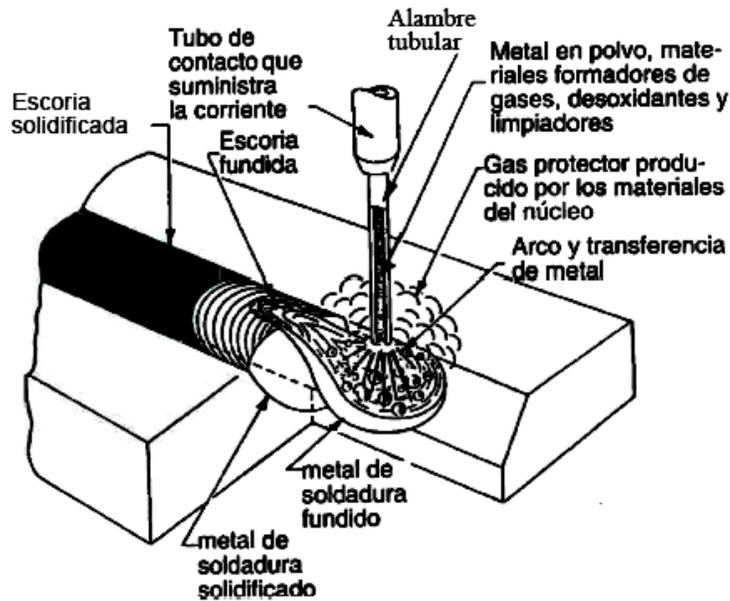


Figura 1.9. Proceso de alambre tubular autoprotegido

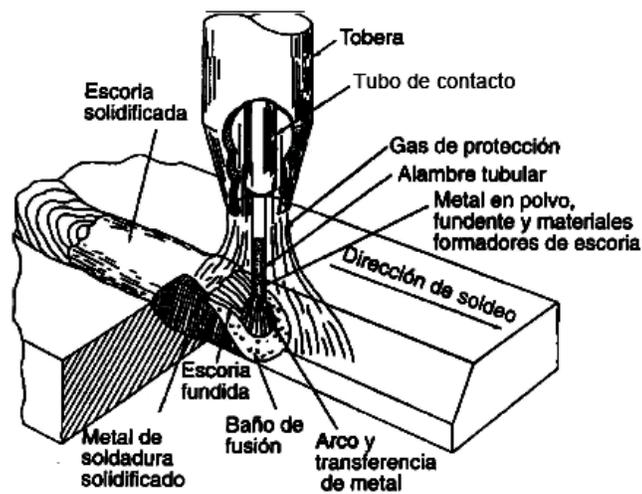


figura 1.9 PROCESO CON ALAMBRE TUBULAR CON PROTECCIÓN GASEOSA

Figura 1.10. Proceso con alambre tubular con protección gaseosa

Al proceso de soldadura con alambre tubular y protección gaseosa se le conoce como:

- FCAW-G, gas shielded flux cored arc welding (ANSYAWS A~.O).
- 136, Soldadura por arco con alambre tubular con protección de gas activo (EN 24063).
- 137, Soldadura por arco con alambre tubular con protección de gas inerte (EN 24063).

Al proceso de soldadura por arco con alambre tubular sin protección gaseosa se le conoce como:

- FCAW-S. self-shielded flux cored arc welding (ANSI/AWS A3.0).
- 114, Soldadura por arco con alambre tubular sin protección gaseosa (EN 24063).

Aplicaciones Ventajas y Limitaciones.

Es utilizado para aceros de bajo carbono, baja aleación inoxidables y fundiciones.

Para la correcta elección del proceso ya sea autoprotegido o protegido con gas depende de las propiedades mecánicas deseadas tipo de alambre disponible y tipo de unión. Por lo general se usa autoprotegido en las mismas aplicaciones en las que se usaría el soldadura con electrodo revestido.

Mientras que el protegido por gas se unas en aquellas aplicaciones en las que se usa MIG/MAG. De la misma forma que los electrodos revestidos, los alambres usados en este proceso generan por sí mismo el gas protector el cual se genera en el arco por lo que le afecta de una forma baja las corrientes de aire haciendo este mismo un proceso ideal para condiciones climatológicas adversas.

Una desventaja frente al proceso MIG/MAG es el tiempo requerido para retirar la escoria y puede tornarse en un proceso no competitivo, específicamente en las pasadas de raíz. Otra desventaja sería la alta cantidad de humo generado que se producen durante el soldadura.

Frente al soldadura con electrodo revestido, este proceso resalta gracias a una mayor productividad lo que genera una reducción de costo en el producto.

La mayor desventaja frente al soldadura con electrodo revestido es un mayor costo en el equipo, lo cual refleja una inversión inicial mayor.

Otras características del proceso de soldadura con alambre tubular.

- No requiere tanta limpieza del metal base al contrario del proceso MIG/MAG.
- Los electrodos son más caros que los macizos exceptuando a algunos aceros de alta aleación.
- Entre los campos de aplicación más común para este tipo de soldadura construcciones tales como: astilleros, estructuras de edificios, depósitos de almacenamiento, plataformas petrolíferas, tuberías para gaseoductos y oleoductos, puentes, reparación de maquinaria, etc., siendo posible utilizarlo en cualquier posición.

Equipo de soldadura.

Se puede utilizar el equipo de soldadura MIG/MAG para el soldadura con alambre tubular ya que ambos son similares, en el caso de soldadura con alambre auto protegido destaca la ausencia de gas de protección.

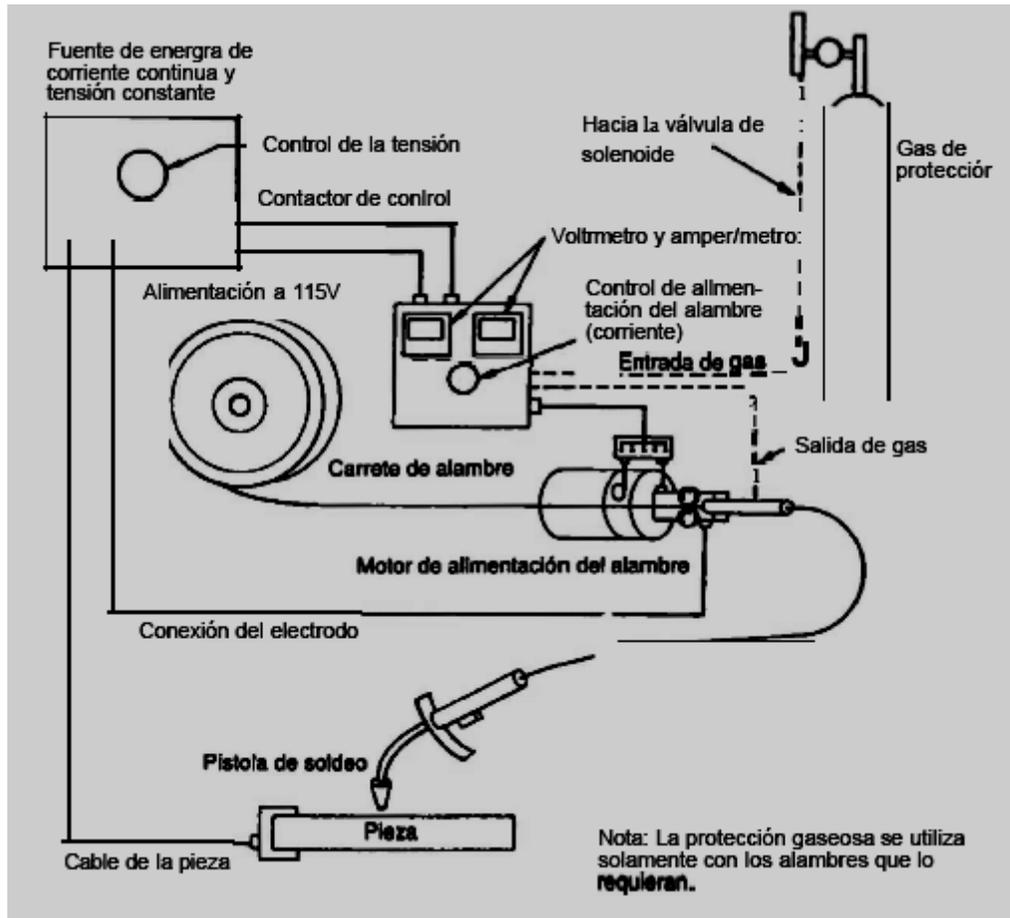


Figura 1.11. Equipo para soldadura por arco con alambre tubular.

Soldadura por arco sumergido.

Consiste en la fusión de un alambre –electrodo continuo y desnudo protegido por la escoria otorgada por el fundente sea granulado e en polvo, suministrado gracias a una manguera desde el depósito del fundente.

El proceso de soldadura por arco sumergido puede ser semiautomático o automático.

En el semiautomático la pistola es llevada manualmente suministrándose automáticamente el electrodo. Prácticamente no es usado ya que este procedimiento puede incorporarse a procesos de soldadura totalmente mecanizados.

En el automático el proceso es realizado sin la ayuda de un operador lo que le permite obtener grandes rendimientos en producción, obteniendo soldaduras de calidad con altas tasas de deposición.

El arco eléctrico se establece entre el alambre metálico y la pieza a soldar.

El fundente protege al arco y el baño de fusión de la atmosfera circundante de tal forma que ambos permanecen invisibles durante el proceso.

Parte del fundente se funde con una función similar a la del recubrimiento en los electrodos revestidos: protege el arco, lo estabiliza, genera una escoria de viscosidad y tensión superficial adecuadas e incluso permite añadir elementos de aleación, o compensar la pérdida de ellos.

El resto del fundente (no fundido) puede ser recuperado y reciclado en el proceso.

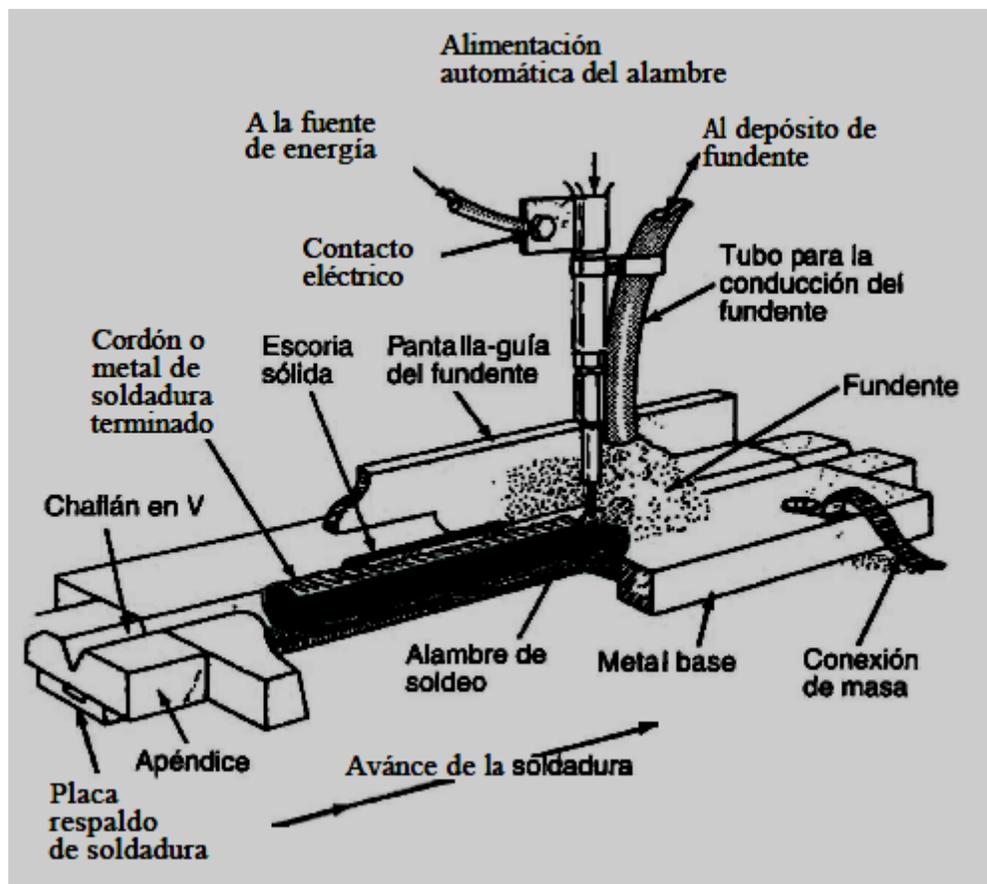


Figura 1.12. representación esquemática del proceso de soldadura por arco sumergido

Aplicaciones ventajas y limitaciones.

- Se utiliza en un amplio rango de aplicaciones. Es utilizado en el soldadura de grandes conjuntos por la alta tasa de deposición, la alta calidad de la soldadura, la gran penetración obtenida y la capacidad de ser automatizada.
- Es muy usado en la fabricación de depósitos a presión, en construcción naval, en edificación, fabricación de tubería, fabricación ferroviaria así como en cualquier aplicación que requiera realizar soldaduras largas.
- Se pueden realizar soldaduras en materiales con espesores desde 1.5mm
- El proceso de soldadura por arco sumergido no es adecuado para todos los materiales.
- Es muy utilizado para el acero al carbono, aceros de baja aleación y aceros inoxidables. También puede ser usado en el soldadura de aceros de alta resistencia, de alto contenido en carbono y aleaciones de níquel, aunque se prefiere otros procesos con menores aportes térmicos.

Las limitaciones de este proceso serian:

- Es necesario un dispositivo para el almacenamiento, alimentación y recogida del fundente.
- El fundente está sujeto a contaminaciones que pueden producir defectos en la soldadura.
- En general, es un proceso no adecuado para unir metales de pequeño espesor
- Sólo se puede utilizar a tope en posición plana, PA, y en ángulo, PB

Equipo de soldadura.

Este se encuentra representado en la figura 1.13 y consta de :

- Fuente de energía.
- Sistema y panel de control.
- Cabezal
 - Sistema de alimentación del alambre.
 - Pistola de soldadura con tubo de contacto.
 - Tolva de fundente y manguera para su conducción.
 - Sistemas de montaje y posicionamiento del cabezal.
- Equipo accesorio
 - Sistema de desplazamiento.
 - Sistema de recuperación del fundente.
 - Posicionadores y accesorios de sujeción.
 - Sistemas de seguimiento de la unión.

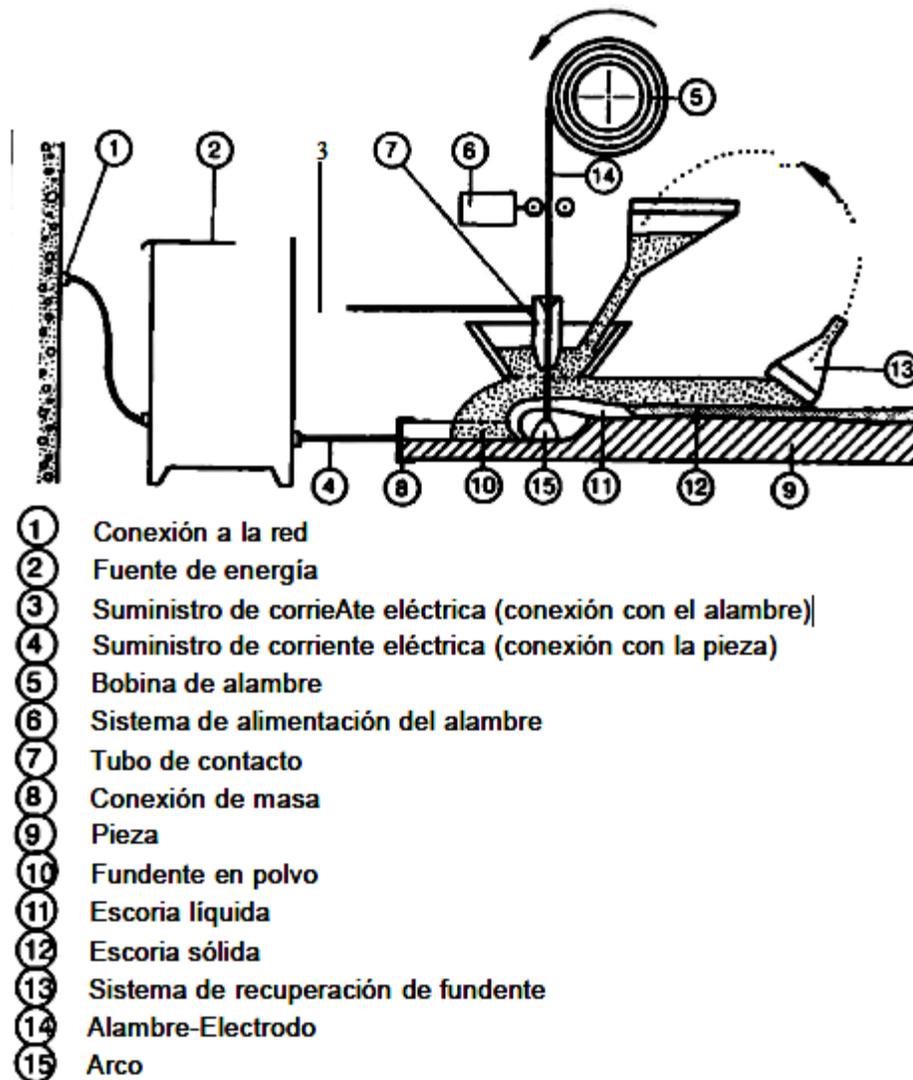


Figura 1.13. Equipo de soldadura por arco sumergido.

Soldadura Aluminotérmica, de termita o Soldadura de Rieles

<http://estructurasacero.blogspot.mx/2007/06/soldadura-aluminotrmica-aluminotermia-o.html>

Surgió a fines del siglo XIX, cuando Hans Goldschmidt A G Alemania, descubrió que la reacción exotérmica entre el polvo de aluminio y un óxido metálico en polvo, puede iniciarse con una fuente de calor.

Es un proceso de soldadura principalmente utilizado para la construcción de rieles de vías férreas. Este es un proceso exotérmico en el que se da una reducción del óxido de hierro por el

aluminio.

La temperatura teórica para que se produzca la reacción es de 3100°C, sin embargo por la adición de compuestos no reactivos, la pérdida de calor por conducción y radiación, la temperatura se reduce a unos 2480 °C. La cual se considera cercana a la máxima tolerable, ya que el aluminio se evapora a 2500 °C, no obstante esta reducción en la temperatura debe regularse, pues la escoria de aluminio solidifica a los 2040°C.

Para mejorar el proceso se pueden adicionar ferro aleaciones compatibles a la química de las piezas a soldar, ya sea para aumentar la fluidez o para disminuir la temperatura de solidificación de la escoria. Las aplicaciones de este tipo de soldaduras son variadas entre ellas:

- **Soldadura de Rieles:** los que permiten hacer tramos continuos. Se puede realizar con o sin precalentamiento.

- **Soldadura de Reparación:** lo que permite reparar sectores dañados, usando moldes elaborados en el sitio.

- **Conexiones Eléctricas:** se usa una mezcla de termita y óxido de cobre (con polvo metálico para alear el cobre), se usan para unir conexiones de conductores y para poner tomas a tierra en rieles de acero usando moldes de grafito para fundir el cobre de unión.

Las normas F.A.7001 de noviembre del 67, con resolución P. No 830/7 y la ALAF 5-032, grupo B con emisión en junio del 2002, de la Asociación Latinoamericana de Ferrocarriles establecen las condiciones de preparación, procedimiento, herramientas, acabados, criterios de aceptación y rechazo, así como ensayos recomendados a la calidad de la soldadura.

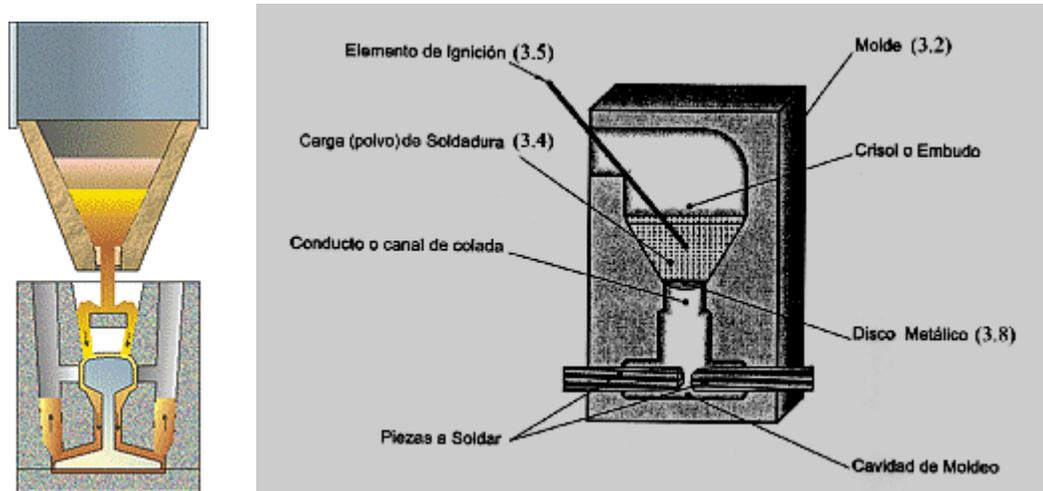


Figura 1.14.

El proceso de colocación de la soldadura, es el siguiente:

Preparación de la unión: se hacen guías dimensionales del tamaño real de la pieza, se colocan las piezas a una separación de 2 a 6 mm por la contracción posterior

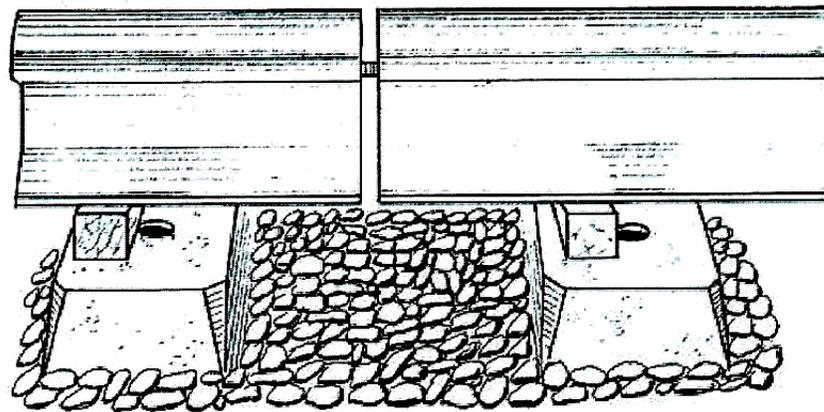


Figura 1.15.

Aplicación del Molde: se coloca el molde encima de los rieles, si la soldadura es muy grande se usa un patrón en cera de la cavidad a soldar, se recubre este patrón con arena refractaria después de colocado en la zona a soldar, se coloca el portillo de calentamiento en el centro o hacia la cara de mayor superficie.

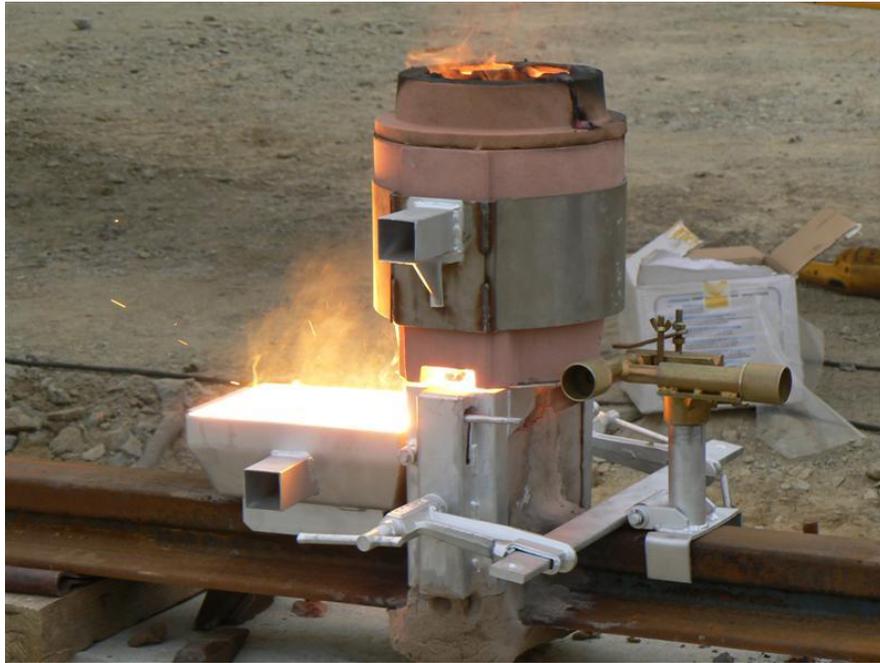


Figura 1.16.

Pre calentamiento: se derrite la cera con soplete y se deja escurrir, luego se aumenta el poder de la llama, secando bien todo el molde.

Se precalientan las partes a soldar hasta los 800 a 1000°C, se cierra el portillo de calentamiento por donde ha escurrido la cera, con un tapón de arena.



Figura 1.17.

Colocación del Crisol: este es un recipiente de material refractario, en la zona superior se coloca un tapón de magnesita que se funde a la temperatura que se necesita para colar el metal. Se usan mezclas de termita para ajustar la temperatura en las secciones a soldar.



Figura 1.18.

Colado del Material: después de alcanzadas las temperaturas de fundición (aprox. 2480°C), la primera cantidad de material que se coló, pierde temperatura (escoria), por lo cual se descarta por medio de los boquetes que posee el crisol a ambos lados.



Figura 1.19.

Retiro del molde: después del vertido se espera un lapso especificado por el fabricante de la porción de soldadura y se procede a romper el molde y cortar las rebabas, mediante trancha o corta mazarota.



Figura 1.20

Pulido de la Soldadura: se debe de dar un acabado, más o menos, de 2 a 5 mm de soldadura, mientras se encuentre caliente la misma.



Figura 1.21.

Acabado Final: la soldadura está completamente terminada, lista para el uso.



Figura 1.22.

Uno de los ejemplos más impresionantes de la utilización de este tipo de soldadura es el Estadio de la Universidad de Phoenix, en la ciudad de Glendale, Arizona, Estados Unidos. Posee una capacidad para 63.400 espectadores (ampliable a 73.000), fue inaugurado oficialmente el 1 de

agosto de 2006, después de 3 años de construcción. Con un costo aproximado a los 455 millones de dólares y un área de 122m x 71m. Está considerado un icono arquitectónico en la región, y fue nombrado por la prestigiosa revista Business Week como uno de los 10 estadios deportivos más impresionantes del mundo, al combinar su techo retráctil con el terreno de juego de hierba natural. Es el único estadio **estadounidense** citado en dicha lista. El Arquitecto Peter Eisenman en colaboración con HOK Sport, realizó el diseño del exterior y la obra ingenieril estuvo a cargo de Walter P Moore Ingenieros y Consultores.



Figura 1.23. Estadio de la Universidad de Phoenix, en la ciudad de Glendale, Arizona, Estados Unidos

CAPITULO 2

PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

2.1 ¿Que Son Las 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 Tabla 2.1. , en la cual, se han agregado las abreviaciones en Inglés, ya que éstas en México son comúnmente utilizadas.

Tabla 2.1 Principales pruebas no destructivas

Tipo de Prueba	Abreviación Español	Abreviación 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

2.2 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 baroscopios, 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 como lo muestra la figura 2.1)



Figura 2.1 Verificación dimensional de una soldadura

2.3 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 Figura 2.2, se puede visualizar el procedimiento general de ejecución del método de LP.

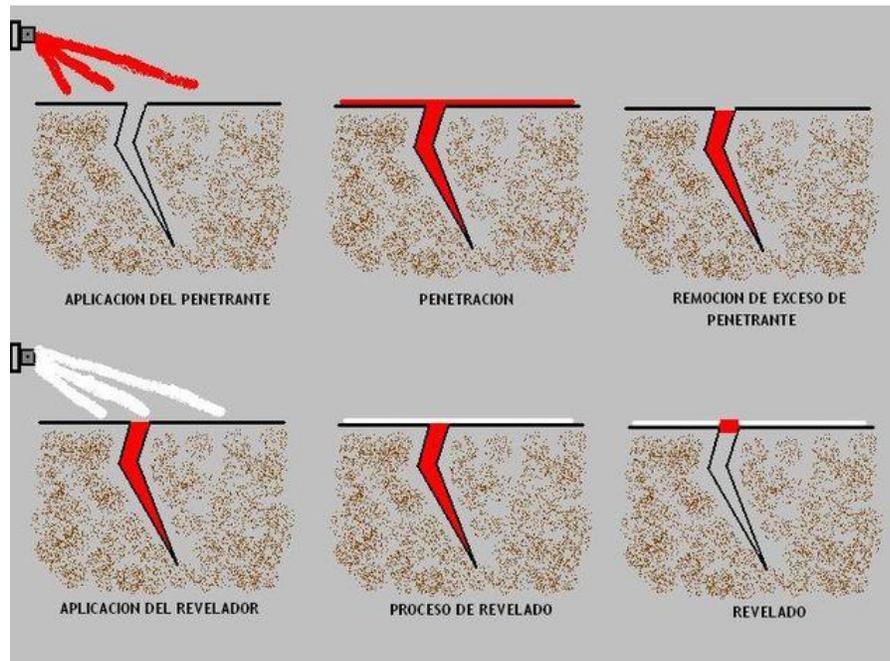


Figura 2.2. Prueba de líquidos penetrantes.

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 o 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 sub-técnicas: 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 tabla 2.2 se muestran las técnicas de aplicación de los LP.

Tabla 2.2. Principales técnicas de aplicación de los líquidos penetrantes

Técnica	Sub-Técnica
Líquidos visibles	Lavables con agua Lavables con solvente Post-emulsificables
Líquidos fluorescentes	Lavables con agua Lavables con solvente Post-emulsificables

2.4 Partículas 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 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 figura 2.3



Figura 2.3 Prueba de Partículas magnéticas

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. Aun 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 (véase la figura 2.4), conocidas comúnmente como partículas magnéticas fluorescentes.

Cada medio de aplicación (húmedo o seco) y cada tipo de partículas magnéticas (visibles o fluorescentes) tienen 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 cuál 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.

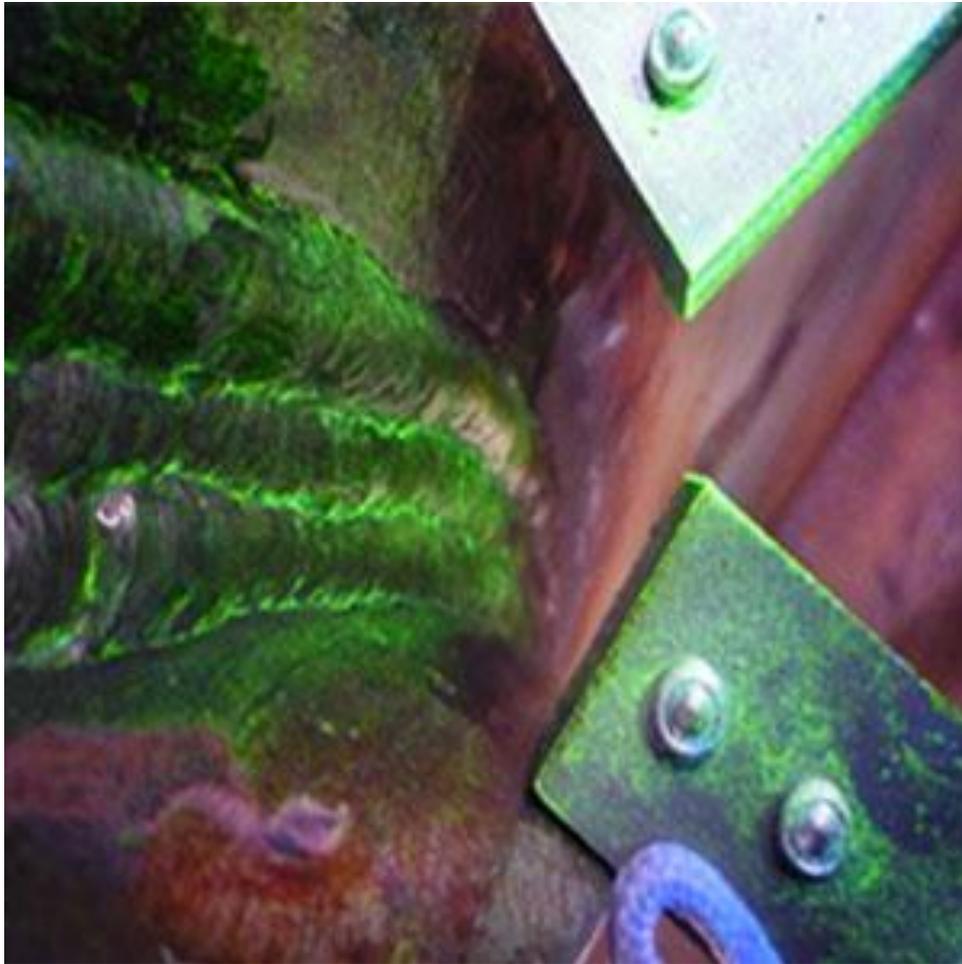


Figura 2.4. Prueba de partículas magnéticas

2.5 Ultrasonido

Este método se basa en la medición de la propagación del sonido en el medio que constituye la pieza a analizar y tiene aplicación en todo tipo de materiales.

Sus distintas técnicas permiten su uso en dos campos de ensayos no destructivos: Control de calidad y mantenimiento preventivo, siendo en esta última especialidad muy utilizados en la aeronáutica por su precisión para determinar pequeñas fisuras de fatiga en, por ejemplo, trenes de aterrizaje, largueros principales, medición de espesores (véase figura 2.5) blocks de motores, engrane de ventiladores (véase figura 2.6) bielas, etc. la manifestación de estas y otro tipo de fallas es la interpretación, generalmente en un osciloscopio, lo cual lo distingue de otros métodos, ya que no nos presenta un cuadro directo de las fallas, como en el caso de las películas radiográficas. Esto trae aparejado que los resultados de este ensayo no constituyan de por sí un

documento objetivo si no una información subjetiva, cuya fidelidad no puede comprobarse sin recurrir, a menudo, a otros medios.

Por lo tanto requiere un conocimiento profundo, tanto de las bases del método como del dominio de la técnica, por parte del operador.



Figura 2.5 Medición de espesores



Figura 2.6 Engrane de un Ventilador)

2.5.1. Emisiones acústicas

Con el fin de obtener una mejor comprensión de los fenómenos que ocurren en el ensayo no destructivo de ultrasonido se citarán algunos términos y principios básicos de la física que comprende la acústica:

Primeramente debe destacar que no se utilizará la suposición de que los cuerpos son perfectamente rígidos, con lo cual se utilizará el siguiente modelo: *La materia se encuentra formada por pequeñas moléculas cuya forma de distribución y fuerza de atracción depende del estado en que se encuentra dicha materia.* Estos estados son los siguientes:

Sólido: Está formado por moléculas fuertemente atraídas entre sí y que se encuentran distribuidas en forma regular y geométrica en posiciones de equilibrio. Estas fuerzas de atracción son del tipo elásticas, es decir, que mientras no se sobrepase el llamado “Limite de Elasticidad”, las deformaciones que se produzcan no serán permanentes.

Líquido: Cuando al suministrar calor a un sólido se rompe su estado de equilibrio entre sus moléculas esta pasa a estar en un estado líquido. Las moléculas en el estado líquido ocupan posiciones al azar que varían con el tiempo. Las distancias intermoleculares son constantes dentro de un estrecho margen.

Gaseoso: Al seguir suministrando calor, las moléculas se aceleran y dejan el líquido formando el gas.

Este estado de la materia no tiene forma ni volumen propio. Su principal característica son moléculas no unidas, expandidas y con poca fuerza de atracción, haciendo que no tengan volumen y forma definida, provocando que este se expanda para ocupar todo el volumen del recipiente que la contiene.

Si tomamos ahora un sólido y provocamos en él una perturbación (golpe por ejemplo)

Produciremos una agitación en sus moléculas que se propagará por el sólido hasta sus extremos, la llamaremos ONDA. Dicha onda puede ser estudiada a una distancia cualquiera de la fuente.

Este tipo de ondas puede ser provocado en cualquier medio que sea ELÁSTICO, o sea, que cumpla con la ley de Hooke.

Cabe destacar que las ondas solo provocan la propagación de energía y no de materia, y eso se debe al acoplamiento de las partículas del medio en que viaja.

Principios básicos de la acústica (términos)

Oscilación (ciclos): Es el cambio periódico de la condición o el comportamiento de un cuerpo.

Onda: Es una propagación de una oscilación y sucede cuando las partículas de un material oscilan transmitiendo su vibración a la adyacente.

Periodo (T): Tiempo necesario para llevar a cabo una oscilación.

Frecuencia (f): Es la inversa del período.

Amplitud (A): Es la máxima desviación de oscilación, si esta es constante en el tiempo la oscilación se considera como desamortiguada (para materiales perfectamente elásticos), en cambio si esta decrece con el tiempo, la oscilación se considera como amortiguada, en este caso la disminución de dicha amplitud se debe a la disipación de energía (cuando los materiales no son perfectamente elásticos).

Amortiguación o Atenuación: es el decremento en el tiempo de la amplitud de una oscilación.

Velocidad de propagación: Es la velocidad a la que se propaga la onda que, en nuestro caso, es la velocidad del sonido (C), esta depende de las propiedades del material que hace de medio (las cuales se verán más adelante).

Longitud de onda (λ): Es la distancia entre dos puntos adyacentes de condición de oscilación equivalente mirando en la dirección de propagación.

Frente de onda: Es el lugar geométrico en que los puntos del medio son alcanzados en un mismo instante por una determinada onda. Dada una onda propagándose en el espacio o sobre una superficie, los frentes de ondas pueden visualizarse como superficies o líneas que se desplazan a lo largo del tiempo alejándose de la fuente sin tocarse.

2.5.2 Tipos de ondas

Las ondas pueden ser propagadas de distintas maneras, correspondiendo cada una de ellas al movimiento particular de los elementos del medio:

Ondas longitudinales: En este tipo de ondas el movimiento de las partículas en el medio es paralelo a la dirección de propagación. Por ejemplo la propagación en un resorte y la propagación del sonido (véase figura 2.7):

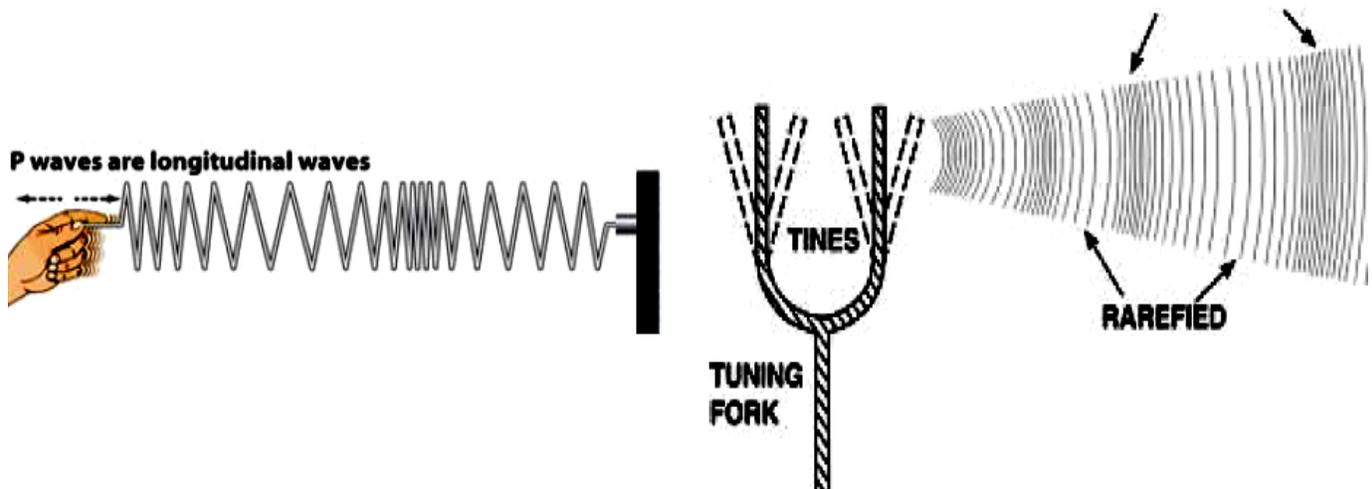


Figura 2.7 Movimiento de un resorte y propagación del sonido

Estas son las ondas más utilizadas en ultrasonido porque, además de propagarse en cualquier medio, son fácilmente generadas y detectadas. Pueden ser orientadas y localizadas en un haz concentrado y poseen alta velocidad.

Ondas Transversales: En este caso el movimiento de las partículas es perpendicular a la dirección de la propagación de la onda, ejemplo el movimiento de una soga al agitarla o el agua ante una perturbación (véase figura 2.8):

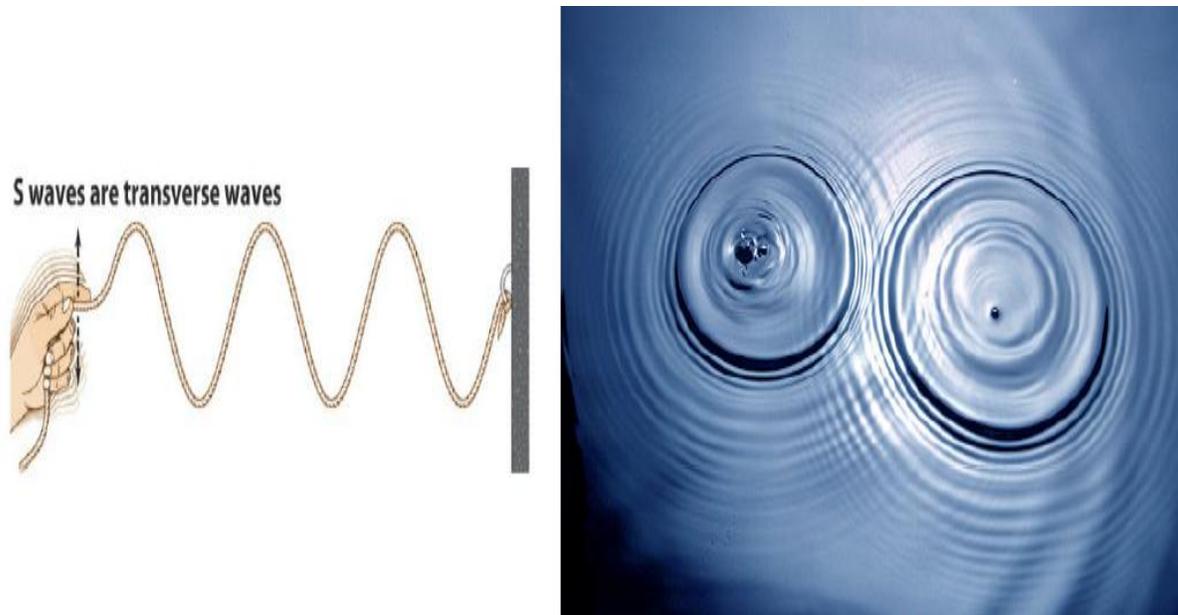


Figura 2.8 *Movimiento de una soga y perturbación en superficie de líquidos*

Ya que los líquidos y gases no ofrecen ninguna resistencia a los esfuerzos de corte, las ondas transversales no pueden ser propagadas en estos medios, entonces solo las ondas longitudinales pueden propagarse en líquidos y gases. Sin embargo en los sólidos pueden propagarse tanto las ondas transversales como las longitudinales y sus combinaciones.

Ondas superficiales o de Raileigh (véase figura 2.9): Son ondas que se propagan sobre las superficies de los sólidos de espesores relativamente gruesos penetrando aproximadamente una longitud de onda.

Estas poseen la particularidad de que el movimiento de las partículas es una combinación de movimiento transversal y longitudinal realizando una elipse la cual el mayor ejes es el perpendicular a la dirección de propagación de la onda. Estas ondas son utilizadas en el método de ultrasonido porque son particularmente sensibles a defectos en la superficie y son capaces de copiar posibles curvas que dichas superficies posean.

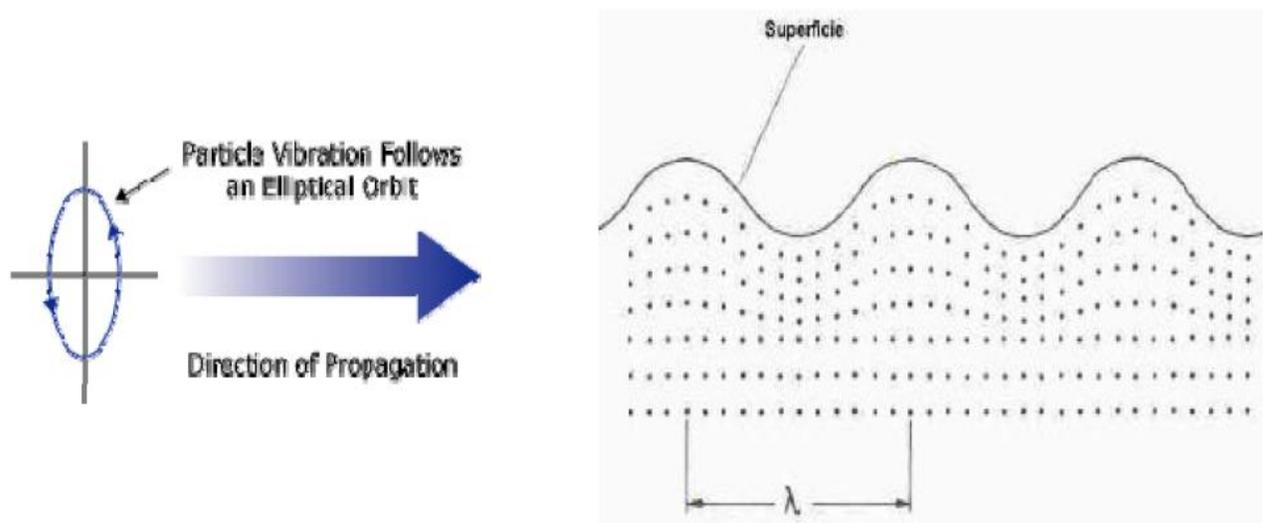


Figura 2.9 Ondas Superficiales

Ondas de LAMB (véase figura 2.10): Las ondas de Lamb aparecen en cuerpos cuyo espesor es del mismo orden que una longitud de onda, por ejemplo en chapas delgadas. Estas se propagan paralelas a la superficie a través de todo el espesor de material. Son muy influenciadas por el espesor del material y la frecuencia de movimiento.

Se generan cuando ingresan en el material a un ángulo de incidencia en el cual la componente de la velocidad paralela a la superficie de la pieza es igual a la velocidad de propagación del sonido en el mismo material, pudiendo viajar distancias de metros en el acero.

Son utilizadas, generalmente, para escanear chapas, alambres y tubos.

El movimiento de las partículas es similar al movimiento en elipse mencionado anteriormente generando dos modos principales de vibración, el llamado *Simétrico* o *Modo extensional* (moviéndose paralelas a la superficie simétricamente respecto al plano medio) y el *Anti simétrico*, o llamado *Modo Flexional*, el mayor movimiento de las partículas es perpendicular a la superficie, en este modo la placa se flexiona.

La figura 2.10 presenta los movimientos antes descritos.

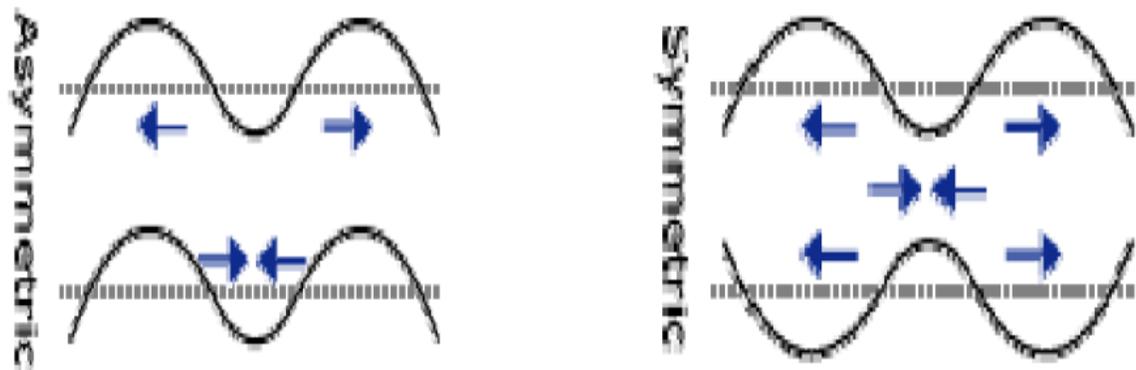


Figura 2.10 Ondas de Lamb Asimétricas y Simétricas

Ondas de torsión: Este tipo de ondas puede propagarse en cuerpos con forma de barras, estas son oscilaciones rotacionales alrededor del eje longitudinal de la barra y la dirección de propagación se sitúa en la dirección del eje de la barra.

2.5.3 Propagación Del Sonido, Impedancia, Frecuencia Y Velocidad De Propagación

El sonido, como se lo conoce habitualmente, se propaga en forma de ondas. Una diferencia de importancia de estas ondas, producidas por medios elásticos, y las llamadas electromagnéticas (luz, rayo X, Gamma, etc.) es que las ondas sonoras necesitan de un medio para transportarse (sea sólido, líquido o gaseoso), mientras que las últimas no. Ambas tienen propiedades en común: transportan energía de un punto a otro del espacio.

Cuando un cuerpo en el aire (cuerda tensa, voz humana, etc.) perturba el aire que lo rodea, de una manera tal que su dirección es la misma que la propagación estamos en presencia de ondas longitudinales

Impedancia acústica

Como ya se ha mencionado el sonido viaja a través de los materiales por medio del movimiento de las moléculas unidas elásticamente. Por lo tanto se define a la *Impedancia Acústica (Z)* como a la resistencia que opone el medio a la propagación de las ondas, siendo igual al producto de la densidad del medio por la velocidad de la onda en dicho medio. Por lo tanto, un material que

posea baja impedancia acústica significa que posee baja resistencia a las deformaciones elásticas producto de las ondas sonoras. Esta es una propiedad o constante de los distintos materiales.

La *Impedancia Acústica* es importante en:

- La determinación de la transmisión y reflexión acústica en la superficie de contacto de dos materiales que poseen distintas propiedades.
- El diseño de los cabezales ultrasónicos.
- Evaluación de la capacidad de absorción de sonido de un medio.

Frecuencias

Más allá de todas las divisiones que puedan ser hechas se sabe que no todo el rango de frecuencias es audible para el oído del ser humano. Solamente es un cierto rango el cual puede diferir entre individuos y que puede variar con la edad. El límite inferior de audibilidad se halla alrededor de 16Hz y el superior alrededor de 20KHz. Los rangos de interés son:

- *Subsónico*: $f < 16\text{Hz}$, en este rango no se escucha ningún tono, solo se notará presión.
- *Sónico*: $16\text{Hz} \leq f \leq 20\text{KHz}$, rango audible por el ser humano.
- *Ultrasónico*: $f > 20\text{KHz}$.

Las frecuencias utilizadas en los ensayos ultrasónicos se encuentran en el rango de 0.5 a 25 MHz

Velocidad de propagación

La velocidad de propagación de estas ondas (velocidad del sonido) es constante en todo el sólido, y depende del módulo de elasticidad a tracción (o de Young) y de la densidad del medio.

Longitud de onda y detección de defectos

En un ensayo de ultrasonido en usuario tiene que decidir qué frecuencia utilizar y, como ya se vio antes, un cambio en la frecuencia de la onda produce un cambio en la longitud de onda del sonido, ya que la velocidad es constante. Por otro lado, la longitud de onda del ultrasonido utilizado tiene un efecto significativo en la probabilidad de detectar discontinuidades. Una regla

general es que una discontinuidad debe tener un largo de, por lo menos, la mitad de la longitud de onda para tener una probabilidad razonable de ser detectada.

La sensibilidad y la resolución son dos términos comúnmente utilizados en la inspección con ultrasonido. Sensibilidad es la capacidad de localizar pequeñas discontinuidades en el ensayo, esta, generalmente, se incrementa al incrementar la frecuencia (disminuye la longitud de onda). Resolución es la capacidad del sistema de detectar fisuras que se encuentran muy próximas o muy cerca de los bordes, este parámetro también aumenta cuando se incrementa la frecuencia.

Pero el aumentar la frecuencia puede afectar la capacidad del instrumento de forma adversa debido a que las ondas de sonido tienden a dispersarse en materiales con estructura de granos gruesos como las piezas fundidas. A su vez, dicho aumento de frecuencia genera una reducción en el poder de penetración de la medición. Por lo tanto para seleccionar una óptima frecuencia de inspección se deben hacer un balance entre los resultados favorable y los desfavorables de la selección, antes de seleccionar dicha frecuencia se deben tener en cuenta el tamaño de grano, el espesor de la pieza, el tipo de discontinuidad, tamaño y probable localización.

Cabe destacar que hay otros parámetros que también influyen en la capacidad del equipo, estos son: La longitud del pulso aplicado, el tipo y voltaje aplicado al cristal, las propiedades del cristal, el material y el diámetro del cabezal, el circuito de procesamiento de datos del instrumento.

Eficiencia, ancho de banda y frecuencia del cabezal.

Algunos cabezales son construidos con mayor eficiencia para transmitir y otros con mayor eficiencia para recibir. A menudo un cabezal con un buen rendimiento para una aplicación no es el adecuado para otras aplicaciones.

Es importante entender el ancho de banda o rango de frecuencias de un cabezal. Todos los cabezales poseen una frecuencia central que depende principalmente del *material de apoyo* y del cristal utilizado. Cabezales con alto amortiguamiento responderán a una amplia gama de frecuencias con un alto poder de resolución, en cambio, cabezales con menor amortiguamiento tendrán un rango estrecho de frecuencias y pobre poder de resolución, pero mayor penetración.

La frecuencia central define las capacidades del cabezal, frecuencias bajas, del orden de 0.5 MHz a 2.25 MHz proveen mayores energías y penetración en el material, mientras que para cristales de altas frecuencias, del orden de 15 MHz a 25 MHz se reduce la penetración pero poseen gran sensibilidad para detectar pequeñas discontinuidades.

Campo de radiación del cabezal

El sonido emitido por un cabezal piezoeléctrico no se origina desde un punto sino que se origina desde la superficie del elemento piezoeléctrico.

El campo de sonido emitido por un transductor típico se presenta en la siguiente figura 2.11, puede observarse cualitativamente la intensidad del sonido con la ayuda de la gama de colores en la cual los más claros corresponden a intensidades más altas.

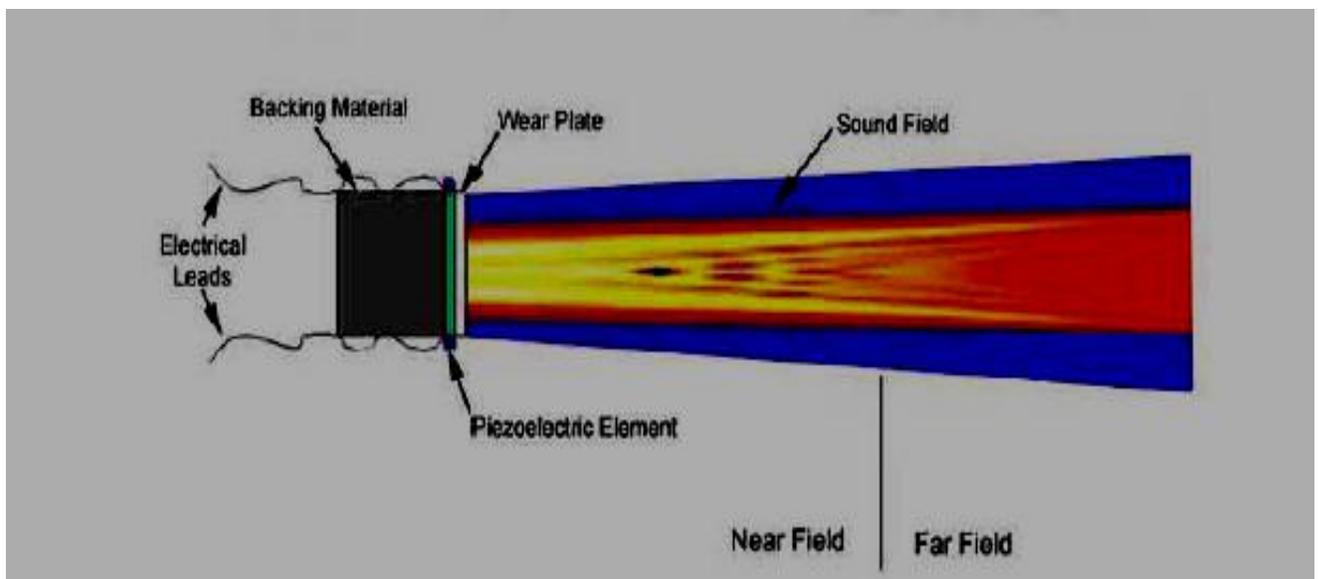


Figura 2.11 esquema de intensidades de sonido

Dado que las ondas de ultrasonido se generan desde un número de puntos en el plano del elemento piezoeléctrico la intensidad es afectada por efectos de interferencia entre dichos puntos, como se mencionó en apartados anteriores. Esta interferencia genera fluctuaciones que se extienden en el campo cerca del cabezal, esta zona es llamada *Campo Cercano o ZONA MUERTA* y puede ser extremadamente difícil detectar discontinuidades en el material.

Las ondas de presión se convierten en uniformes hacia el final del campo cercano. Esta zona del haz más uniforme recibe el nombre de *Campo Lejano* y la transición ocurre a una distancia N en la que la amplitud de las ondas varía significativamente a un patrón mucho más suave.

Para anular este efecto indeseado se suelen utilizar accesorios que se presentan en los siguientes apartados.

2.5.4 Tipos de cabezales

Como ya se mencionó anteriormente, los cabezales son fabricados para varias aplicaciones específicas (véase figura 2.12), por lo tanto hay que prestar especial atención a la elección parámetros como la frecuencia deseada, ancho de banda y el enfoque del mismo según la necesidad. Estos se clasifican según la aplicación.

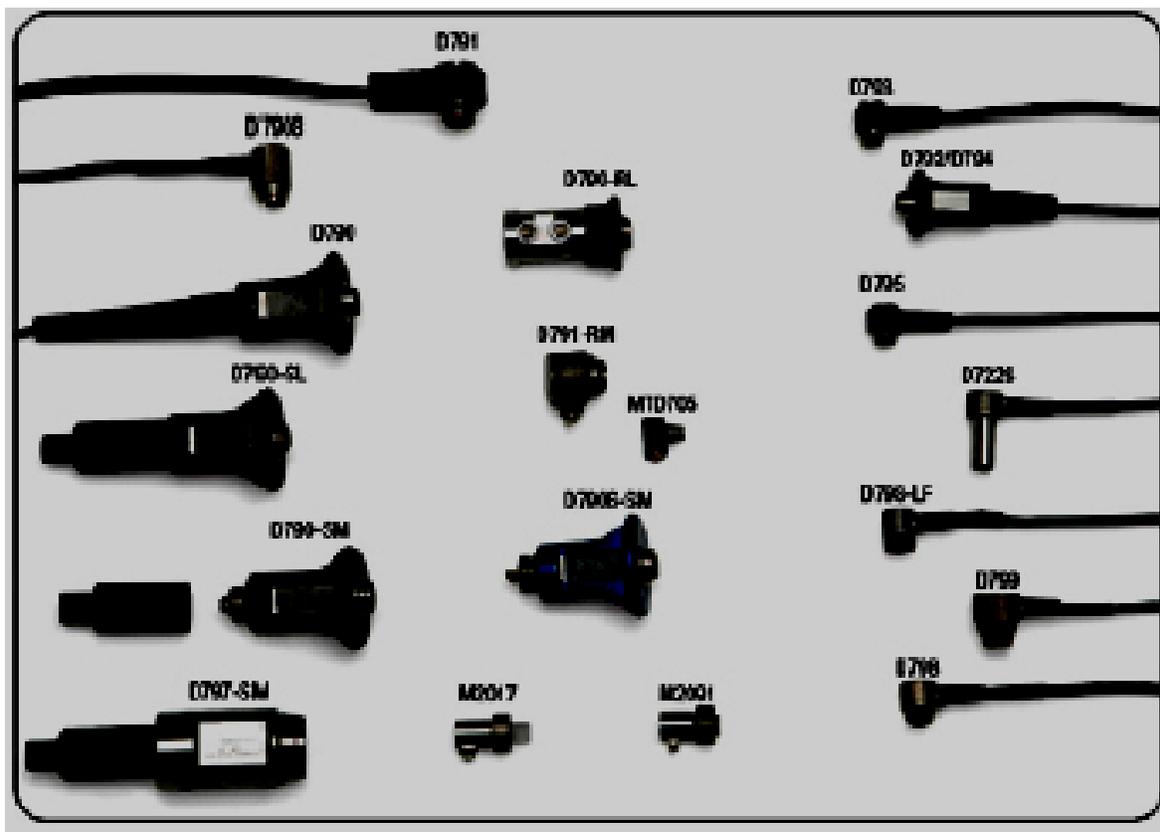


Figura 2.12 Accesorios

Cabezales de contacto

Son utilizados para las inspecciones que necesitan contacto con la pieza y son, generalmente, manipulados a mano. Estos poseen sus componentes protegidos por una carcasa ergonómica y una interface que impide el desgaste de la cara que roza con las piezas a analizar.

Requieren de un medio de acople como grasas, aceites o agua para remover la película de aire entre el cabezal y el componente analizado.

Accesorios

Con el fin de eliminar la, denominada en el apartado anterior, ZONA MUERTA, se utiliza un elementos separadores (señalado como DELAY LINE en la siguiente figura 2.13) que alejan la fuente de ultrasonido de la superficie de la pieza dejando dicha zona. Otra ventaja de este tipo de separadores es generar un retardo de tiempo entre la generación de la onda de sonido y la llegada de la onda reflejada mejorando la lectura en las zonas cercanas a la superficie del material en el que se encuentra en contacto el cabezal.

Estos los hace especiales para el uso en medición de medición de espesores con gran precisión y verificación de laminación en materiales compuestos.

A su vez, para aplicaciones en las que se necesita realizar un ensayo en superficies con elevada temperatura se utiliza una interface de material cerámico.

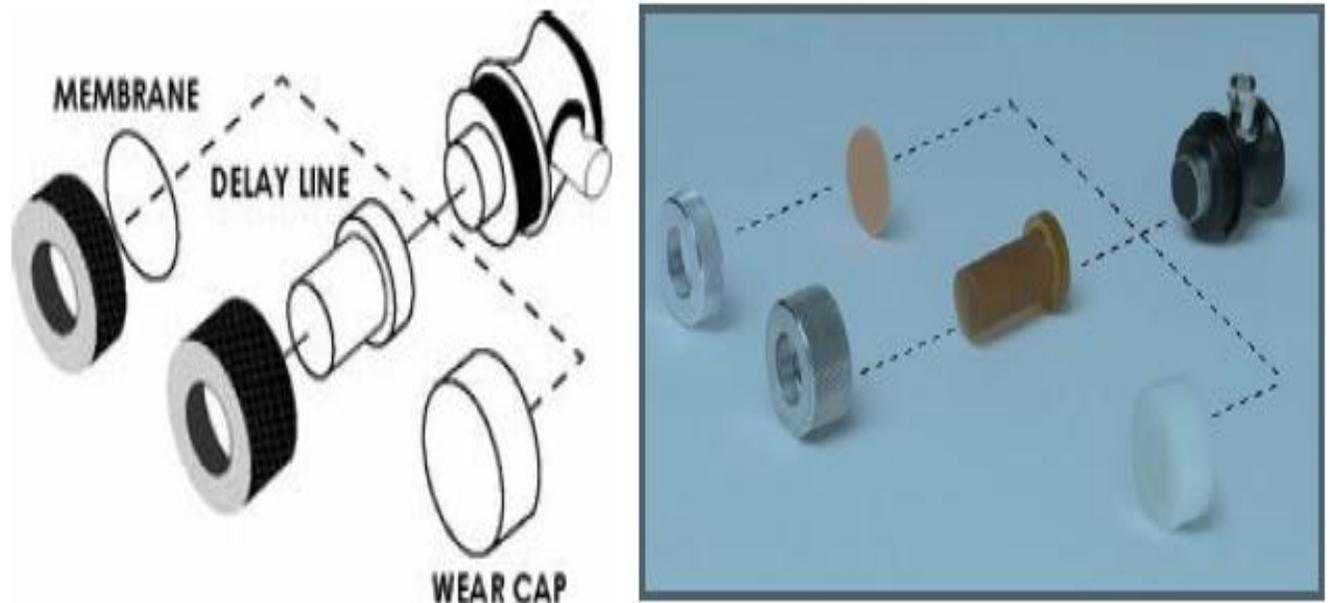


Figura 2.13 Delay Line

Cabezales angulares

Los cabezales angulares (véase figura 2.14) utilizan una interface en forma de cuña la cual genera un ángulo entre el haz emitido y la normal a la superficie analizada. Esto introduce ondas refractadas de corte en el material al mismo tiempo que dichas ondas son reflejadas en las paredes de la pieza mejorando la detección de imperfecciones en cordones de soldaduras. También son utilizados para generar ondas de superficie para detectar defectos superficiales.

Pueden ser adquiridos con diferentes ángulos fijos o en versiones ajustables. Hay que prestar especial atención que los que poseen ángulos fijos el ángulo de refracción de la onda cambiará según el material utilizado.

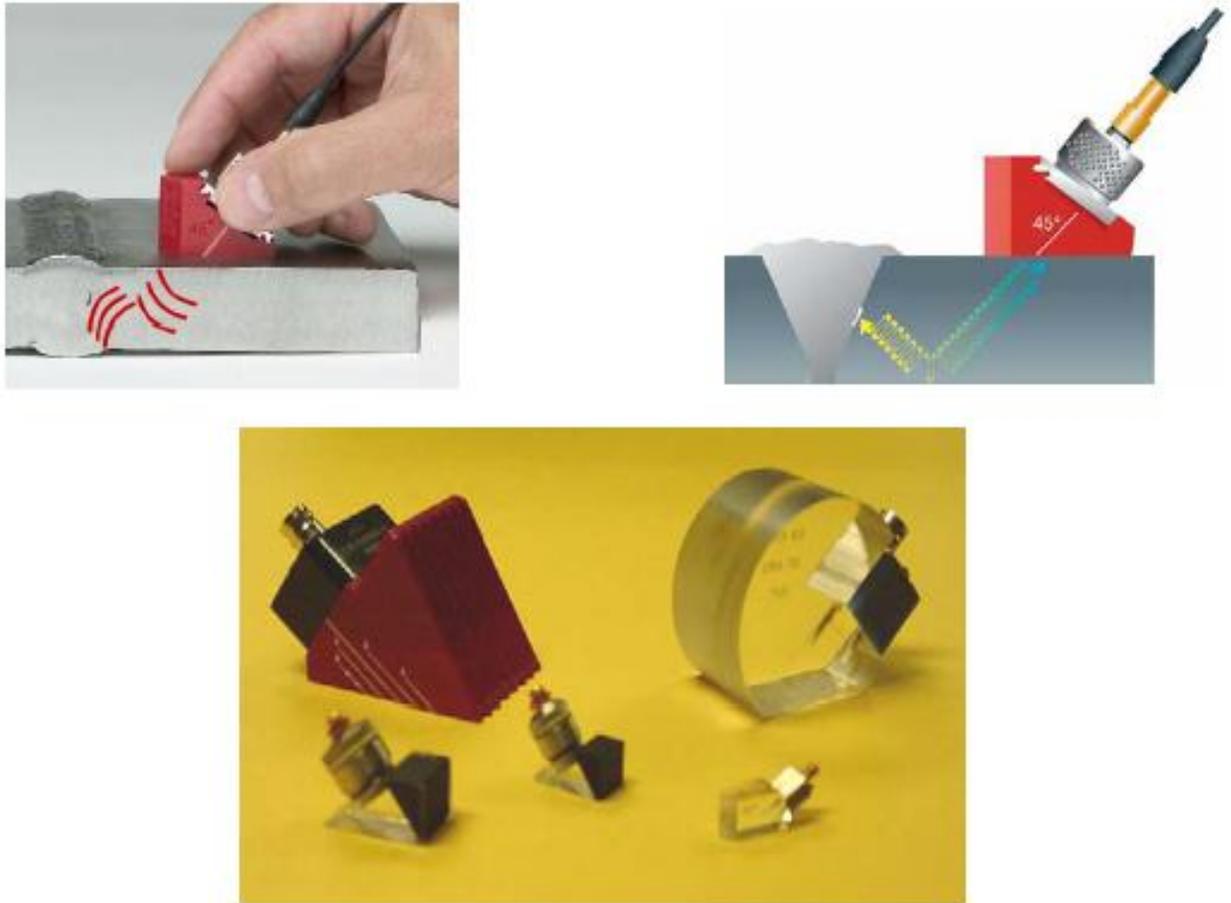


Figura 2.14 Configuraciones de cabezales Angulares

Cabezales de inmersión

Estos cabezales no entran en contacto con la pieza a analizar. Están diseñados para operar dentro de un medio líquido y posee todas sus conexiones estancas para evitar el deterioro de los componentes.

Se pueden adquirir con haz plano o foco cilíndrico o esférico dependiendo de la utilidad, la ventaja que poseen los cabezales con foco es que mejoran la sensibilidad y la resolución axial al concentrar la energía del sonido en una pequeña área.

Este tipo de cabezales son utilizados generalmente dentro de un tanque de agua el cual es parte de un sistema de escaneo. La siguiente figura presenta los tipos de cabezales descriptos y su utilización.

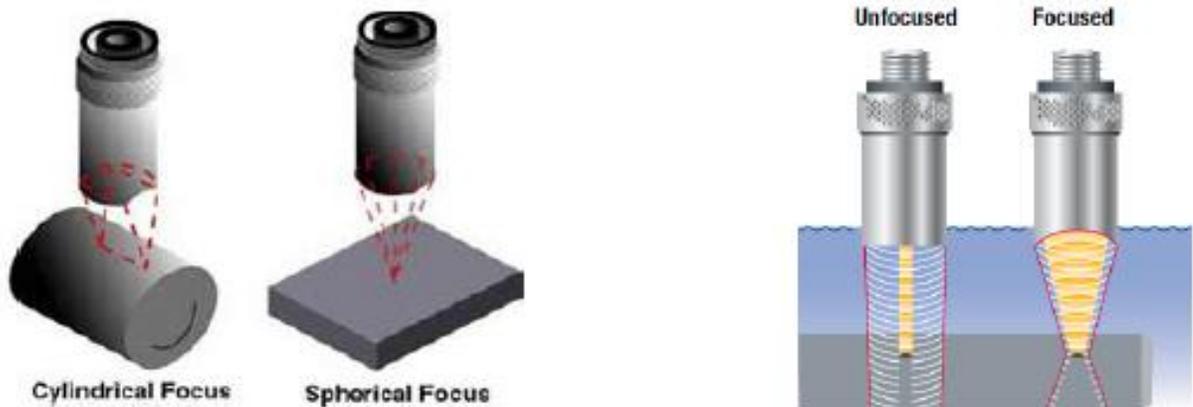


Figura 2.15 Cabezales de Inmersión

2.5.5 El equipo

El generador de pulsos induce al transmisor de pulsos el cual éxito al cristal del cabezal, este corto pulso eléctrico normalmente tiene un voltaje pico de cientos de voltios. El mismo generador también activa la base de tiempos horizontal en el osciloscopio por medio de un circuito de tiempo de retardo. La deflexión vertical del osciloscopio (TCR, Tubo de rayos catódicos) se alimenta con un amplificador y un rectificador de pulsos recibidos desde la pieza.

La longitud de la medición que se observa en la pantalla puede variar alterando la velocidad de la base de tiempo. Las deflexiones verticales se producen cada vez que el cabezal está sujeto a una tensión eléctrica propia de la recepción.

Cuando se opera con cabezales de doble cristal el transmisor se encuentra separado del receptor, por lo tanto estos ambos cristales poseen cables y conexiones diferentes.

En estos casos los equipos poseen circuitos de protección que aseguran que los altos voltajes del transmisor no dañen al receptor.

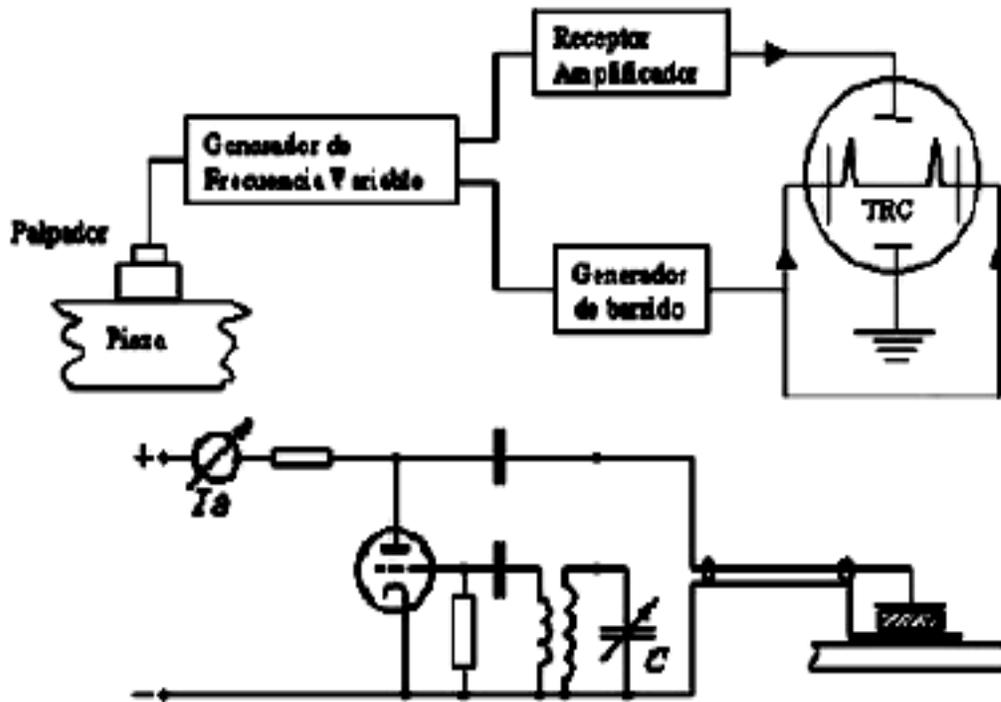


Figura 2.16 Diagrama del Equipo

Hoy en día los equipos diseñados son cada vez más livianos y compactos, esto es favorable para la utilización en campo. A su vez la construcción modular permite intercambiar cabezales con distintos equipos y pantallas de visualización, así como la utilización de múltiples cabezales. Las siguientes figuras presentan distintas configuraciones de instrumentos de ultrasonido.

2.5.6 Patrones de calibración (véase figura 2.17)

La acción de calibración se refiere a un acto de evaluación y ajuste de la precisión de medida del equipo. En lo que respecta a ensayos ultrasónicos se utilizan variados métodos de calibración ya que es un ensayo que se basa en la comparación.

Primeramente la electrónica del equipo se debe calibrar para asegurar su funcionamiento y diseño. Esta operación generalmente es realizada por el fabricante ya sea en el proceso de

fabricación como en el servicio post-venta. Luego hay una calibración que se debe realizar por el usuario previo al ensayo. Esta calibración incluye el setup del equipo, el cabezal, y el testeo del setup para validar los niveles deseados de precisión.



Figura 2.17 Patrones de Calibración

En los ensayos de ultrasonido también existe la necesidad de estándares de referencia. Estos son utilizados para establecer un nivel general de consistencia en la medición y ayudar a interpretar y cuantificar la información adquirida. Son necesarios, también, para validar que el instrumento y el setup realizado provee resultados similares sin importar el tiempo y que, a su vez que se puede reproducir lo mismo con un sistema diferente.

También estos patrones nos ayudan a estimar el tamaño de las imperfecciones. En un ensayo pulso-eco la intensidad de la señal depende tanto del tamaño de la fisura como de la distancia

entre el cabezal y esta. El usuario puede utilizar un patrón de referencia con una imperfección artificial inducida a aproximadamente la misma distancia del cabezal en el material para determinar el tamaño aproximado de dicha fisura, comparando ambas señales.

Como todas las imperfecciones realizadas en los patrones provienen de mecanizados, como pequeños agujeros o entallas (siendo entallas artificiales), las ondas de ultrasonido reflejadas se comportarán de manera distinta que las verdaderas entallas, este es otro de los motivos por los cuales solo se puede estimar el tamaño de las fallas reales.

Cabe destacar que el material del patrón a utilizar debe ser el mismo que el material a inspeccionar. En la figuras 2.18 y 2.19 se presentan algunos patrones de calibración como los mencionados.

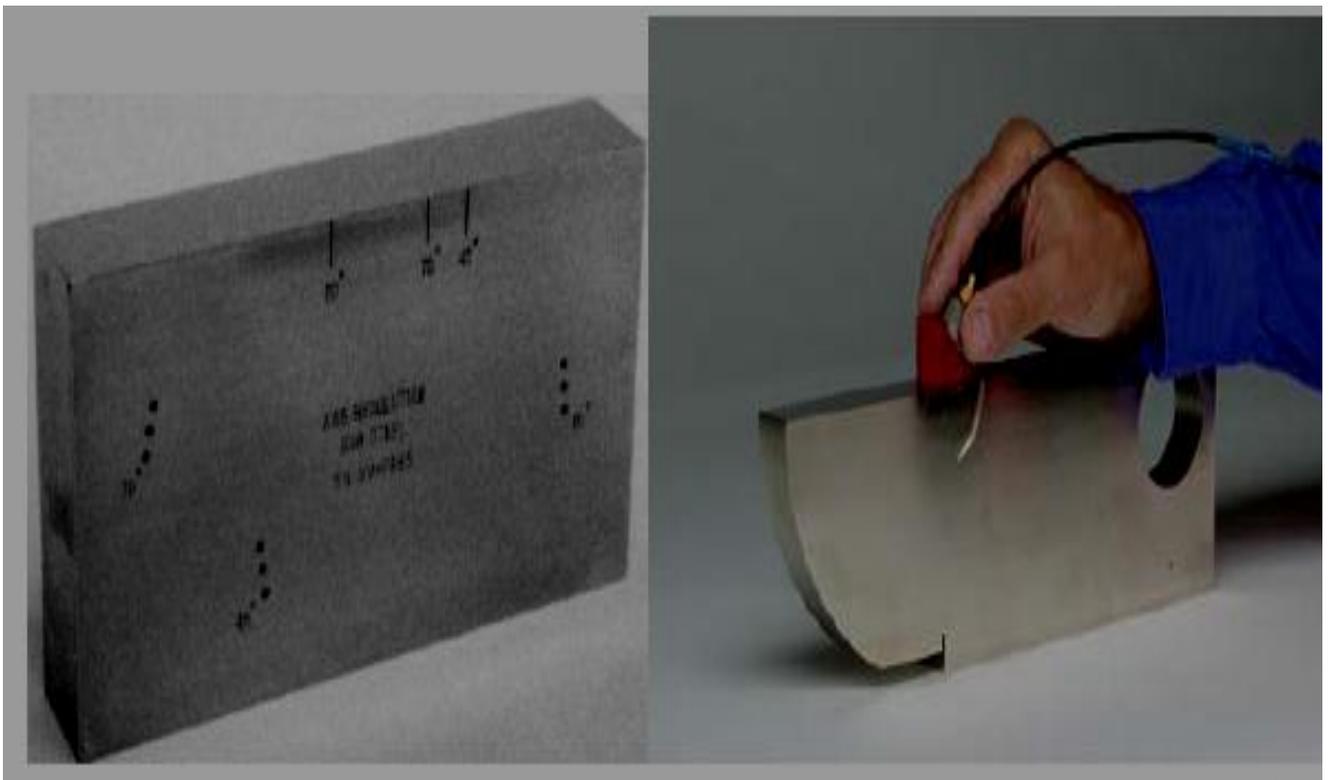


Figura 2.18 Patrones de Calibración



Figura 2.19 Patrones de Calibración

2.5.7. Inspección con Ultrasonido “Arreglo de fases”

La Prueba No Destructiva de Ultrasonido Arreglo de Fases combina 64 elementos ultrasónicos que generan un haz de ultrasonido cuyos parámetros: ángulo, distancia focal y el tamaño de la zona de focalización son ajustados mediante software, con esto es posible cambiar rápidamente el ángulo del haz para inspeccionar soldaduras sin desplazar el palpador. La inspección de soldadura mediante un haz de ángulo variable permite maximizar la detección de defectos cualquiera que fuese su orientación.

Esta tecnología se aplica en la inspección por Pruebas No Destructivas de soldaduras en tuberías, recipientes a presión, tanques de almacenamiento y equipos de proceso, para tener una evaluación más precisa del estado de integridad que tienen las soldaduras. Con esta técnica es posible visualizar y evaluar los defectos encontrados en soldaduras tales como:

- Falta de penetración
- Crack en la raíz
- Porosidades
- Inclusiones
- Raíz cóncava

- Crack en el cuerpo de la soldadura, etc.

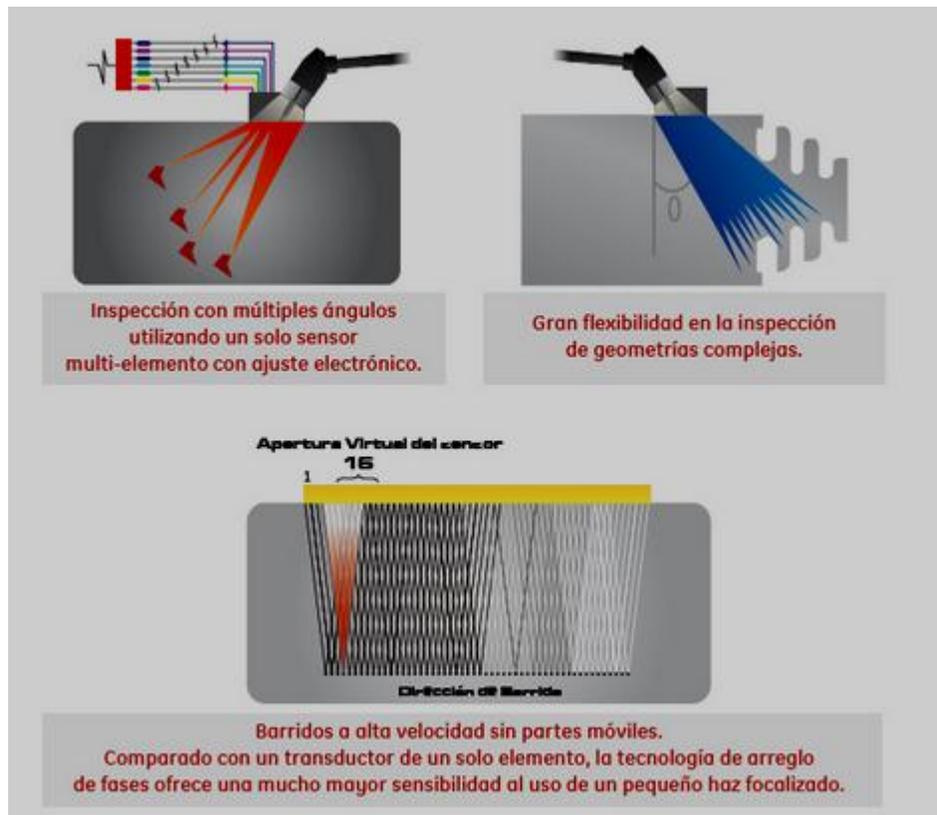


Figura 2.20. Arreglo de fases

2.6 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. (Véase figuras 2.21 y 2.22)

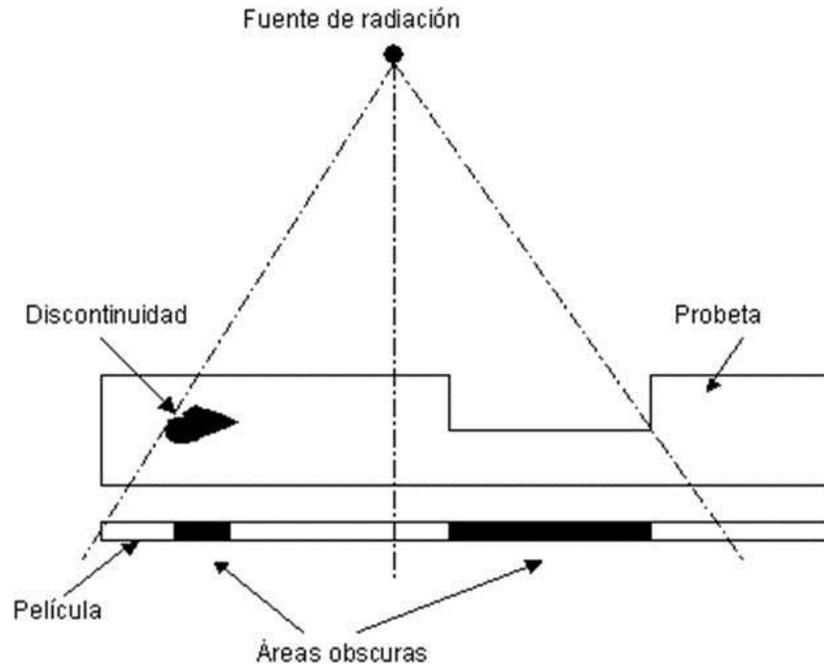


Figura 2.21 Radiografía.

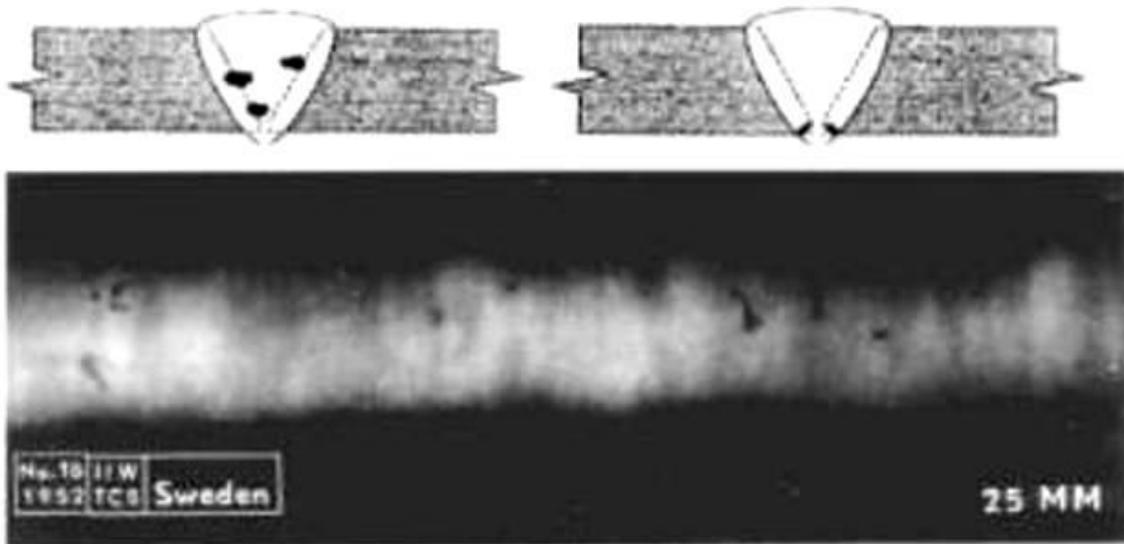


Figura 2.22. Radiografía.

2.7 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. Con mayor presencia las llamadas corrientes de Eddy (véase figura 2.23)

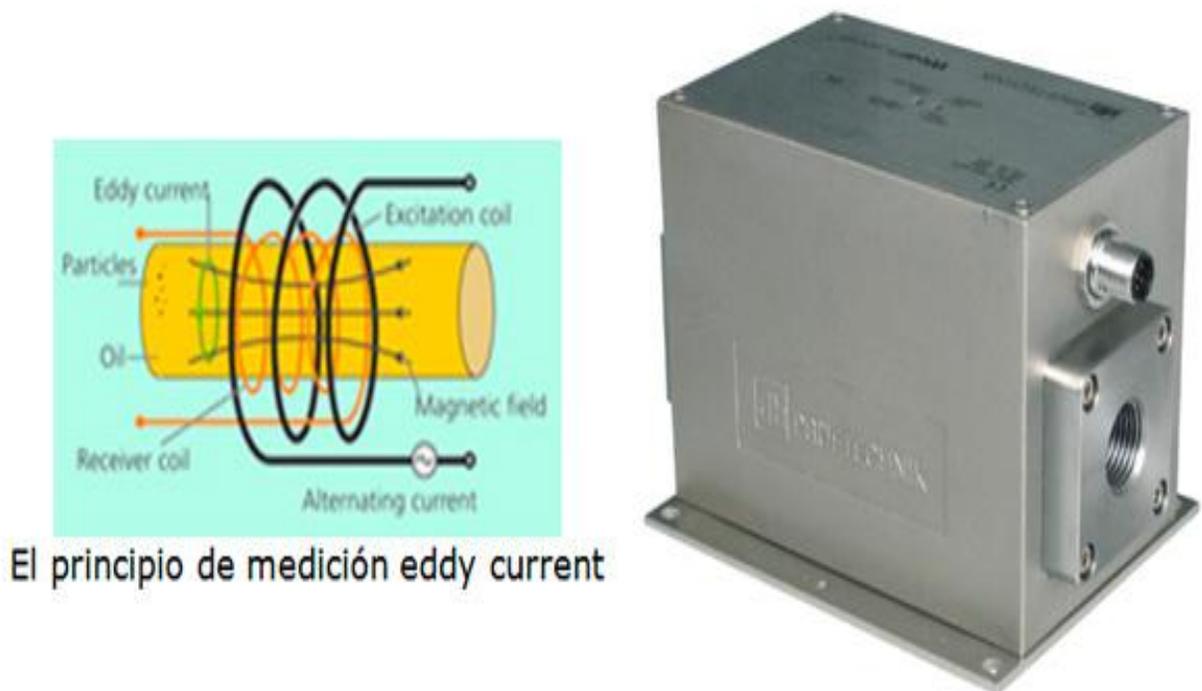


Figura 2.23 Corrientes de Eddy

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.(véase figura 2.24)

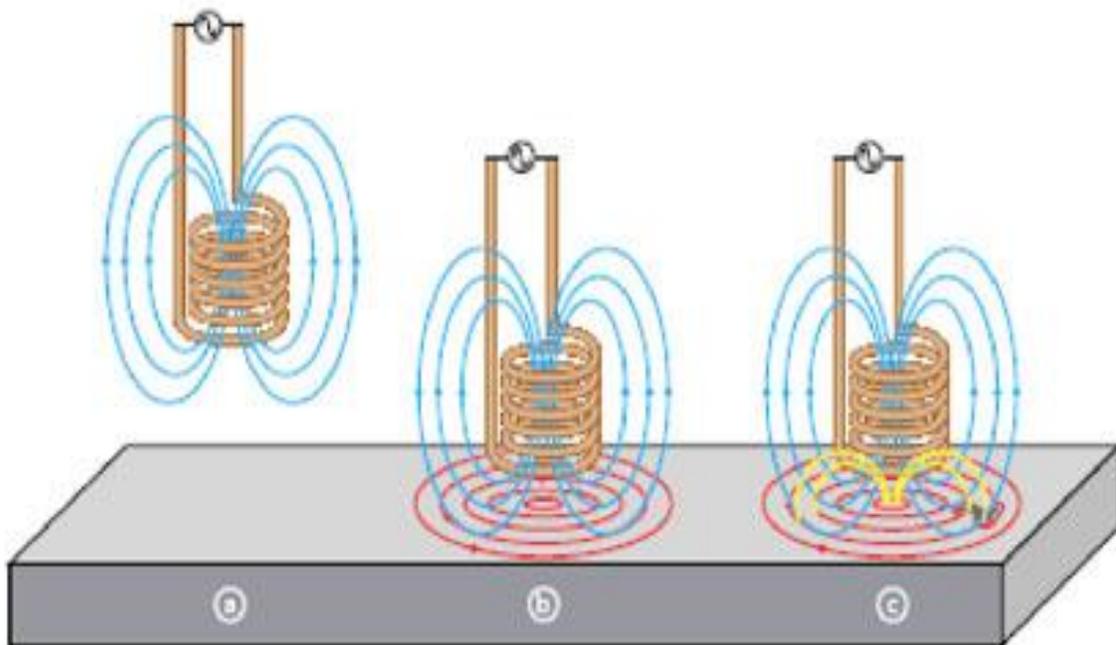


Figura 2.24 Detección de propiedades químicas y físicas

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.

2.8 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.

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:

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} cm³/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.

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

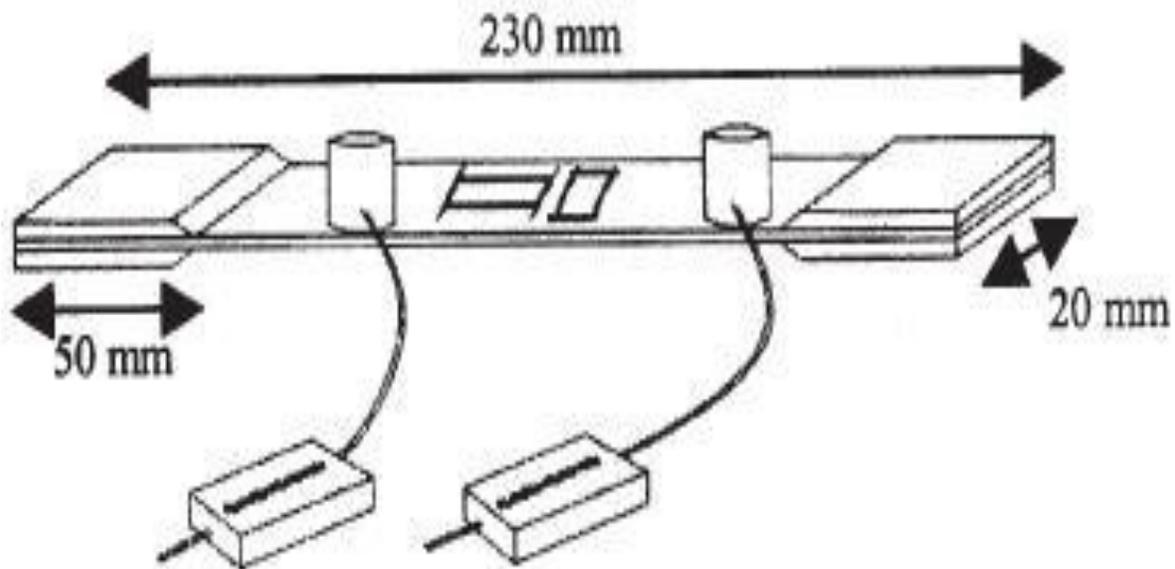
En esta técnica se utilizan radioisótopos de vida corta como fluidos trazadores para probar cavidades selladas herméticamente y circuitos cerrados de tubería. La pérdida de flujo o la detección del gas trazador en sitios no esperados son la evidencia de fuga. Esta técnica tiene la misma sensibilidad 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

2.9 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). (Véase figura 2.25)

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 pieza-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.



2.25. Dimensiones de Probetas

2.10 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 emplean 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 (figura 2.26), en la cual los tonos amarillos y rojizos representan las áreas calientes y los tonos azules y violetas representan las áreas frías.

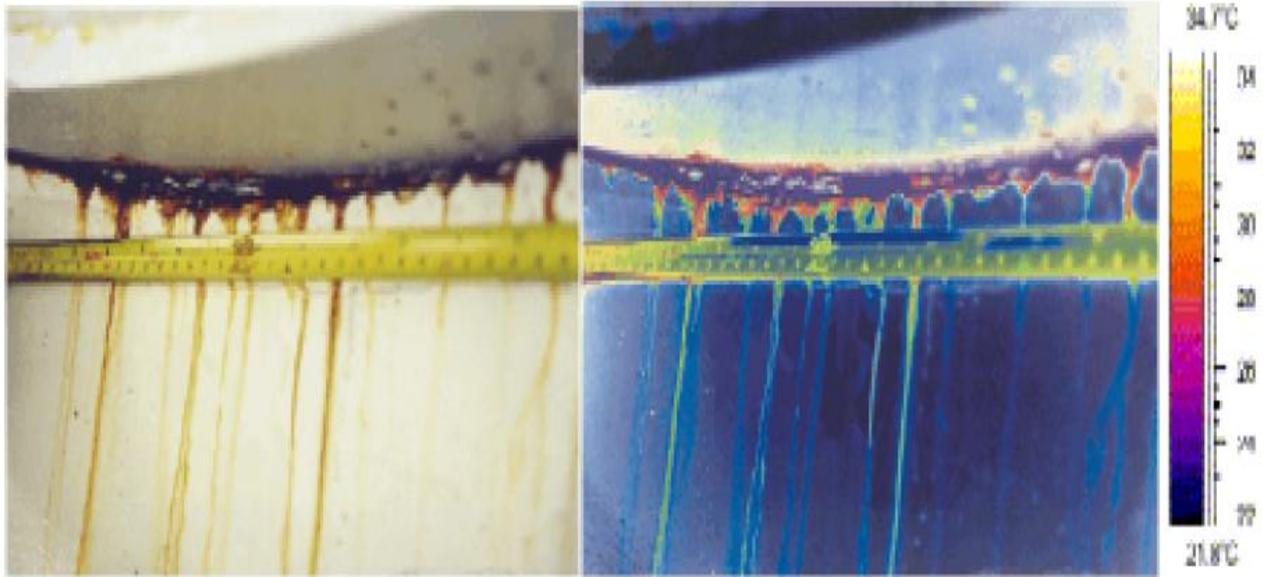


Figura 2.26 Rayos infrarrojos

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*.

Termografía Pasiva

Consiste en simplemente obtener un termograma del componente en cuestión, sin la aplicación de energía. El componente por sí mismo proporciona la energía para generar la imagen infrarroja. Ejemplos de la aplicación de esta 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, dados 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.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Centro de capacitación de pruebas no destructivas de México.

http://www.ndted.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/cc_ut_index.ht

2. Ultrasonic Non Destructive Testing - Advanced Concepts and Applications (National Instruments).

3. Automatic Inspection of Welded Pipes with Ultrasound. (Tutorial).

4. Ultrasonic Reference Blocks. (Catálogo de productos)

5. Harisonic Ultrasonic Transducer Catalog