

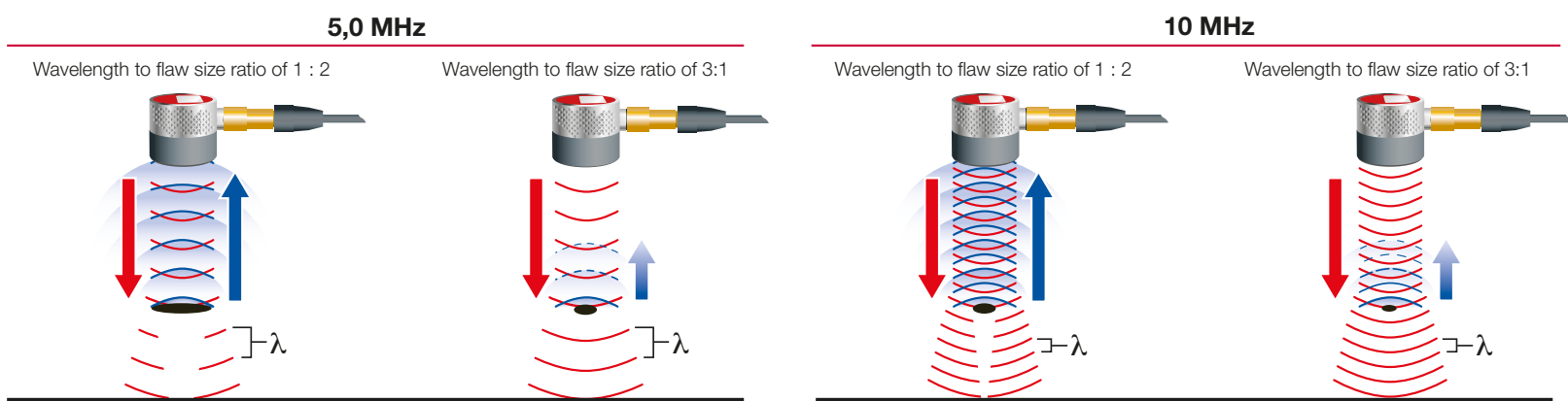
Sondas de ultrasonido convencional

¿Cómo seleccionar una frecuencia?

A medida que la frecuencia aumenta, la longitud de onda disminuye, permitiendo la detección de defectos pequeños y la obtención de lecturas de espesor y ubicación precisas. En cambio, a medida que la frecuencia disminuye, la longitud de onda aumenta, lo cual permite una mayor capacidad de penetración en materiales gruesos o atenuadores. La selección de la frecuencia también se ve afectada por otros factores, como la longitud de campo cercano, la propagación y el diámetro del haz.

Las típicas técnicas de contacto pulso-eco, como aquellas utilizadas para ensayos de contacto en aceros de grano fino, generalmente son utilizadas con frecuencias de 2,25 MHz a 5,0 MHz. Generalmente, las fundiciones de acero al carbono medio son inspeccionadas con frecuencias entre 1,0 MHz y 5,0 MHz. Los aceros de alto grado de carbono y de alta aleación puede que requieran frecuencias más bajas en un rango de 0,5 MHz a 1,0 MHz. Para inspeccionar plásticos y cerámicos de espesor delgado se usan frecuencias de 20 MHz y superiores. Como regla general, la longitud de onda debe ser igual o más pequeña que el tamaño mínimo del defecto que debe ser detectado.

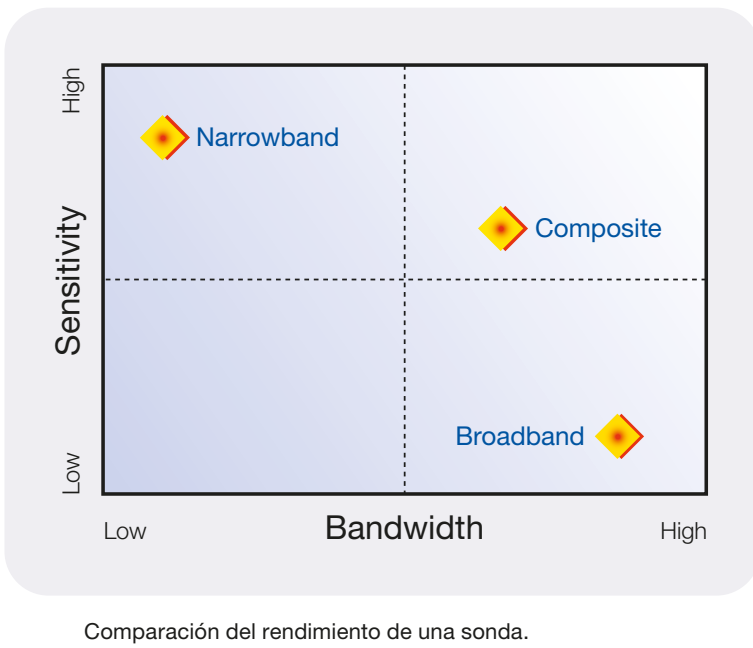
$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{Donde: } \begin{array}{l} \lambda = \text{longitud de onda} \\ c = \text{velocidad de propagación acústica} \\ f = \text{frecuencia} \end{array}$$



A medida que la frecuencia incrementa, la longitud de onda disminuye, mejorando así la sensibilidad para detectar pequeños defectos.

¿Por qué se requiere el ancho de banda?

El ancho de banda de una sonda define su salida de frecuencia, afectando a su vez el rendimiento. El ancho de banda es definido comúnmente como el lapso entre las frecuencias mínima y máxima que se proyectan en el espectro con -6 dB de amplitud desde la frecuencia central. La banda estrecha mejora frecuentemente la sensibilidad, mientras que la banda amplia mejora la resolución cercana a la superficie.

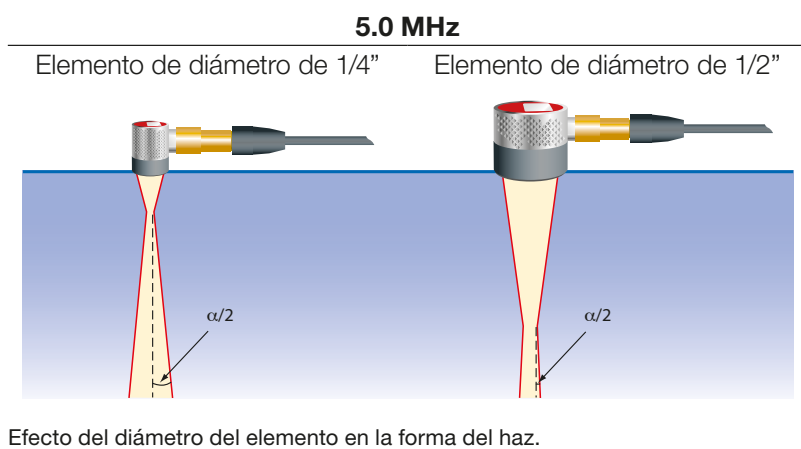


Comparación del rendimiento de una sonda.

¿El diámetro del elemento es importante?

El área de cobertura es un factor importante que debe ser considerado al seleccionar el diámetro del elemento de la sonda. Asimismo, es importante considerar la dispersión del haz, el ángulo en el que el haz acústico diverge después del campo cercano. La velocidad de propagación del sonido y la frecuencia están relacionadas al diámetro del elemento, según la siguiente fórmula:

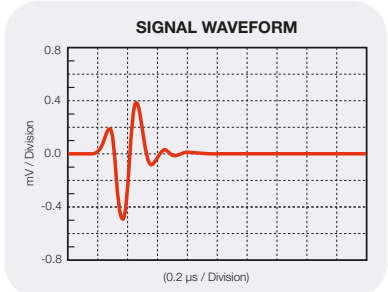
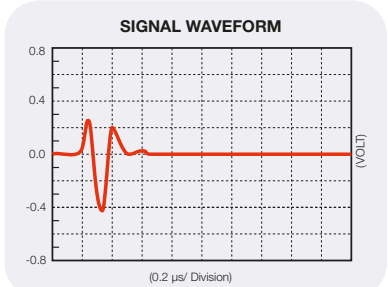
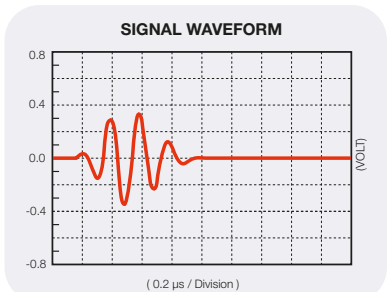
$$\sin(\alpha/2) = \frac{0,514c}{fD} \quad \text{Donde: } \begin{array}{l} \alpha = \text{ángulo de dispersión del haz} \\ c = \text{velocidad acústica del material} \\ f = \text{frecuencia} \\ D = \text{diámetro del elemento} \end{array}$$



Efecto del diámetro del elemento en la forma del haz.

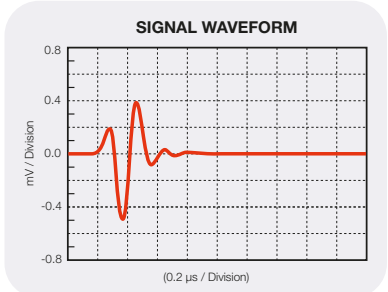
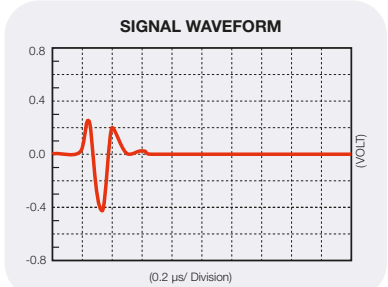
Sondas de banda estrecha

Una sonda de banda estrecha genera un espectro de frecuencia más estrecho y un «ringdown» más amplio debido al diseño ligeramente amortiguado de la sonda, lo que produce mayor sensibilidad ante las reflexiones a partir de pequeños defectos. Estas sondas son usadas para aplicaciones, como la detección y dimensionamiento de defectos.



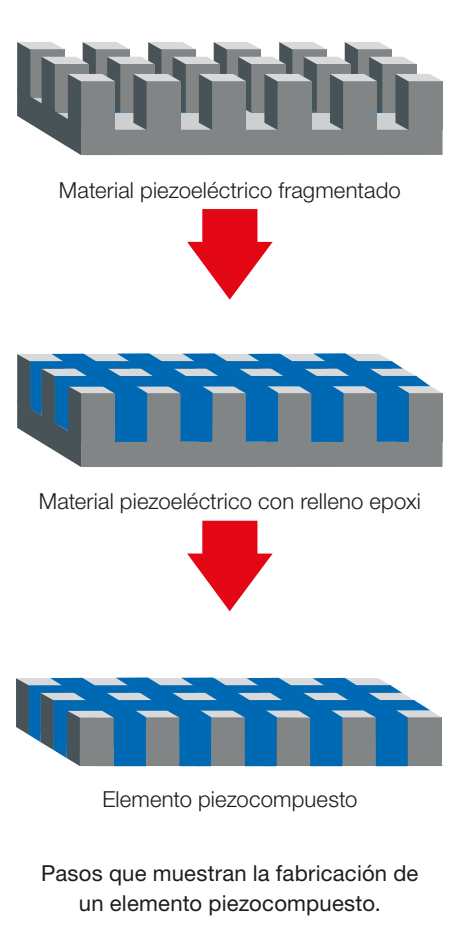
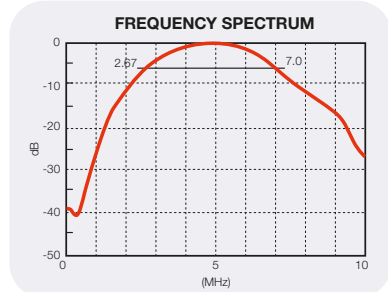
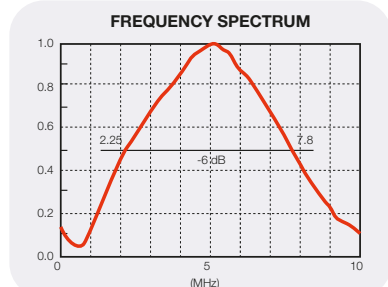
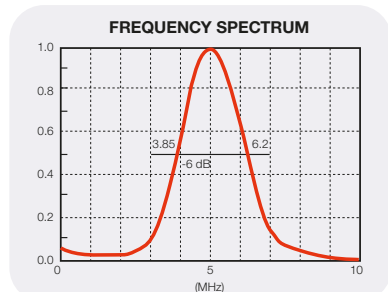
Sonda de banda ancha

Una sonda de banda ancha se dota de un espectro de frecuencia mucho más amplio y de un tiempo «ringdown» más corto debido al diseño altamente amortiguado que mejora la resolución cercana y axial de la superficie. Estas sondas son usadas comúnmente para aplicaciones como las mediciones de espesores, las mediciones de propagación acústica y las técnicas de difracción de tiempo de vuelo.



Sondas compuestas

Un elemento de sonda compuesto está hecho de un elemento estándar fragmentado y relleno con resina epoxídica, generando cambios en las propiedades mecánicas y eléctricas. El resultado es una sonda que mantiene una combinación de banda ancha y alta sensibilidad. Los elementos compuestos presentan una impedancia acústica baja, lo que resulta en una mejor transmisión de energía hacia materiales de baja impedancia. Los elementos compuestos son beneficiosos para detectar defectos en materiales atenuantes que requieren una buena resolución cercana a la superficie, alta sensibilidad, y buenas relaciones entre señal-ruido.



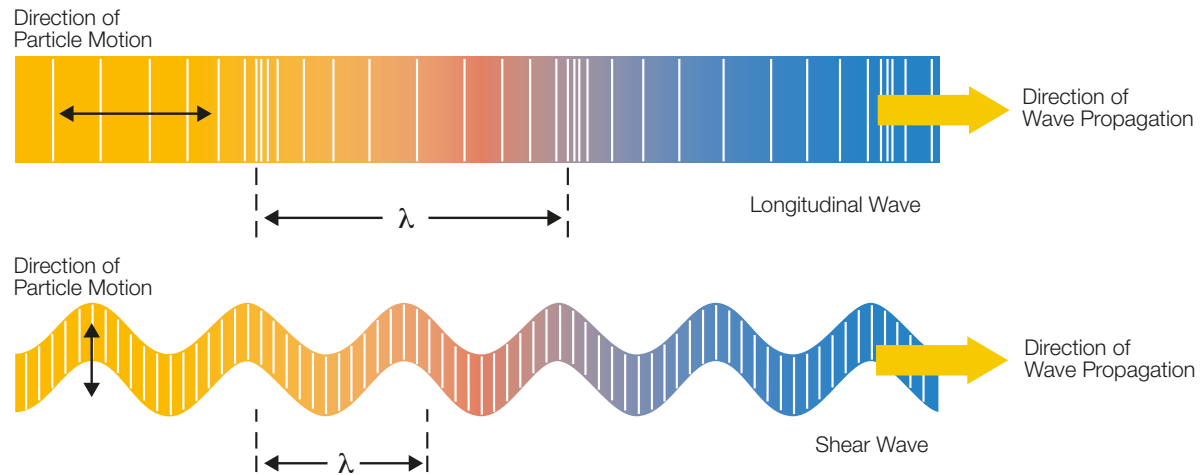
Pasos que muestran la fabricación de un elemento piezocompuesto.

¿El modo de onda es importante?

Un modo de onda es definido por el movimiento de las moléculas en una muestra. Los dos modos de onda más comunes, utilizados en el ámbito de ensayos no destructivos (END), son las ondas longitudinales y transversales. Estos dos modelos viajan a diferentes velocidades de propagación acústica en un material. La longitud de onda en el modo transversal generalmente se acerca a la 1/2 longitud de onda del modo longitudinal con una frecuencia específica.

Onda longitudinal: En este modo, las partículas se desplazan en la misma dirección que la propagación de la onda. Las ondas longitudinales son usadas para la mayoría de aplicaciones de medición de espesores y detección de defectos por haz recto, como también para la detección de defectos por haz angular en materiales de grano grueso, tales como el acero inoxidable de fundición, en donde longitudes cortas de sonda no pueden penetrar.

Onda transversal: En este modo, las partículas se desplazan perpendicularmente en dirección de la propagación de la onda. Debido a que la longitud de la onda transversal generalmente se aproxima a la 1/2 de la longitud de la onda longitudinal, es posible localizar defectos más pequeños con una frecuencia específica. Las ondas transversales son usadas para mejorar la identificación de reflectores pequeños durante la detección de defectos por haz angular como, también, para determinar los componentes de la velocidad de la onda que permitirán caracterizar los materiales.



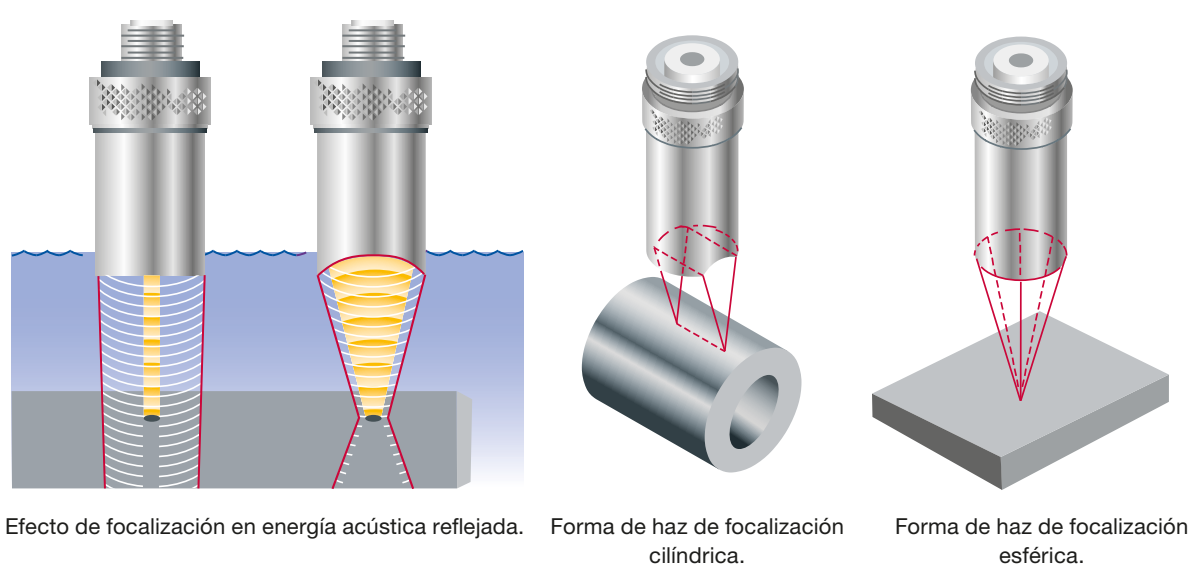
Comparación del movimiento de partículas en los modos de onda longitudinal y transversal.

¿Qué brinda la focalización?

En el caso de una sonda de frente plano, el límite de campo cercano de esta sonda será considerado la focalización natural del haz. Es el punto en el que se encuentra la mayor cantidad de energía acústica por área y donde se producirá un eco máximo a partir de un objetivo o reflector. Las sondas de inmersión pueden ser enfocadas con ayuda de una lente para incrementar la concentración de energía acústica en el punto focal. Si la energía acústica es focalizada con un diámetro de haz más pequeño, la gran parte de energía producida por la sonda será reflejada a partir de un defecto pequeño. Las sondas pueden ser enfocadas de manera esférica y cilíndrica.

El diámetro del haz es relacionado con la longitud focal, la velocidad de propagación acústica, la frecuencia y el diámetro del elemento mediante la siguiente fórmula:

$$BD (-6 \text{ dB}) = \frac{1,02 Fc}{D} \quad \text{Donde: } \begin{array}{l} BD = \text{diámetro de haz} \\ F = \text{longitud focal} \\ c = \text{velocidad acústica del material} \\ f = \text{frecuencia} \\ D = \text{diámetro del elemento} \end{array}$$

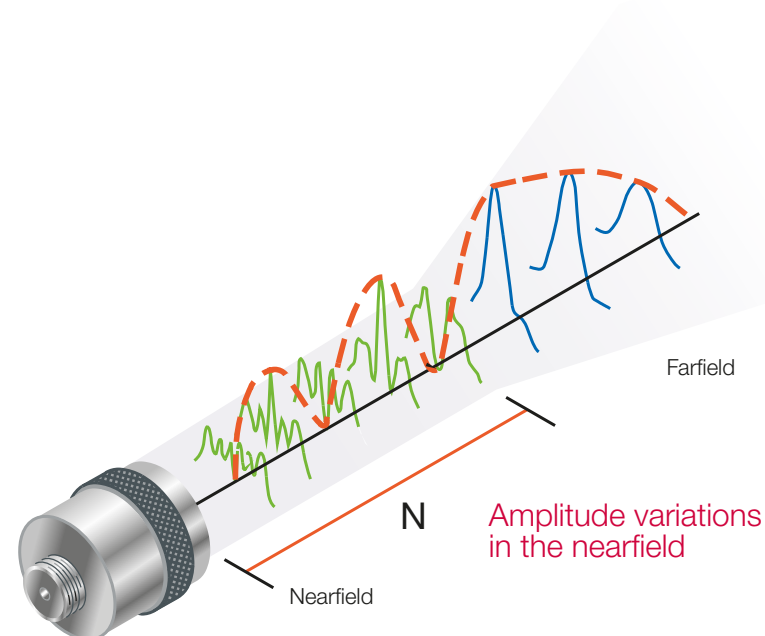


Efecto de focalización en energía acústica reflejada. Forma de haz de focalización cilíndrica. Forma de haz de focalización esférica.

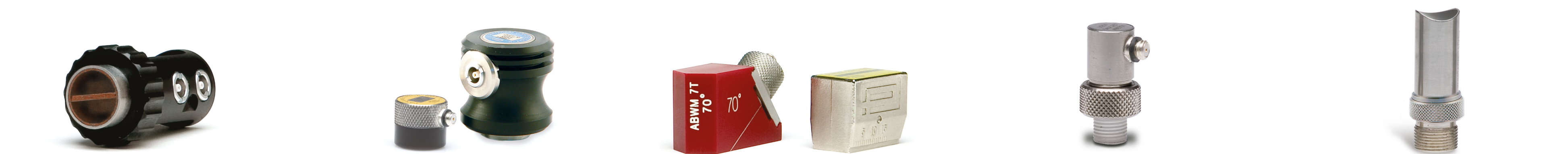
¿Qué efectos tiene el campo cercano?

El campo cercano es la región que se encuentra directamente frente a la sonda, en donde la amplitud de eco varía debido a la interferencia constructiva y destructiva proveniente del elemento activo vibrante. El término del campo cercano es la focalización natural de la sonda y el punto donde el campo acústico alcanza un valor máximo de amplitud, lo que conlleva a que la presión del campo acústico inicie una disminución (caída) gradual hasta cero. La longitud de campo cercano está relacionada con el diámetro del elemento, la frecuencia y la velocidad acústica del material, la cual es representada mediante la siguiente fórmula:

$$N = \frac{D^2 f}{4c} \quad \text{Donde: } \begin{array}{l} N = \text{campo cercano} \\ D = \text{diámetro del elemento} \\ f = \text{frecuencia} \\ c = \text{velocidad acústica del material} \end{array}$$



Tipos de sondas



Sonda dual

Este tipo de sonda usa elementos de emisión y recepción separados para crear una seudofocalización ventajosa que permite inspeccionar piezas con superficies de fondo rugosas. Entre sus aplicaciones destacan la medición de espesores de pared, la monitorización de corrosión o erosión, y las aplicaciones bajo condiciones de altas temperaturas.

Sonda de contacto

Destinadas para un contacto directo con la pieza bajo ensayo, este tipo de sondas presentan generalmente una superficie resistente al desgaste lo que optimiza el contacto con la mayoría de metales. Entre sus aplicaciones destacan la detección de defectos por haz recto, la medición de espesores y la medición de la velocidad acústica.

Sonda de haz angular

La suela extraíble o integral de una sonda de haz angular permite emitir el sonido en ángulo a través de la pieza bajo ensayo. Entre sus aplicaciones principales destacan la inspección de soldaduras, la detección de otros defectos, y el uso de técnicas de dimensionamiento para grietas, que incluyen la difracción del tiempo de vuelo.

Sonda de línea de retardo

El uso de una pieza de material adicional, denominada línea de retardo, que se encuentra entre la sonda y el material bajo ensayo separa los ecos a partir de la recuperación del impulso de excitación o aísla el elemento de la sonda del calor. Entre sus aplicaciones se incluyen la medición de espesores y la detección de defectos en materiales delgados, como también las aplicaciones bajo condiciones de altas temperaturas.

Sonda de inmersión

Las sondas de inmersión son usadas en piezas bajo ensayo que están parcial o completamente inmersas en agua. El agua actúa como un acoplante uniforme y como una línea de retardo líquida. Esta sonda es ideal para efectuar escaneos automatizados, medir espesores en líneas de servicio, y detectar defectos a alta velocidad; además, puede aplicar una focalización para mejorar la sensibilidad durante la detección de pequeños reflectores.