

## PROYECTOS DE COOPERACIÓN

DASEL es una empresa joven cuya tecnología base ha sido desarrollada por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), la mayor institu-

## PROYECTOS TERMINADOS

ción pública de investigación en España y la tercera en Europa.

2004



Nuevos protocolos industriales para la aplicación de las tecnologías SENDAS y AMPLIA. Proyecto de transferencia tecnológica desde el grupo GEND-CISC a DASEL SL.

2006



Diseño de aplicaciones y sistemas para ensayos no destructivos. Nº IDI 2006 0651, financiado por CDTI para la consolidación de la empresa DASEL y el lanzamiento de los productos ULTRASCOPE, DSR y SITAU.

2008



PIE 611/2008, Detector de defectos por tiempo de vuelo de la difracción.

2008



INNO 129-2008 – Diseño conceptual y desarrollo técnico del analizador de defectos por ultrasonido SITAU, desarrollo del producto y diseño en base a las necesidades del cliente.

2008



PET 2008\_0116\_01 DIFRASCOPE Evaluación no destructiva por tiempo de vuelo de la difracción. Sistema multi-canal ultra-compacto para la inspección de soldaduras basado en la técnica TOFD.

2009



PIE 306/2009 Desarrollo de la herramienta FOCAL-SIM para el cálculo y simulación de leyes focales aplicado al diseño de inspecciones phased-array.

# PROYECTOS ACTUALES

Como resultado de esta cooperación, la empresa ha obtenido acuerdos y contratos de I+D con distintas instituciones y empresas.

2010



HANDY, desarrollo de una plataforma portátil y abierta para la integración de diversas tecnologías con las características de: alta portabilidad, baterías ion de litio y pantalla táctil de 10.4”.

2010



Proyecto Artemis (Imagen médica multi-modal avanzada), financiado por la Comunidad de Madrid, para desarrollar un sistema de imagen médica multi-modal, con adquisición en tiempo real y reconstrucción topográfica en escenarios quirúrgicos reales.

2011



DOOME, Desarrollo y optimización de la tecnología de ondas guiadas para la monitorización de estructuras críticas. Sistema para la inspección de tuberías y componentes longitudinales.

2012



EUROSTARS E!6771, SAPHARI Imagen de apertura sintética y coherencia de fase en tiempo real y aplicado a END. Un nuevo estándar de inspección basado en la patente N°ES/200802402

2012



Proyecto 315130 CHAPLIN: El objetivo principal del proyecto es el desarrollo y la demostración de una tecnología integrada capaz de abordar de manera eficiente la inspección de líneas de transmisión de alta potencia.

2012

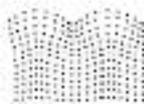


Proyecto 314913: SkinDetector. Aplicación de una técnica innovadora de fusión de datos para el diagnóstico y manejo no invasivo de la diabetes mellitus.

# VELOCIDAD DEL SONIDO Y ATENUACIÓN EN SÓLIDOS

Materiales	Velocidad del sonido		Impedancia acústica $Z = \delta c_l \cdot 10^6 \text{ Kg/m}^2\text{s}$
	$c_L$ (Long.) $10^3 \text{ m/s}$	$c_T$ (Trans.) $10^3 \text{ m/s}$	
<b>Materiales</b>			
Aluminio	6.32	3.13	17
Berilio	12.87	8.90	23
Bismuto	2.18	1.10	21
Latón [58]	4.40	2.20	37
Cadmio	2.78	1.50	24
Hierro fundido	3.5 a 5.8	2.2 a 3.2	25 a 42
Constantán	5.24	2.64	46
Cobre	4.70	2.26	42
Alpaca	4.76	2.16	40
Oro	3.24	1.20	63
Inconel	5.72	3.00	47
Estelita	6.8 a 7.3	4.0 a 4.7	77 a 102
Acero	5.90	3.23	45
Hierro (fundición)	4.80	2.60	33.2
Plomo	2.16	0.70	25
Magnesio	5.77	3.05	10
Manganin	4.66	2.35	39
Mercurio	1.45	-	20
Molibdeno	6.29	3.40	63.1
Monel	6.02	2.70	47.6
Níquel	5.63	2.96	50
Platino	3.96	1.67	85
Plata	3.60	1.59	38
Acero templado	5.92	3.23	46
Acero inoxidable	5.80	3.10	45.4
Estaño	3.32	1.67	24
Titanio	6.07	3.10	27.3
Tungsteno	5.46	2.62	104
Uranio	3.37	2.00	63
Zinc	4.17	2.41	30
<b>No metales</b>			
Óxido de aluminio	9 a 11	5.5 a 6.5	32 a 43
Butilo	1.85	-	2.0
Resina epoxi	2.4 a 2.9	1.1	2.7 a 3.6
Vidrio Flint	4.26	2.56	15
Vidrio crown	5.66	3.42	14
Hielo	3.98	1.99	3.6
Parafina	2.2	-	1.8
Resina acrílica [Perspex]	2.73	1.43	3.2
Poliamida [nylon, perlon]	2.2 a 2.6	1.1 a 1.2	2.4 a 3.1
Poliestireno	2.35	1.15	2.5
Porcelana	5.6 a 6.2	3.5 a 3.7	13
Plexiglass	2.76	1.10	3.1
Polietileno	2.67	0.5	1.7
Poliuretano	1.90	-	1.9
Cristal de cuarzo [silica]	5.57	3.52	14.5
Goma blanda	1.48	-	1.4
Goma vulcanizada	2.3	-	2.8
Teflón	1.35	0.55	3.0
<b>Líquidos</b>			
Glicerina	1.92	-	2.5
Yoduro de metileno	0.98	-	3.2
Gasóleo	1.25	-	1.0
Aceite de motor [SAE 20 a. 30]	1.74	-	1.5
Agua [20° C]	1.483	-	1.5

# RESUMEN DE FÓRMULAS ÚTILES

Fundamentos del ultrasonido			
Variable	Descripción		
Ondas ultrasónicas	Las ondas ultrasónicas son ondas mecánicas de alta frecuencia (>20kHz), que pueden tener presentar distintos modos de propagación en función de la forma en la que vibran las partículas del material (ondas longitudinales, transversales, superficiales, etc).		
Impedancia acústica	$Z = \rho V$ [Kg/m <sup>2</sup> s]	Es la resistencia que ofrece un material al desplazamiento de una onda ultrasónica. Se obtiene como el producto entre la densidad $\rho$ la velocidad V del sonido en el material.	
Presión acústica	$P = Za$	Es la amplitud de la presión oscilatoria que se ejerce sobre un material cuando se propaga por él una onda ultrasónica. Está relacionada con la impedancia "Z" y la amplitud de la oscilación "a".	
Intensidad acústica	$I = P^2/2Z = Pa/2$	Es la cantidad de energía por unidad de área y tiempo.	
Tipos de ondas ultrasónicas		En las ondas longitudinales las partículas vibran en la dirección de propagación del sonido. Este tipo de ondas puede propagarse en sólidos, líquidos y gases.	
		En las ondas transversales o de cizalla el movimiento de las partículas es perpendicular a la dirección de propagación de la onda. La velocidad de propagación en un material suele ser diferente para las ondas transversales y las longitudinales.	
		Las ondas superficiales o de Rayleigh se producen en medios semi-infinitos. Se propagan en una región no superior a una longitud de onda por debajo de la superficie del material. Las partículas vibran siguiendo un movimiento elíptico.	
	Las ondas de Lamb se generan cuando se agrega una segunda condición de borde, por ejemplo, en una placa. Pueden producir vibraciones simétricas o anti-simétricas en placas con espesores de varias longitudes de onda. Las partículas también siguen un movimiento elíptico.		
Variables que definen una onda	$\lambda = c/f = cT$	$\lambda$ – Longitud de onda [mm]: Distancia que recorre el sonido durante un período de oscilación.	
		f – Frecuencia [MHz]: N° de oscilaciones por segundo	
		c – Velocidad [mm/us]: Velocidad a la que se mueve la onda por el medio.	
		T – Período [1/f]: Tiempo de una oscilación	
Velocidad del sonido	Longitudinal	$V_L = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1-\mu)(1-2\mu)}}$	E = Módulo de elasticidad [N/m <sup>2</sup> ]. $\rho$ = Densidad [Kg/m <sup>3</sup> ]. $\mu$ = Coeficiente de Poisson = [E-2G]G G = Módulo de rigidez.
	Transversal	$V_T = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\mu)}}$	
	Superficial	$V_S = \frac{0.87-1.12\mu}{1-\mu} \approx 0.92V_L$	

Comportamiento del sonido en las interfaces entre medios

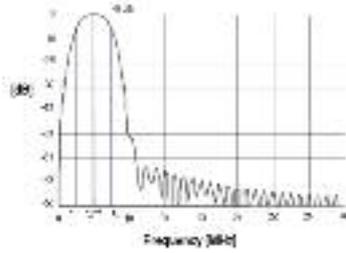
Variables	Descripción	
	Reflexión	<p>Cuando una onda alcanza un medio con diferente impedancia acústica (interfase), parte de la energía incidente se refleja hacia el primer medio. El ángulo de incidencia y el de reflexión están relacionados por:</p> $\alpha_i(\text{incidencia}) = \alpha_r(\text{reflexión})$
	Refracción	<p>Cuando una onda alcanza un medio con diferente impedancia acústica, el haz transmitido cambia de dirección siguiendo la llamada ley de Snell:</p> $\frac{\sin(\alpha_i)}{V_1(\text{incidencia})} = \frac{\sin(\alpha_r)}{V_2(\text{refracción})}$
Primer ángulo crítico	Es el ángulo de incidencia que genera que las ondas longitudinales no se propaguen en el segundo medio (ángulo de refracción = 90°)	
Segundo ángulo crítico	Es el ángulo de incidencia que genera ondas transversales a 90° en el material (ondas superficiales)	
% Energía reflejada (E)	$E = 100 \left( \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2$	Donde Z1 y Z2 son las impedancias acústicas de los medios 1 y 2 respectivamente. El porcentaje de energía transmitida se obtiene restando este valor del 100%.
Coefficiente de reflexión	$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$	R es el coeficiente de reflexión y es un valor numérico adimensional.
Coefficiente de transmisión	$T = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$	T es el coeficiente de transmisión y es un valor numérico adimensional.
Atenuación	$A(\text{atenuación}) = A_0 e^{-\alpha z} + A_1 e^{-\alpha z}$	Reducción de la energía de la onda como resultado de la absorción y la dispersión del medio.
Ancho del pulso (PW)	$PW = \frac{1}{2f_c}$	Duración del pulso de excitación del transductor.

Parámetros de un pulso ultrasónico

<p>RF signal characteristics in time domain</p>	<p>NP – N° de picos                  CN – N° de ciclos: CN = CP/2                  Vpp – Amplitud pico a pico                  ΔT-20dB - Duración del pulso a -20dB del máximo                  dA – Relación de amortiguamiento entre las amplitudes de los dos primeros máximos</p>
---	---

<p>Axial resolution</p>	<p>Capacidad de un sistema ultrasónico de separar dos reflectores ubicados en la dirección de propagación del haz (Δz).</p>
-------------------------	---

Características de la señal ultrasónica en el dominio de la frecuencia.



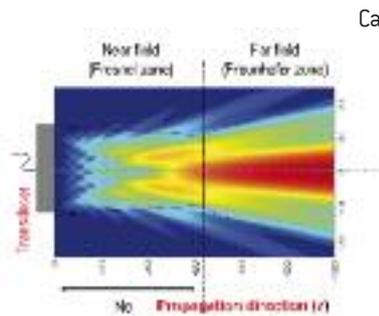
fL – frecuencia de corte inferior  
 fU – frecuencia de corte superior  
 fC – frecuencia central: (fU-fL)/2  
 BW6dB[%] – Ancho de banda: 100 \*(fU-fL)/fC

Clasificación de los transductores según el ancho de banda.

Un transductor ultrasónico transforma energía eléctrica y mecánica y viceversa. El ancho de banda viene dado por el grado de amortiguamiento del transductor.

Respuesta muy amortiguada – gran ancho de banda 1 - 3 ciclos	Respuesta algo amortiguada – Ancho de banda medio 3 - 5 ciclos	Respuesta poco amortiguada – Transductor de banda estrecha 5 - 7 ciclos
La resolución axial mejora si la duración del pulso se reduce,	Resolución axial de referencia (Δz)	La resolución axial empeora cuando se estrecha la banda

**Campo acústico**



Campo acústico

Parámetros:  
 D=Diámetro, f=Frecuencia, V=velocidad, λ=longitud de onda

Transductor

Campo cercano z < No  
 (Transductor circular)

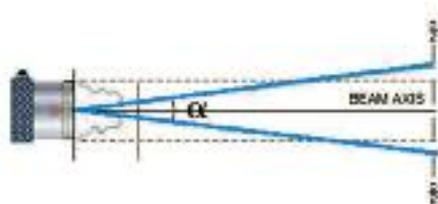
$$N_b = \frac{D^2}{4\lambda} = \frac{D^2 f}{4V}$$

Campo cercano z < No  
 (Transductor rectangular)

$$N_c = \frac{1}{\pi\lambda} (a^2 + b^2) \left(1 + \frac{a}{2b}\right)$$

donde "a" es el lado menor y "b" el lado mayor del transductor.

Apertura del haz  
 La apertura del haz se puede reducir aumentando la frecuencia y/o el diámetro del transductor



Para transductores planos en pulso-eco, el ángulo de apertura del haz viene dado por:

$$\frac{\alpha}{2} = \sin^{-1} \left( k \frac{\lambda}{D} \right)$$

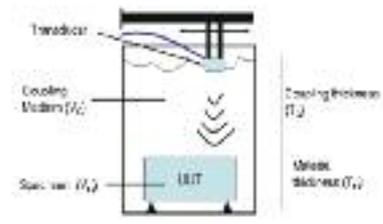
donde: α/2 = la mitad del ángulo de apertura  
 "k" = constante que depende de la definición del ancho del haz

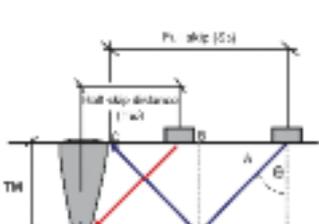
"k" = 0.51 determina el ancho a -6dB en pulso-eco

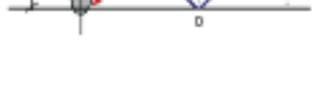
	Valor de "k" en modo transmisión	
Caida % dB	Transductor circular	Transductor rectangular
10% [20 dB]	1.08	0.60
50% [6 dB]	0.54	0.91
	Valor de "k" en modo pulso-eco	
10% [20 dB]	0.87	0.74
50% [6 dB]	0.51	0.44

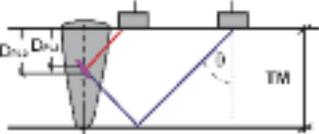
<p>Campo ultrasónico focalizado</p>	<p>En ancho del haz se puede reducir utilizando lentes para focalizar el haz en la región de campo cercano</p> $z_{foco} \approx \frac{R^2}{\lambda} \Rightarrow z_{foco}: \text{posición del foco}$ <p>La posición del foco (zfoco) viene dada por el radio de la lente según: <math>z_{foco} = \frac{R}{1 - (V_M / V_L)}</math></p> <p>=&gt; VM: velocidad del sonido en el medio a inspeccionar =&gt; VL: velocidad del sonido en la lente =&gt; R: radio de curvatura de la lente</p>	
<p>Factor de foco</p>	<p>Un haz focalizado está caracterizado por:</p> $S_M = \frac{z_{foco}}{N\lambda}$	<p>El grado de focalización de un transductor puede describirse por la magnitud "Sac":</p> <p>0.1 ≤ Sac ≤ 0.33 =&gt; focalización fuerte 0.33 ≤ Sac ≤ 0.67 =&gt; focalización media 0.67 ≤ Sac ≤ 1.0 =&gt; focalización débil</p> <p>La mayoría de las aplicaciones utilizan: Sac &lt; 0.6</p>
<p>Profundidad de foco</p>	$L_{foco} = 7\lambda \left( \frac{z_{foco}}{D} \right)^2$	<p>Esta fórmula es válida para Sac &lt; 0.6</p>
<p>Diámetro de un haz focalizado</p>	$\Phi = S_M \frac{D}{4} = \frac{z_{foco} D}{4 N \lambda}$	<p>Diámetro del haz en el foco (mm, caída -6dB)</p>

Técnicas de inspección

<p>Máximo espesor de la pieza a inspeccionar</p>	$T_M = \frac{V_C V_M}{V_C}$	<p>El espesor máximo de la pieza a inspeccionar (TM) está limitado por la altura del medio acoplante (Tc), normalmente agua o plexiglass.</p> <p>VC =&gt; velocidad del sonido en el acoplante. VM =&gt; velocidad del sonido en la pieza a inspeccionar</p> 
--	-----------------------------	--

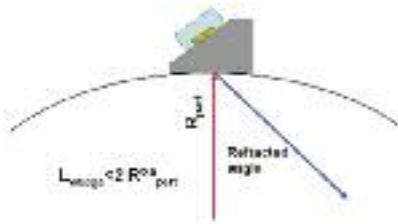
<p>Distancia en un salto ["skip distance"] (SD)</p>		<p>Es la distancia desde el "index point" del transductor hasta el punto en el que el haz vuelve a la superficie. Este parámetro es importante para calcular la distancia a la que se debe ubicar el transductor para inspeccionar todo el espesor de la soldadura.</p> <p>Ángulo del transductor =&gt; <math>\theta</math> TM =&gt; Espesor de la pieza.</p> $S_1 = 2T_M \tan(\theta)$
---	---	---

<p>Distancia en medio salto ["half skip distance"] (HSD)</p>		<p>Es la distancia desde el "index point" del transductor hasta el punto en la superficie justo sobre el punto donde el haz alcanza el fondo de la pieza.</p> $H_{SD} = T_M \tan(\theta)$ <p>Distancia recorrida en directa (HSBPL) = AD = TM / cos <math>\theta</math> Distancia recorrida en un salto (FSBPL) = AD + DC = 2TM / cos <math>\theta</math></p>
--	---	---

<p>Identificación de defectos</p>		<p>DPL1 =&gt; Profundidad del defecto desde la superficie considerando 1 salto. SP =&gt; Recorrido del sonido sin contar con la reflexión en el fondo. <math>D_{sk} = S_1 \cos(\theta)</math></p> <p>DPL2 =&gt; Profundidad del defecto desde la superficie considerando 2 saltos. SP =&gt; Recorrido del sonido incluyendo la reflexión en el fondo. TM =&gt; Espesor de la pieza</p> $D_{def} = 2T_M - S_2 \cos(\theta)$
-----------------------------------	---	--

Inspección de componentes cilíndricos

Relaciones entre la longitud de la suela y el radio del componente

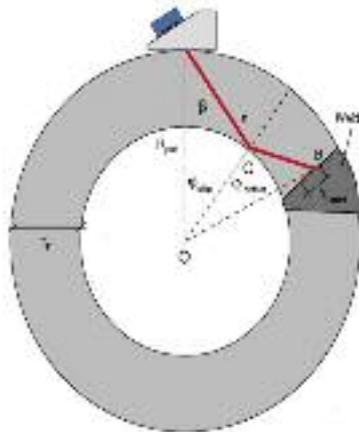


Se recomienda, para inspecciones por contacto, que si la suela no tiene la curvatura de la pieza, la longitud de la suela (LWedge) cumpla la siguiente condición:

$$R_{part} > \frac{L_{wedge}^2}{4} \Rightarrow R_{part}: \text{radio exterior}$$

Como regla general, la máxima separación entre la suela y la superficie debe ser  $\leq 0.5\text{mm}$

Inspección de soldaduras en tubos



El recorrido del sonido y el ángulo refractado cambian cuando la superficie es curva, como en el caso de las soldaduras en tubos:

$$\beta_{max} = \arcsin\left(1 - \frac{TP}{2R_{part}}\right)$$

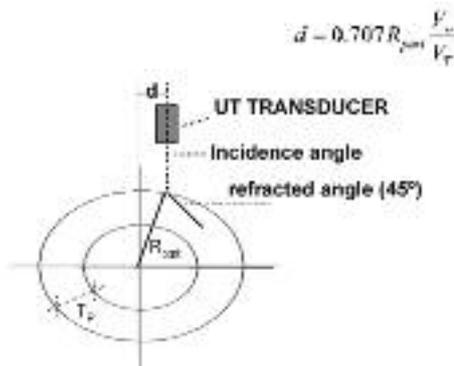
$$\sin e = \left[1 - \frac{TP}{2R_{part}}\right] \sin \beta$$

$$\phi = \pi - (\beta + e)$$

$$h_{Defetc} = OB - 0.5(R_{part} - 2TP)$$

TP => Espesor de la tubería  
 RPart => Radio exterior  
 $\beta_{max}$  => Máximo ángulo de la sonda  
 $\phi$  => Ángulo radial  
 hDefetc => Altura del defecto  
 OB => Distancia desde el centro del tubo hasta el defecto

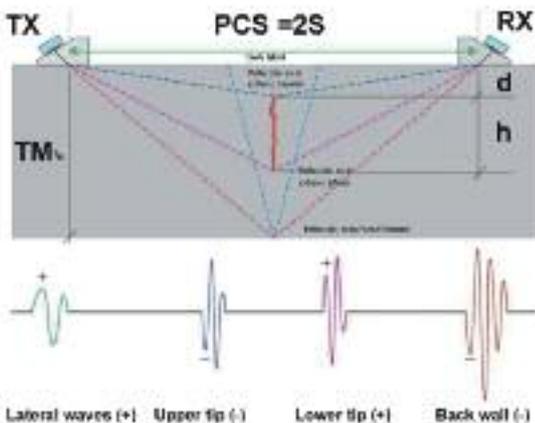
Distancia lateral para generar ondas transversales a 45°



El procedimiento debe llevarse a cabo por inmersión:

d => Distancia lateral desde la línea central.  
 Rpart => Radio exterior  
 VL => Velocidad del sonido en agua  
 VT => Velocidad de las ondas transversales en el material  
 TP => Espesor del material.

Técnica de tiempo de vuelo de la difracción



$$T_{Lateral} = \frac{PCS}{V_L} + \left(\frac{2S}{V_T}\right)$$

$$T_{UpperTip} = \frac{2\sqrt{(S^2 + d^2)}}{V_L}$$

$$T_{LowerTip} = \frac{2\sqrt{(S^2 + (h+d)^2)}}{V_L}$$

$$T_{BackWall} = \frac{2\sqrt{(S^2 + L^2)}}{V_L}$$

PCS => Separación entre transductores

TLat.Wave => Tiempo de vuelo de la onda lateral

S => Distancia desde el transductor al centro de la soldadura

d => Distancia superior

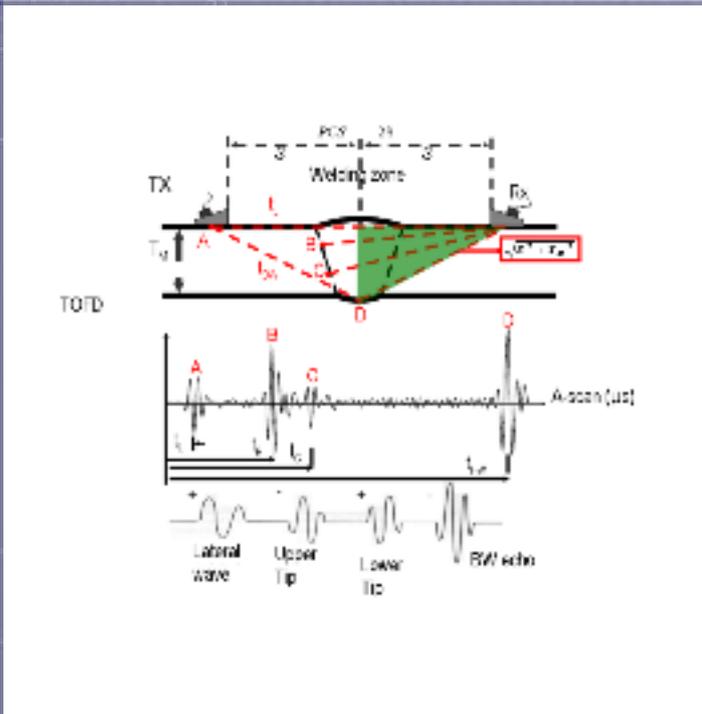
h => Altura del defecto

VL => Velocidad de las ondas longitudinales en el material.

TPP => Tiempo de vuelo al eco de fondo

TM => Espesor del material

Técnica de tiempo de vuelo de la difracción



PCS => Separación entre transductores

TM => Espesor del material.

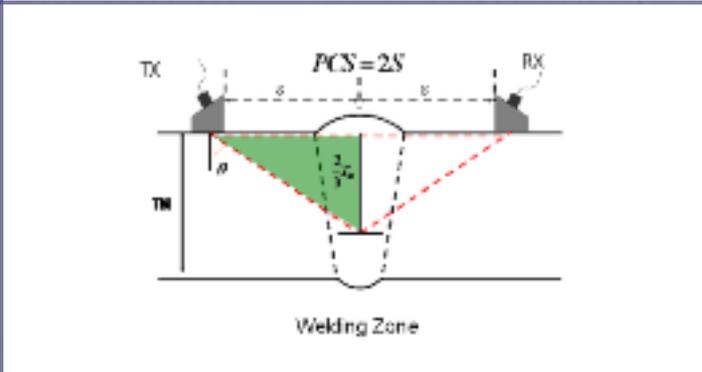
VL => Velocidad de las ondas longitudinales en el material.

VT => Velocidad de las ondas transversales en el material

\* el tiempo de vuelo de la onda lateral debe ser mayor que el tiempo de vuelo al eco de fondo.

$$t_L (\text{Transversal}) > t_{FB} (\text{Longitudinal})$$

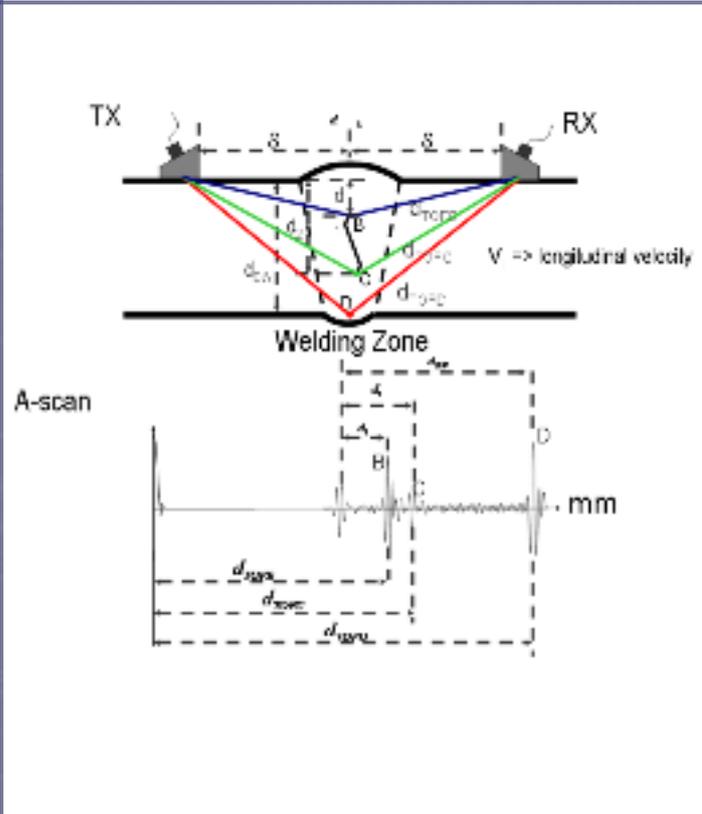
$$\left. \begin{aligned} \frac{2S}{V_T} > \frac{2\sqrt{S^2 + T_M^2}}{V_L} \\ V_L > 2V_T \\ PCS > 2S \end{aligned} \right\} \Rightarrow PCS > \frac{2T_M}{\sqrt{3}}$$



El haz incide con un ángulo de entrada - θ -, a dos tercios del espesor del material (TM)

$$\tan \theta = \frac{S}{\frac{2}{3}T_M} \rightarrow PCS = \frac{4}{3}T_M \tan \theta$$

$$PCS = 2S$$



VL => Velocidad de las ondas longitudinales en el material

tB=> Tiempo de vuelo del eco generado en B.

tC=> Tiempo de vuelo del eco generado en C

tD=> Tiempo de vuelo del eco generado por el eco de fondo - punto D

dTOFB => Distancia entre el punto B y el transductor receptor.

dTOFC => Distancia entre el punto C y el transductor receptor.

dTOFD => Distancia desde el fondo al transductor receptor.

d1=> Profundidad del punto B.

d2=> Profundidad del punto C.

dBW=> Profundidad del punto D.

$$d_{TOFB} = \frac{V_L t_B}{2}$$

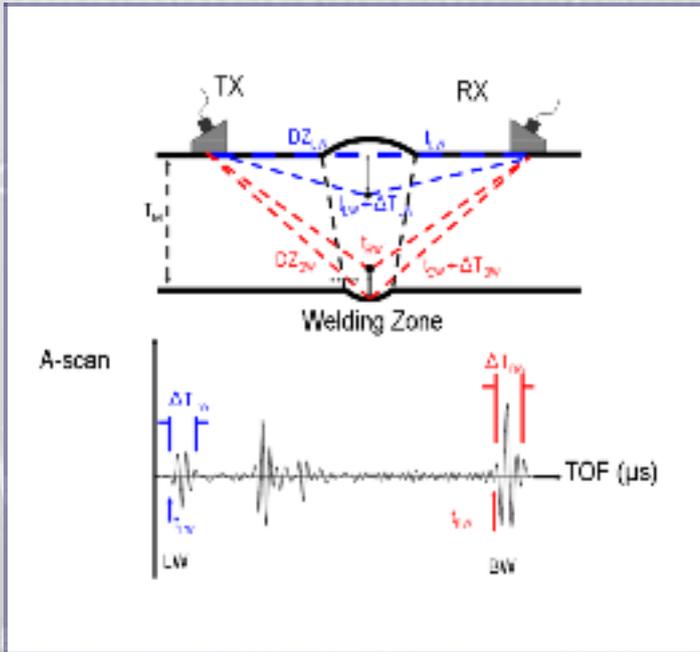
$$d_{TOFC} = \frac{V_L t_C}{2}$$

$$d_{TOFD} = \frac{V_L t_D}{2}$$

$$d_1 = \frac{1}{2} \sqrt{V_L^2 t_B^2 - 4S^2}$$

$$d_2 = \frac{1}{2} \sqrt{V_L^2 t_C^2 - 4S^2}$$

$$d_{2e} = \frac{1}{2} \sqrt{V_L^2 t_D^2 - 4S^2}$$



f => Frecuencia de emisión de un transductor de banda ancha con un pulso de duración  $\Delta TLW = 1.5/f$ .

TM => Espesor del material

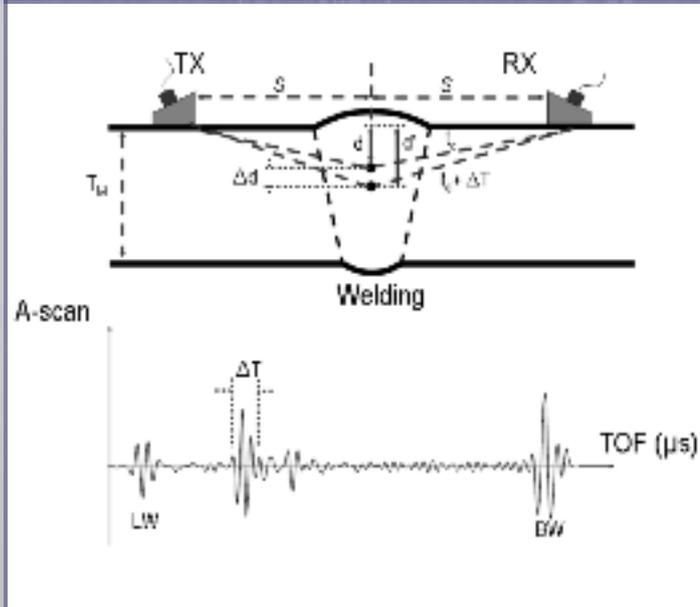
VL => Velocidad de las ondas longitudinales en el material.

DZLW => Zona muerta de la onda lateral (se incrementa al reducir la frecuencia)

$$DZ_{LW} = \frac{1}{2} \sqrt{V_L^2 \left( \frac{2S}{V_L} + \frac{2}{f} \right)^2 - 4S^2}$$

DZBW => Zona muerta del eco de fondo (se incrementa al reducir la frecuencia)

$$DZ_{BW} = \frac{1}{V_L} \left( \frac{V_L^2 + V_W^2}{V_L} \frac{1.5}{2f} \right)^2 S^2 - T_w$$



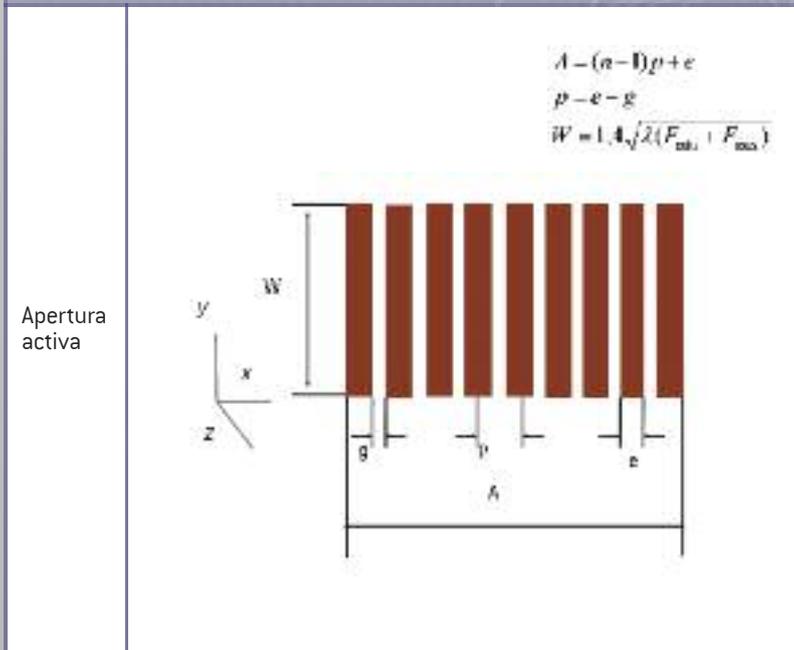
La resolución espacial ( $\Delta d$ ) es la capacidad del sistema de distinguir entre dos reflectores puntuales ubicados a distintas profundidades desde la superficie. La resolución espacial es una función de la duración del pulso ( $\Delta T$ ) y empeora con la profundidad del defecto

$$\Delta d = d' - d$$

$$\Delta d = \frac{1}{2} \sqrt{V_L^2 (t_w + \Delta T)^2 - 4S^2} - d$$

$$\Delta T = \frac{1.5}{f}$$

Phased array



La apertura activa es el largo total del array:

A => Apertura activa.

g => Separación entre elementos adyacentes

e => Ancho de cada elemento, típicamente  $\leq \lambda/2$ .

n => N° de elementos.

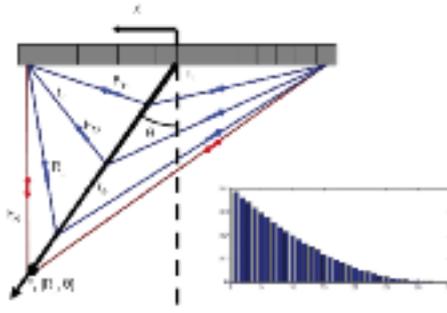
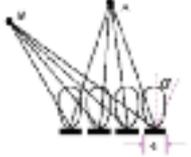
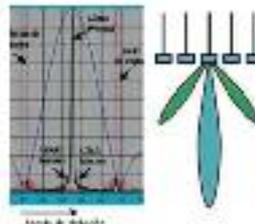
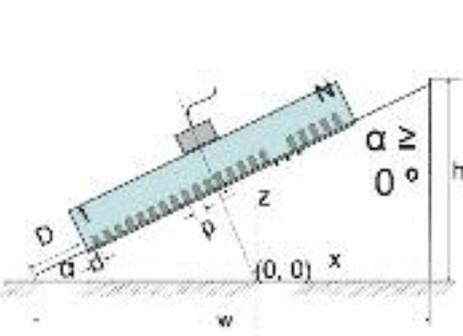
$\lambda$  => longitud de onda

p (pitch) => Distancia entre centros de dos elementos adyacentes

W => La apertura pasiva es el largo de cada elemento. Determina la distancia de campo cercano en el plano perpendicular al array.

Fmin - Fmax => Distancias focales máxima y mínima.

<p>Campo cercano</p>		<p>La distancia del campo cercano depende del tamaño de la apertura activa</p> $N_o = \frac{A^2}{4\lambda}$ <p>A =&gt; apertura activa. No =&gt; campo cercano.</p>
<p>Ancho del haz</p>		<p>El ancho del haz depende de la posición del foco y del tamaño de la apertura activa</p> $\Phi_{-20dB} = K_{KBW} \frac{z_{foco} \lambda}{A}$ <p>z<sub>foco</sub> =&gt; Posición del foco KBW =&gt; constante que depende del criterio para medir el ancho del haz: KBW =&gt; 1 (criterio de Rayleigh) KBW =&gt; 1.22 (criterio de caída a -6dB) KBW =&gt; 1.33 (criterio de Sparrow) <math>\Delta x</math> =&gt; Resolución lateral, definida por el ancho del haz <math>\Delta z</math> =&gt; Resolución axial, definida por:</p> $\Delta z = \frac{V \Delta T_{-20dB}}{2}$ <p><math>\Delta T_{-20dB}</math> – duración del pulso -20dB del máximo. V =&gt; velocidad del sonido en el material.</p>
<p>Profundidad de foco</p>		<p>Para una apertura de tamaño [A], la profundidad de foco (L) disminuye con la distancia del foco</p> $L_{max} = 7.2 \left( \frac{z_{foco} \lambda}{A} \right)^2$ <p>La posición del foco debe estar siempre dentro del campo cercano.</p> $z_{foco(max)} < N_o$ <p>A =&gt; Apertura activa. V =&gt; velocidad del sonido en el medio</p>
<p>Focalización dinámica (DDF)</p>		<p>La focalización dinámica (DDF) cambia la distancia focal en tiempo real para que la "lente electrónica" siga al frente de ondas durante su propagación, obteniendo así la mejor resolución posible a cualquier profundidad (SNR).</p>

<p>Cálculo de la ley focal en función del ángulo de deflexión</p>	 $DLE = \frac{1}{v} \left\{ R_n - \sqrt{R_n^2 + x_i^2} - 2x_i R_n \sin \theta \right\}$ $DLR = \frac{1}{v} \left\{ R_n - \sqrt{R_n^2 + x_i^2} + x_i^2 - 2x_i R_n \sin \theta \right\}$	<p>DLE =&gt; Retardo en emisión                  DLR =&gt; Retardo en recepción  <math>\theta</math> =&gt; Ángulo de deflexión  <math>x_i</math> =&gt; Posición del elemento "i".                  FE =&gt; Distancia desde el centro del array al foco en emisión (RE, <math>\theta</math>).                  FR1, FR2, FR3, ... =&gt; Distancia desde el centro del array al foco en recepción "n".                  rin =&gt; Distancia desde el foco "n" al elemento "i" en ida y vuelta                  VM =&gt; velocidad del sonido en el material</p>
<p>Máximo ángulo de deflexión</p>	 $\sin(\theta_{\text{max}}) = 0.5 \frac{\lambda}{e}$	<p>El ángulo máximo de deflexión depende del tamaño de los elementos  <math>\theta_{STmax}</math> =&gt; Máximo ángulo de deflexión a -6dB.                  e =&gt; Ancho de los elementos del array.  <math>\lambda</math> =&gt; Longitud de onda</p>
<p>Lóbulos de rejilla</p>	 $\beta_{\text{Grating}} = \sin^{-1} \left( \frac{m\lambda}{p} \right)$ $m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$	<p>Los lóbulos de rejilla se deben a un sub-muestreo de la apertura activa [separación excesiva entre elementos]. Su amplitud depende de la separación entre elementos, de la frecuencia y del ancho de banda.  <math>\beta_{\text{Grating}}</math> =&gt; Ubicación angular del lóbulo de rejilla                  p =&gt; distancia entre elementos  <math>\lambda</math> =&gt; longitud de onda.</p>
<p>Cálculo de suelas</p>	 $\alpha_i = \sin^{-1} \left( \frac{F_i \sin \theta_i}{V_{SL}} \right)$ $F_i = (L_1 + L_2) \sin \alpha_i = \left( L_1 + \frac{L_2}{2} (n-1) \right) \sin \alpha_i$ $L_1 = \frac{R_i}{\cos \alpha_i}$ $D_i = \frac{2R_i}{\lambda}$ $F_i = (L_1 + L_2) \sin \alpha_i = \frac{R_i}{\cos \alpha_i} + L_2 \sin \alpha_i$	<p><math>\alpha_i</math> =&gt; Ángulo incidente para obtener el ángulo refractado buscado                  Eh =&gt; Altura del centro de la apertura activa – punto emisor virtual                  Pw =&gt; Recorrido del sonido en la suela                  Dw [<math>\mu</math>s] =&gt; Tiempo de vuelo para un ángulo específico.                  li =&gt; Se denomina "index point" a la distancia desde el borde de la suela al punto de entrada al material del haz para un ángulo determinado.  <math>\omega</math> =&gt; Ángulo de la suela                  Hi =&gt; Altura del primer elemento                  Hw =&gt; Altura de la suela.  <math>\beta_i</math> =&gt; Ángulo refractado en el material                  p =&gt; distancia entre elementos                  L1 =&gt; distancia desde el primer elemento al punto de emisión                  L2 =&gt; Distancia desde el punto de emisión a la intersección con el eje horizontal (interfaz)                  VW =&gt; velocidad del sonido en la suela                  VM =&gt; velocidad del sonido en el material</p>
<p>Volumen de datos</p>	$D_{\text{datos}} = K_s \times D_L \times R_s$ $\frac{I_n}{S_{AV}} < A_v$	<p>KS =&gt; n° de muestras por línea – longitud del A-Scan.                  DL =&gt; n° de líneas por imagen.                  RS =&gt; n° de disparos – longitud del C-Scan                  IS =&gt; velocidad de inspección [mm/s].                  SAR =&gt; resolución del barrido mecánico [mm].                  AR =&gt; tasa de adquisición [B-scan/s].</p>

