



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

**Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Mecánica**

Aplicación del ultrasonido al control de calidad de procesos de soldadura.

**Seminario de Título presentado en
conformidad a los requisitos para obtener el
título de Ingeniero de Ejecución en
Mecánica.**

**Profesor Guía:
Juan Carlos Figueroa Barra.**

Bernardo Jesús Romero Reyes
Felipe Hernan Probeste Contreras

2013

I. AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS.

Primero que nada darle gracias a Dios, ya que fue el, que me dio la familia y amigos que me apoyaron para terminar, gracias a mis tíos, a mis amigos, a mis primos, a mis hermanos, a mis abuelos. Gracias especialmente a mi madre Sonia Reyes Mellado, ya que ella fue la persona que me ayudo a terminar lo que empezamos con mi viejo. Por ultimo dedicarle este seminario a mi padre Bernardo Antonio Romero Astudillo, con el cual empecé esta carrera, te quiero mucho viejo.

Bernardo.

Agradecer a mi familia por su apoyo
incondicional e infalible, a mis
amigos, compañeros/as y todas las
personas que en algún momento
actuaron como aliciente,
brindándome confianza y cariño.

Felipe.

II. RESUMEN

Para cumplir con los objetivos esbozados más adelante, se efectuó un ensayo que se concibe gráficamente como un edificio, es decir, consta de una base teórica, que sustenta dando rigidez y cohesión a la estructura superior, que en este caso sería la inspección y evaluación de placas soldadas a tope. Con lo anterior adquiere lógica el desarrollo y estructuración del seminario, que en primer lugar responde al origen de la inspección ultrasónica abordando de una forma superficial los ensayos no destructivos; para posteriormente pasar a poner en relieve el estudio del equipo EPOCH 1000i; que es el instrumento utilizado en la inspección, agregado al estudio metódico de la norma AWS D1.1 que será el patrón a seguir en cuanto a procedimiento y evaluación de las discontinuidades encontradas mediante el análisis, también se aborda insumos insoslayables para hacer una inspección de soldadura por ultrasonido, que determina la interpretación de los resultados obtenidos, como lo es el conocimiento de características importantes de una soldadura y causas de discontinuidades internas más comunes.

Finalizando con la edificación de la estructura, se desarrolló el análisis práctico, en el cual se inspecciono 8 probetas del Kit educacional de ultrasonidos que el Departamento de Ingeniería Mecánica adquirió. Ésta inspección en función de la norma AWS D1.1 consta de una caracterización de cada una de las probetas mediante la utilización de criterios de aceptación que clasifican el nivel de criticidad de la discontinuidad en cuestión, obteniendo como resultado la aprobación o rechazo de ésta.

III. GLOSARIO

α	: Angulo de incidencia.
θ	: Angulo de refracción.
V_1	: Velocidad de onda en el medio1.
V_2	: Velocidad de onda en el medio 2.
v	: Velocidad acústica. (m/s)
R	: Coeficiente de reflexión.
$\%R$: Porcentaje de reflexión.
T	: Coeficiente de transmisión.
$\%T$: Porcentaje de transmisión.
Z	: Impedancia acústica.
Z_1	: Impedancia en el medio 1.
Z_2	: Impedancia en el medio 2.
SD	: Distancia de salto.
$SD/2$: Distancia de medio salto.
DS	: Distancia superficial.
DA	: Distancia angular.
e	: Espesor.
λ	: Longitud de onda. (mm)
ρ	: Densidad (kg/m^3).

IV. CONTENIDOS

Capítulos	Página
CAPITULO 1: ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE MATERIALES	1
1.1 ¿Qué son los ensayos no destructivos?	1
1.2 Clasificación de los END3	3
1.3 Ultrasonido-END	5
1.4 Inspección por Ultrasonido	6
1.4.1 Componentes Básicos de una Inspección	6
1.4.2 Aplicaciones, ventajas y desventajas del ultrasonido	7
CAPITULO 2: EQUIPO DE ULTRASONIDO, REVISIÓN Y APLICACIÓN DEL EPOCH 1000i	9
2.1 Características Físicas del Epoch 1000i	9
2.2 Características del Software del Epoch 1000i	11
2.2.1 Funciones e indicadores en pantalla	12
2.2.2 Modos, Menú, Submenú y parámetros	13
2.2.2 Convención de escritura para las funciones y los parámetros del menú	16
2.2.3 Métodos de representación de datos	16
2.3 Herramientas de software para modo UT convencional	19
2.3.1 Curvas DAC/TVG dinámicas.	20
2.3.1 Curvas DGS/AVG	21
2.3.2 Herramienta software para inspecciones conformes a la norma AWS D1.1/D1.5	21
2.4 Conclusión.	22

CAPITULO 3: TEORÍA DEL ULTRASONIDO	23
3.1 Variables Ultrasónicas.	23
3.2 Formas de vibración ultrasónica (modos de onda).	24
3.3 Incidencia angular.	27
 CAPITULO 4:NORMAS Y SU APLICACIÓN A PROCESOS DE SOLDADURA.	 33
4.1 Discontinuidades en soldaduras.	34
4.2 Discontinuidades Internas más triviales	35
4.2.1 Inclusión de escoria	35
4.2.2 Fusión Incompleta.	36
4.2.3 Grietas	37
4.2.4 Porosidad	40
4.3 Normas aplicadas a procesos de soldadura.	40
4.3.1 Normas.	41
4.4 Conclusión.	43
 CAPITULO 5: INSPECCIÓN DE SOLDADURAS	 44
5.1 Inspección de soldadura por ultrasonido	44
5.2 Aspectos a considerar por el inspector en ultrasonido	45
5.2.1 Tipos de Juntas y Preparación	45
5.2.2 Tipos de Ranura.	45
5.3 Inspección de juntas soldadas a tope	46
5.3.1 Uso de palpadores de haz angular	46
5.3.2 Ubicación de las discontinuidades usando el palpador de haz angular	48
5.3.3 Inspección de un cordón de soldadura con palpador de haz angular	50
5.3.4 Zonas de barrido	51
5.4 Evaluación de discontinuidades.	55

5.5	Kit educacional de Ensayos no destructivos	59
CAPITULO 6: PROCEDIMIENTO EN LA INSPECCIÓN DE SOLDADURA		62
6.1	Marcado de la piezas juntadas a tope	62
6.2	Calibración AWS D1.1	64
6.3	Calibración del transductor recto	68
6.4	Inspección UT	69
6.5	Inspección PA	73
6.5.1	Piernas modo PA	73
6.5.2	Cursores PA	74
6.5.3	Mascaras modo PA	75
CAPITULO 7: RESULTADOS		77
7.1	Inspección modo convencional UT y evaluación de piezas	77
7.1.1	Información de la inspección	77
7.2	Información de la inspección	78
7.2.1	Inspección de Kit educacional	78
7.3	Inspección modo PHASED ARRAYS	110
7.3.1	Información de la inspección	110
7.3.2	Inspección de kit educacional.	111
CONCLUSIÓN		119
BIBLIOGRAFIA		121

VI. INTRODUCCIÓN

“De la teoría a la praxis y de la praxis a la teoría”; una retroalimentación constante que no solo permite fortalecer los conocimientos ya adquiridos, más bien desarrollar cualidades nuevas con las cuales se puede responder a los requerimientos y necesidades de un contexto determinado. En este sentido, desde el punto de vista de los ensayos no destructivos, el grado de eficacia de una prueba se encuentra subordinado a dicha premisa, ya que el resultado de la inspección depende en gran medida del factor humano y del nivel de calificación que se posea, una mezcla de sustrato teórico y práctico. Es así como en el presente ensayo se abordará el análisis teórico y empírico de uno de los métodos de pruebas no destructivos más sofisticado y utilizado en la industria actual, debido a los niveles de confiabilidad de la inspección y la variedad de aplicaciones que entrega. La inspección por ultrasonido se ha masificado de manera ascensional en los planes de mantenimiento, esto producto de la fiabilidad de los resultados que entrega al analizar la integridad interna de materiales.

Concebir la base teórica en la cual se sustenta la inspección de discontinuidades internas permitirá efectuar el análisis posterior de placas soldadas a tope que tienen la peculiaridad de tener defectos inducidos, orientadas específicamente para estudiantes; con el objeto de ser herramientas indispensables para el desarrollo de aptitudes en éste tipo de inspección. Ésta se realizará bajo un procedimiento normado y además consta con la posterior evaluación y clasificación en base a la norma AWS D1.1.

Teniendo presente los paradigmas actuales de producción, el tener conocimiento de esta técnica de inspección robustece el desarrollo de cuadros profesionales con competencias necesarias para satisfacer y resolver las diferentes problemáticas en la industria, especialmente aquellos relacionados con la eficacia y costos; vínculo insoluble que determina el quehacer como ingeniero.

VII. OBJETIVOS

Objetivo General

Estudio del ultrasonido en el control de calidad de procesos de soldadura.

Objetivos Específicos

- Estudio del estado del arte de la aplicación de ultrasonido en el control de calidad.
- Aplicación de normas AWS al control de calidad de soldadura mediante ultrasonido.
- Analizar e inspeccionar muestras de soldaduras mediante ultrasonido, caracterizando sus fallas.
- Generación de guías en función de contribuir al desarrollo empírico de ensayos no destructivos, específicamente ultrasonido.

CAPITULO 1: ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE MATERIALES

Introducción

Optimizar, en una palabra se puede reducir la premisa a seguir por la industria en periodos donde la reactivación del proceso productivo es una ley inquebrantable, tal estado ha secundado la necesidad de incubar nuevos medios para satisfacer objetivos tendientes a mantener los activos fijos de estas y ser competitivas en un mercado cada vez más exigente dominado por la competencia y la centralización del capital; en función de mantener la producción constante e inhibir los tiempos muertos; como herramienta ampliamente utilizada se tiene la gestión, el desarrollo y la práctica de dos concepciones de mantenimiento (TPM: Mantenimiento Productivo Total y RCM: Mantenimiento Centrado en Fiabilidad) que difieren en sus métodos; sin embargo, su finalidad es idéntica. Lo peculiar es que ambas visiones se sustentan mayoritariamente bajo los cimientos del mantenimiento preventivo-predictivo; concibiéndolo como un instrumento ineluctable a la hora de incrementar la vida útil de los medios de producción (personal, maquinas, equipos, herramientas e instalaciones.) y reducir los costos de manufactura, manteniendo siempre los estándares de calidad; bajo esta circunstancia el conjunto de ensayos no destructivos (END) adquieren gran valor en la búsqueda de crecimiento exponencial en la productividad de una empresa, razón por la cual en la actualidad son ampliamente utilizados en la industria.

1.1 ¿Qué son los ensayos no destructivos?

Como sentencia a la interrogante planteada se puede decir que los ensayos no destructivos (END) son herramientas fundamentales e insoslayables para el control de calidad de materiales de ingeniería, procesos de manufactura, fiabilidad de productos en servicio y mantenimiento de sistemas. Su fundamento radica en el empleo de principios físicos o químicos de materiales para la evaluación indirecta

de materiales sin dañar su utilidad futura; en este sentido los END se caracterizan por no modificar la fisonomía y propiedades físicas o químicas del material a inspeccionar.

Los END permiten detectar indicaciones en el material, que una vez interpretadas, se infiere si son producidas por discontinuidades que pueden ser aceptadas o rechazadas según parámetros o criterios (normalizados) de aceptación y rechazo. En el caso de ser rechazada implica que la discontinuidad es defecto (falla) e inhibe un óptimo funcionamiento del equipo/máquina en el proceso productivo, mermando la fiabilidad y vida eficaz de este; y por consiguiente la productividad de la empresa. De acuerdo con lo anterior se puede decir que existe una relación sincrónica entre estos métodos de inspección y el mantenimiento preventivo-predictivo, ya que permiten detectar de manera eficaz potenciales fallas con el objeto de asegurar un funcionamiento del equipo/máquina en forma continua, segura y confiable; atenuando costos de producción e inexorablemente aumentando el plus valor de la empresa.

Además de usar los END para detectar y evaluar discontinuidades, estos tienen diversas aplicaciones, tales como:

- La medición de dimensiones.
- Detectar fuga y su evaluación.
- Caracterizar estructura o micro-estructura.
- Estimación de propiedades mecánicas y físicas.
- Identificar o separar materiales.
- Uniformidad en la producción.
- Eliminar materia prima defectuosa.

En la actualidad existe una gran variedad de END que pueden satisfacer los requerimientos de la empresa, no obstante estos se encuentran supeditados a factores básicos que determinan que método o técnica utilizar en función de condiciones concretas dadas, como por ejemplo entre las variables a considerar tenemos:

- Los tipos de discontinuidades que son de interés en el objeto.
- El tamaño y la orientación de las discontinuidades que se necesitan detectar.
- La localización o ubicación de las discontinuidades que son de interés.
- El tamaño y la forma del objeto a inspeccionar.
- Las características del material que va a ser inspeccionado.

1.2 Clasificación de los END

La clasificación de los END reside en la posición donde se localiza la discontinuidad que puede ser detectada, por lo que se clasifican en:

END Superficiales: Entregan información acerca de la sanidad superficial de los materiales inspeccionados.

END de Hermeticidad: Entregan información relativa del grado en que pueden ser contenidos los fluidos en recipiente sin que escapen a la atmosfera.

END Volumétricos: Entregan información de la integridad interna de los materiales inspeccionados.

Tabla N°1.1 Muestra la clasificación de END y sus respectivos métodos de inspección.

Clasificación de END	END Superficiales	END de Hermeticidad	END Volumétricas
Métodos de END	VT-Inspección visual. PT-Líquidos penetrantes. PM-Partículas magnéticas. ET-Electromagnetismo.	LT-Pruebas de fuga. Pruebas de burbuja. Pruebas de presión.	RT-Radiografía industrial. UT-ultrasonido industrial. AE-Emisión acústica.

Tabla N°1.2 Muestra ventajas y desventajas de diferentes métodos de inspección de ensayos no destructivos de materiales.

Métodos END	Ventajas	Desventajas
VT	<ul style="list-style-type: none"> -Bajo costo. -Equipos simples. -Mínimas competencias de inspector. 	<ul style="list-style-type: none"> -Condiciones superficiales. -Requiere de fuente luminosa. -Accesibilidad compleja.
PT	<ul style="list-style-type: none"> -Sensibles a discontinuidades abiertas. -Fácil de operar. -Económico. 	<ul style="list-style-type: none"> -Inspectores con experiencia. -superficie limpia. -No apto para superficies porosas.
PM	<ul style="list-style-type: none"> -Rápido y económico. -Menor grado de limpieza. -Revela discontinuidades en la superficie. 	<ul style="list-style-type: none"> -Equipo caro. -Requiere de energía eléctrica. -No tiene gran capacidad de penetración.
ET	<ul style="list-style-type: none"> -Evaluación instantánea. -Evaluaciones detalladas. -No utiliza el contacto para realizar el ensayo. 	<ul style="list-style-type: none"> -Requiere superficie accesible. -Límite de 6mm de profundidad de grietas. -Aplicable solo a materiales conductores de electricidad.
RT	<ul style="list-style-type: none"> -Para diversos materiales. -Descubre errores de fábrica. -Se obtiene una imagen visual interior del material. 	<ul style="list-style-type: none"> -Personal capacitado y experiencia. -Altas medidas de seguridad. -No se aplica en geometrías complejas.
UT	<ul style="list-style-type: none"> -Detección sub-superficial. -Resultados inmediatos. -Alta capacidad de penetración. 	<ul style="list-style-type: none"> -Costo elevado de equipo. -Personal calificado y experiencia. -No apto para superficies delgadas.
AE	<ul style="list-style-type: none"> -No invasiva. -Detección temprana de fisuras. -No se requiere limpieza. 	<ul style="list-style-type: none"> -Personal de alto nivel de entrenamiento. -Es afectada por el ruido de fondo. -El tanque debe ser aislado 24 horas antes de la inspección.
LT	<ul style="list-style-type: none"> -Sencillo, rápido y económico. -Evaluación independiente del operador. -N° reducido de herramientas. 	<ul style="list-style-type: none"> -Modificaciones térmicas y elásticas afectan el resultado de la medición. -Resolución de la diferencia de presión utilizable está en función de volumen y presión.

1.3 Ultrasonido-END

El método de inspección por ultrasonido tiene su génesis a comienzos de 1930 en Alemania, donde Mulhauser, Trost y Pohlman llegaron a la conclusión de que el ultrasonido se puede utilizar para la realización de ensayos no destructivos; en un principio se basaron en la interceptación de la energía ultrasónica por discontinuidades durante el paso de un haz ultrasónico. Inherente al desarrollo de la técnica y la ciencia, estos equipos ultrasónicos evolucionaron para responder a los nuevos desafíos de la industria, en específico al control de calidad de materiales, como inspección para detectar discontinuidades en forjas internas para rotores de motores en la industria aeronáutica y medición de espesores.

Es así como teóricos de la universidad de Míchigan junto a entes privados investigaron los mecanismos de transductores, el uso de ondas transversales, la aplicación de las ondas superficiales o de Rayleigh, el dispositivo de Raybender para la inspección con haz angular con variación de ángulo y otros más; con el objeto de buscar nuevas funcionalidades y potenciar las existentes.

Hoy en día el método de inspección por ultrasonido se ha masificado y es una técnica utilizada a gran escala en la industria debido a factores que en primer instancia explican el grado ascensional de éste; entre los factores que inciden tenemos:

- Alta velocidad en la aplicación de sistemas automatizados de inspección.
- Instrumento mejorado para obtener gran resolución en la detección de fallas.
- Una mejor presentación de datos.
- Interpretación simple de resultados.
- Estudio avanzado de los cambios finos de las condiciones metalúrgicas.
- Análisis de los fenómenos acústicos involucrados.

1.4 Inspección por Ultrasonido

La inspección mediante la técnica de ultrasonido tiene su fundamento en la siguiente premisa: El ultrasonido se transmite y se propaga dentro de una pieza hasta que es reflejado; el ultrasonido reflejado regresa a un receptor proporcionándole información acerca de su recorrido; la información proporcionada se basa en la cantidad de energía reflejada del ultrasonido y en la distancia recorrida por el ultrasonido.

1.4.1 Componentes Básicos de una Inspección

Para una inspección por ultrasonido donde se requiere determinar espesores o discontinuidades es necesario el uso de un sistema de inspección ultrasónica (ver Figura N° 1.1) que consiste de los componentes básicos siguientes:

- Un generador de la señal eléctrica, un instrumento ultrasónico.
- Un conductor de la señal eléctrica, un cable coaxial.
- El accesorio que convierte la señal eléctrica en mecánica y/o viceversa, un transductor ultrasónico.
- Un medio para transferir la energía acústica a la pieza y viceversa, el acoplante acústico.
- La pieza inspeccionada.



Figura N° 1.1 Sistema de inspección ultrasónica.

1.4.2 Aplicaciones, ventajas y desventajas del ultrasonido

El hecho de que la inspección ultrasónica se base en un fenómeno mecánico, permite adaptarse para determinar la estructura de los materiales de ingeniería de manera íntegra; se utiliza en el control de calidad e inspección de materiales en diferentes áreas de la industria como se vislumbra en las figuras N° 1.2 y 1.3. Entre sus aplicaciones más importantes tenemos:

- Detección y caracterización de discontinuidades.
- Medición de espesores, extensión y grado de corrosión.
- Determinación de características físicas, tales como: estructura metalúrgica, tamaño del grano y constantes elásticas.
- Definir características de enlace (uniones).
- Evaluación de la influencia de variables de proceso en el material.

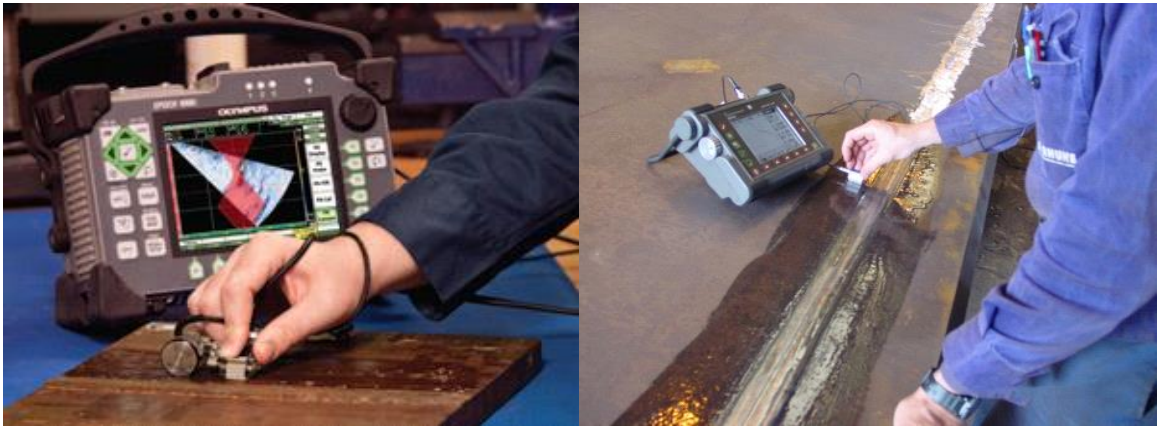


Figura N° 1.2 y Figura N° 1.3. Aplicaciones del ultrasonido.

a. Ventajas

Las ventajas de la inspección por ultrasonido son:

- Un gran poder de penetración, lo que permite la medición de grandes espesores.
- Gran sensibilidad, lo que facilita la inspección de discontinuidades extremadamente pequeñas.
- Se necesita una sola superficie de acceso.
- La interpretación de los resultados es inmediata.
- No existe peligro en la utilización del equipo.
- Los equipos son portátiles.
- Los equipos actuales proporcionan la posibilidad de almacenar información en memoria, la cual puede ser procesada digitalmente por una computadora para caracterizar la información almacenada.

b. Desventajas

Las limitaciones de la inspección por ultrasonido residen en los siguientes puntos:

- Se requiere de técnicos experimentados para la interpretación de los resultados
- La inspección se torna difícil en superficies rugosas e irregulares; en piezas pequeñas y muy delgadas.
- Discontinuidades sub-superficiales no pueden ser detectadas.
- Se necesita material acoplante.
- Es menester patrones de referencia, para la calibración de los equipos y caracterización de discontinuidades.

CAPITULO 2: EQUIPO DE ULTRASONIDO, REVISIÓN Y APLICACIÓN DEL EPOCH 1000i

Introducción

Este capítulo pone de relieve las características, funciones y aplicaciones del Epoch 1000i orientadas al estudio de fallas en soldaduras, dentro de las cuales se observara la estructura del software y el cómo llegar a los parámetros y funciones necesitadas. También se caracteriza al equipo físicamente explicando sus componentes y el para qué sirven.

2.1 Características Físicas del Epoch 1000i

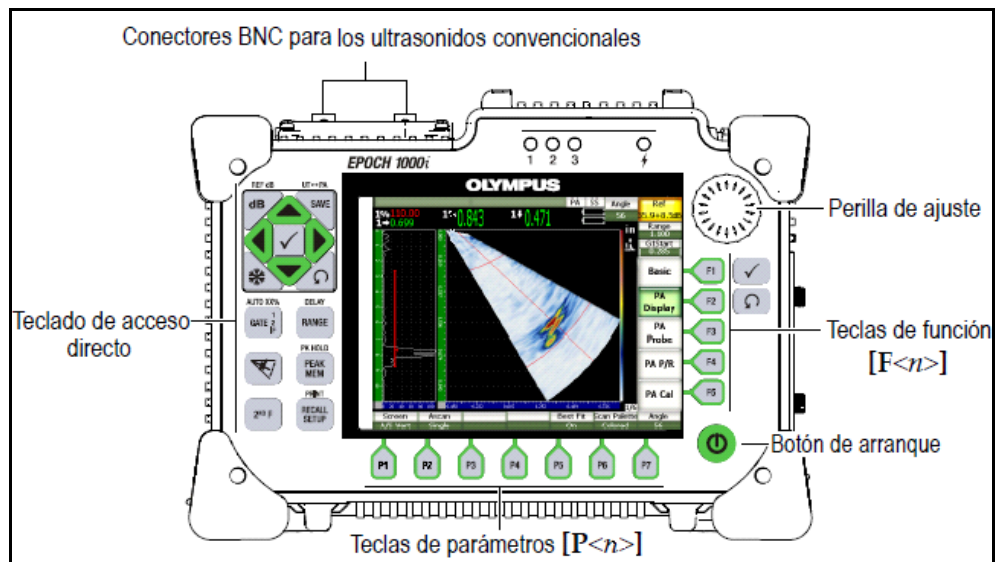














Figura N° 2.1 Vista frontal del equipo Epoch 1000i.

Como se logra observar en la figura N° 2.1 el equipo cuenta a simple vistas con diferentes teclas llamadas teclas rápidas. La clasificación y su funcionalidad serán explicadas en la tabla N° 2.1.

Tabla Nº 2.1 Teclas de acceso directo de equipo Epoch 1000i.

Símbolo	Función
	[TECLAS DE DIRECCION], selecciona diferentes funciones.
	Tecla [ACEPTAR]
	Tecla [ESCAPE]
	[dB] Ajusta la sensibilidad del sistema.
	[dB] (REF dB) Bloquea el nivel de ganancia de referencia y permite utilizar la ganancia de inspección.
	[SAVE] Guarda el archivo e identificador seleccionados.
	[2 nd F], [SAVE] (UT-PA) Permite pasar de modo ultrasonidos convencional (UT) a representación <i>phased array</i> (PA).
	[FREEZE] Congela el A-scan en la pantalla hasta que la tecla [FREEZE] es pulsada nuevamente
	[GATE] Selecciona una puerta (1,2 o IF) en la pantalla.
	[2 nd F], [GATE] (AUTO XX%) Ajusta automáticamente la señal en la puerta al XX% de la altura de la pantalla completa.
	[RANGE] Ajusta el valor del rango según los ajustes del ultrasonido.
	[2 nd F], [RANGE] (DELAY) Muestra el valor del retardo que no afecta el desplazamiento del cero calibrado.
	[ANGLE] Ajusta la ley focal (modo <i>phased array</i>) o el ángulo en uso (modo ultrasonido convencional).
	[PEAK MEM] Activa la memoria de picos.
	[2 nd F], [PEAK MEM] (PK HOLD) Activa la función del mantenimiento de picos.
	[2 nd F] Da acceso a la función secundaria identificada encima de la tecla. Pulse y suelte la tecla y seleccione otra tecla de función.
	[RECALL SETUP] Permite una consulta rápida del archivo de calibración.
	[2 nd F], [RECALL SETUP] (PRINT) Imprime informes si una impresora es compatible está conectada al puerto USB.

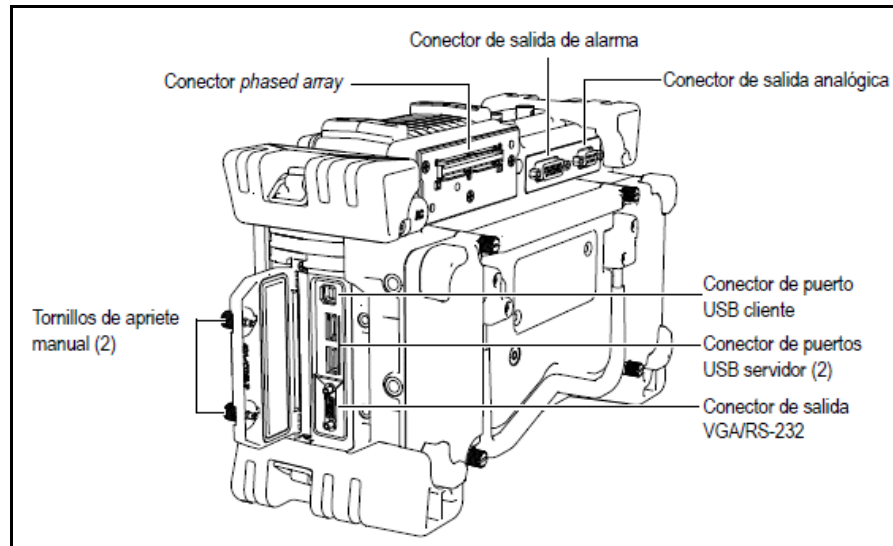


Figura N° 2.2 Perspectiva Bimétrica del equipo Epoch 1000i.

2.2 Características del Software del Epoch 1000i

En esta etapa se explicaran cómo funciona la pantalla del equipo, sus funciones, como llegar a ellas, los submenús, los parámetros y en general dar una vista más representativa de los diferentes procesos que puede llevar a cabo, las formas de medir, además de las calibraciones de este.

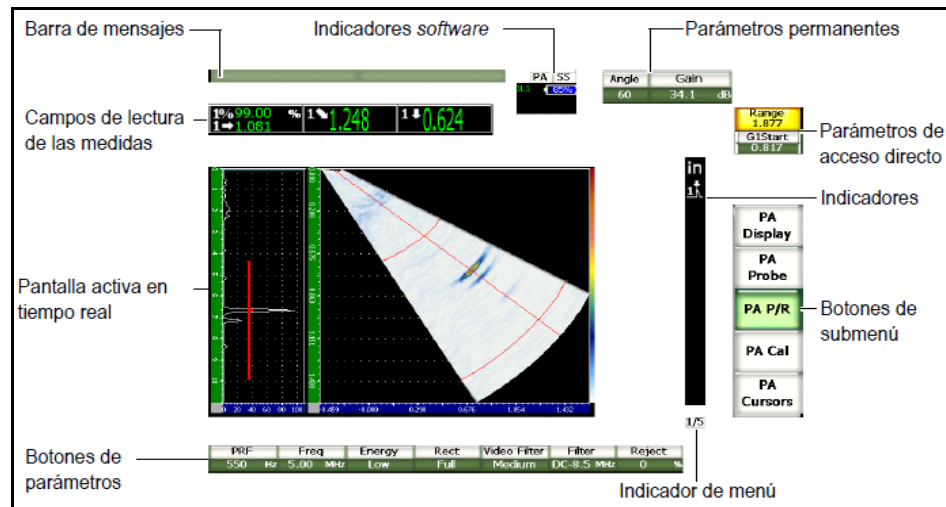


Figura N° 2.3 Composición de la pantalla del equipo.

2.2.1 Funciones e indicadores en pantalla

- Barra de mensajes: Muestra el nombre del archivo y el identificador (ID) seleccionado.
- Indicadores de software: Describe los indicadores disponibles.

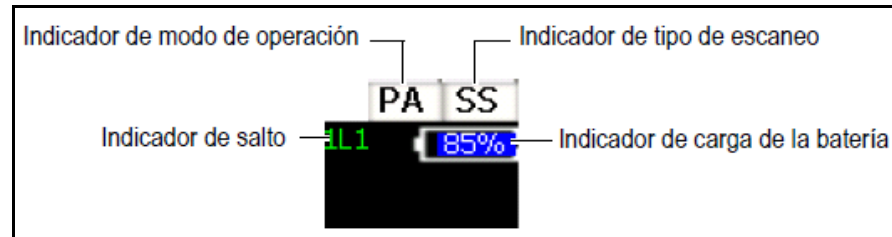


Figura Nº 2.4 Indicadores de software en modo phased array (PA), tipo de escaneo S-scan (SS).

- **Parámetros permanentes:** Son los parámetros de ángulo y ganancia los cuales son uno de los más utilizados, estos parámetros se pueden regular mediante las [TECLAS DE DIRECCION], incluidas las teclas de [ACEPTAR] y [ESCAPE], además de las teclas de acceso directo [ANGULE] y [GAIN].
- **Campo de lecturas de las medidas:** Muestran seis medidas de diferentes tipos dependiendo de qué tipo de información se requiera.
- **Parámetros de acceso directo:** Por defecto siempre aparecen los botones de rango (Range) y retardo (Delay) pero al presionar [GATE] muestra el parámetro (G1Start) en lugar de (Range). (G1Start) significa que los parámetros de Gate 1 están seleccionados para la modificación que se requiera.
- **Indicadores:** Sirve para señalar en pantalla las funciones que están activadas, además de indicar el sistema de medición.

2.2.2 Modos, Menú, Submenú y parámetros

Hay dos tipos de modos; Ultrasonido Convencional (UT) y Phased Array (PA). En cada modo existen cinco menús (estos se manejan con la perilla que aparecen en la figura N° 2.1 representado por la notación **1/5**), y estos cinco a su vez poseen diferentes submenús en los cuales se modifican los diferentes parámetros dependiendo de la necesidad de uso y los tipos de transductores que se necesiten. A continuación se explicaran mediante tabla el orden de estos y cómo interactúan entre sí.

a. Tablas, modo Ultrasonido Convencional (UT).

Tabla N° 2.2 Contenido del menú 1/5 del modo UT.

Submenú [F<n>]		Parametros [P<n>]						
		[P1]	[P2]	[P3]	[P4]	[P5]	[P6]	[P7]
Base	[F1]	Velocidad	Cero	Rango	Retardo			
Emisor	[F2]	Modo PRF.	PRF	Energia	Amort.	Modo	Emisor	Frec.
Receptor	[F3]	Grupo filtro	Filtro	Rectif.				Supres.
Disparo	[F4]	Ángulo	Esp.	Valor X	CSC	Diametro		
Auto Cal.	[F5]	Modo CAL	CAL. Vel.	CAL. Cero	Velocidad	Cero		

Tabla N° 2.3 Contenido del menú 2/5 del modo UT.

Submenú [F<n>]		Parametros [P<n>]						
		[P1]	[P2]	[P3]	[P4]	[P5]	[P6]	[P7]
Puerta 1	[F1]	Zoom	Inicio	Ancho	Nivel	Alarma	Prof. mínima	Estado
Puerta 2	[F2]	Zoom	Inicio	Ancho	Nivel	Alarma	Prof. mínima	Estado
Puerta IF	[F3]	Zoom	Inicio	Ancho	Nivel	Alarma	Alarma	Estado
Ajuste Puerta	[F4]	Configurar	Seguim. P1	Seguim. P2	IF Run			
Cursor de ref.	[F5]	Cursor A	Cursor A	Cursor B	Cursor B			

Tabla N° 2.4 Contenido del menú 3/5 del modo UT.

Submenú [F<n>]		Parametros [P<n>]						
		[P1]	[P2]	[P3]	[P4]	[P5]	[P6]	[P7]
Ver el ajuste	[F1]	Ajuste Color	Ajuste A-scan	VGA				
Ajuste medición	[F2]	Lecturas	Unidad	Res. Espesor	% Res	Disparo	Sal. analógica	
Config. Equipo	[F3]	General	Reseña	Estado	Auto Cal	Comm. Setup	Editable Parameters	
Clear Wave	[F4]	Modo A-scan	Linea de base	Promedio	Sure View	Persistence	Contraste	Waveforms

Tabla N° 2.5 Contenido del menú 4/5 del modo UT.

Submenú [F<n>]		Parametros [P<n>]						
		[P1]	[P2]	[P3]	[P4]	[P5]	[P6]	[P7]
Curva medición	[F1]	DAG/TVG	DGS	AWSD1.5				
B-scan	[F2]							
Misc Option	[F3]	BEA						

Tabla N° 2.6 Contenido del menú 5/5 del modo UT.

Submenú [F<n>]		Parametros [P<n>]						
		[P1]	[P2]	[P3]	[P4]	[P5]	[P6]	[P7]
Archivos	[F1]	Abrir	Crear	Reset & Manage	Export/Import	Memo	Ultimo ID	ID:
Reports	[F2]	Image	HTML	Report Setup	Pg. Config.	Media		

b. Tablas, modo Phased Array (PA).

A diferencia del modo UT el PA tiene otros parámetros que son importantes mencionar, en especial en este seminario como por ejemplo los parámetros haz, máscaras, Cursores X, Cursores Y, CL Cursor, etc. Los cuáles serán cruciales más adelante.

Tabla N° 2.7 Contenido del menú 1/5 del modo PA.

Submenú [F<n>]		Parametros [P<n>]						
		[P1]	[P2]	[P3]	[P4]	[P5]	[P6]	[P7]
Imagen PA	[F1]	Imagen	A-scan			Ajuste Opt.	Paleta scan	ángulo
Palpador PA	[F2]	Haz	Modificar	Avanzado				Elem. Chk
E/R PA	[F3]	PRF	Frec.	Energía	Rectif.	Filtro video	Filtro	Supres.
Cal PA	[F4]	Profundidad 1	Profundidad 2	Modo Cal.	Velocidad			Calibración
Cursores PA	[F5]	Cursors	Cursor X1	Cursor X2	Cursor Y1	Cursor Y2	CL Cursor	

Tabla N° 2.8 Contenido del menú 2/5 del modo PA.

Submenú [F<n>]		Parametros [P<n>]						
		[P1]	[P2]	[P3]	[P4]	[P5]	[P6]	[P7]
Puerta 1	[F1]	Zoom	Inicio	Ancho	Nivel	Alarma	Prof. mínima	Estado
Puerta 2	[F2]	Zoom	Inicio	Ancho	Nivel	Alarma	Prof. mínima	Estado
Ajuste Puerta	[F3]	Configurar	Seguim. P1	Seguim. P2				
Cursor de ref.	[F4]	Cursor A	Cursor A	Cursor B	Cursor B			

Tabla N° 2.9 Contenido del menú 3/5 del modo PA.

Submenú [F<n>]		Parametros [P<n>]						
		[P1]	[P2]	[P3]	[P4]	[P5]	[P6]	[P7]
Ver el ajuste	[F1]	Ajuste Color	Ajuste A-scan	VGA	Mascaras	Contraste		
Ajustes medición	[F2]	Lecturas	Unidad	Res. Espesor	% Res	Sal. analógica		
Config. equipo	[F3]	General	Reseña	Estado	Auto Cal	Comm. Setup	Editable Parameters	

Tabla N° 2.10 Contenido del menú 4/5 del modo PA.

Submenú [F<n>]		Parametros [P<n>]						
		[P1]	[P2]	[P3]	[P4]	[P5]	[P6]	[P7]
Curva medición	[F1]	Calibration						
C-scan	[F2]							
Encoder	[F3]							

Tabla N° 2.11 Contenido del menú 5/5 del modo PA.

Submenú [F<n>]		Parametros [P<n>]						
		[P1]	[P2]	[P3]	[P4]	[P5]	[P6]	[P7]
Archivos	[F1]	Abrir	Crear	Reset & Manage	Export/Import	Memo	Ultimo ID	ID:
Reports	[F2]	Image	HTML	Report Setup	Pg. Config.	Media		

2.2.3 Convención de escritura para las funciones y los parámetros del menú

Para acotar el espacio en la entrega de información se hace necesario acatar la convención de escritura del manual del equipo, a la cual se le harán ligeros cambios para mejora la comprensión de esta.

MENÚ> SUBMENÚ> PARÁMETRO = VALOR

Por ejemplo; 1/5>[F1] Base>[P5] Velocidad = 3240 m/s

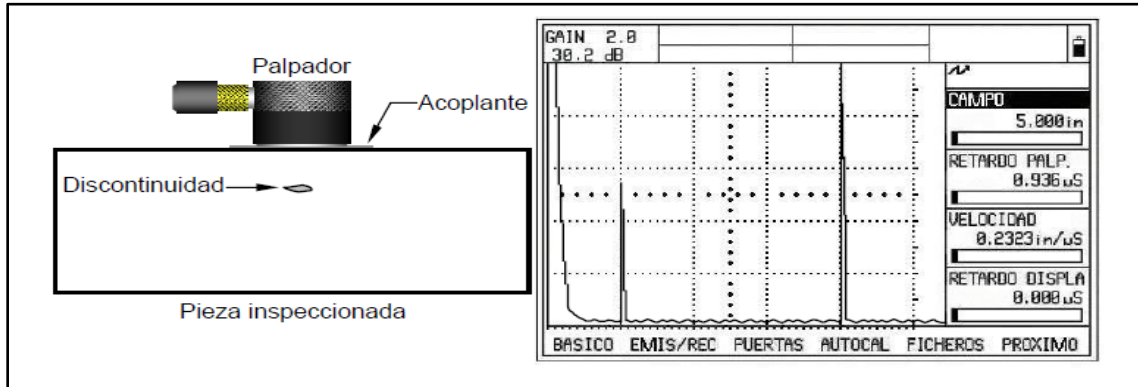
Será resaltado ennegreciendo el menú y apoyándose en los botones necesarios para llegar al parámetro o submenú (también llamado Función).

2.2.4 Métodos de representación de datos

Existen varios métodos de presentación de datos utilizados en la inspección ultrasónica que corresponden a: Barrido Tipo A, Tipo B, Tipo C, Tipo 3D y, recientemente, Tipo S.

- a. Barrido tipo A: La presentación en “Barrido A” (A-Scan) es el tipo de presentación más utilizada en el campo de los END. La presentación de Barrido “A”, proporciona información acerca del espesor del material sujeto a

inspección, o la profundidad a la que se encuentra una discontinuidad, y el tamaño relativo de la misma.



La Figura 2.5 muestra el Tipo de barrido A-Scan.

- b. Barrido Tipo “B”:** El método de presentación de “Barrido B” proporciona una vista de la sección transversal de la pieza sujeta a inspección y de las discontinuidades detectadas, mediante el análisis de la imagen retenida en la pantalla o graficada en el barrido en un solo sentido, ver figura N°2.6. La presentación de Barrido “B” es usada principalmente para obtener el perfil de la sección transversal, con el fin de efectuar el monitoreo de corrosión en tuberías, intercambiadores de calor y calderas. Generalmente es más adecuado combinarlo con el método de inmersión.

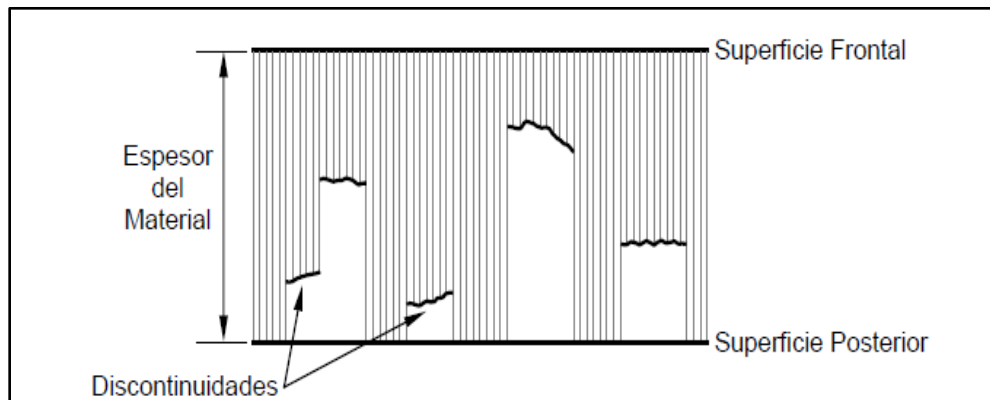


Figura N° 2.6 Ilustra barrido tipo B.

- c. Barrido Tipo “C”:** El método de presentación de “Barrido C” proporciona una vista de planta (como un mapa) de la pieza inspeccionada y de las discontinuidades que sean detectadas, por medio del acoplamiento de la salida de una presentación de barrido “A” hacia un registrador XY o un sistema computarizado de adquisición de datos, ver figura N°2.7. Las discontinuidades son indicadas en el registrador o en la pantalla de la computadora en la posición X, Y del barrido, el cual debe estar sincronizado con el registrador o el sistema de adquisición de datos computarizado. La inspección con presentación de barrido “C” es efectuada principalmente en conjunto con el método de inmersión y es poco usada en campo.

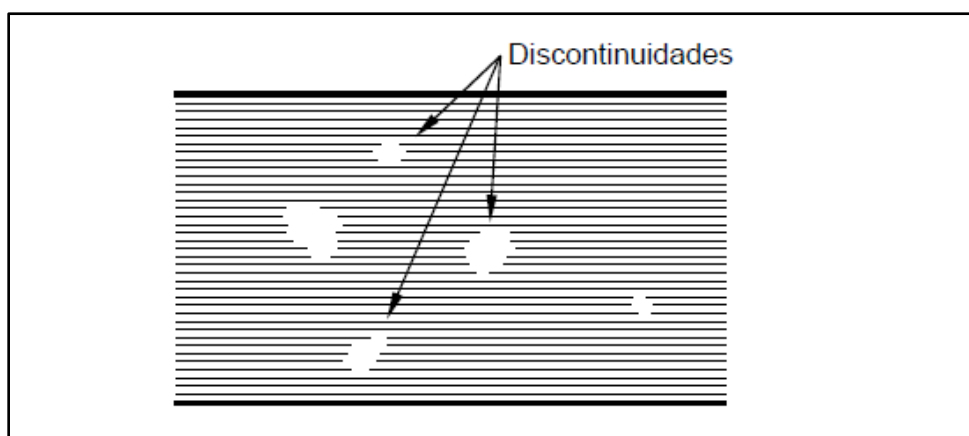


Figura N° 2.7 Tipo de barrido C.

- d. Barrido Tipo “3D”:** Este tipo de presentación de pantalla es una combinación de la presentación de barrido “A”, “B” y “C” en tercera dimensión; es efectuada en un sistema computarizado de manejo de información a través de la adquisición de datos empleando la presentación de pantalla Tipo “A”.
- e. Barrido Tipo “S”:** La presentación de pantalla en “Barrido S” (sectorial) es una vista de 2 dimensiones, que enlaza las características de un palpador de arreglo de fase (recorrido del ultrasonido, ángulo refractado, índice y la distancia proyectada al reflector) con la profundidad de la pieza inspeccionada. Uno de los ejes es la distancia proyectada (generalmente el

índice para palpadores de incidencia normal) y el otro es el recorrido del ultrasonido (generalmente la profundidad). El número total de barridos “A”, generados por leyes focales, son representados en un sector angular, con un ángulo inicial, un ángulo final, y una resolución angular. La vista de dos dimensiones representa el rango de barrido, un sector circular, figura N° 2.8.

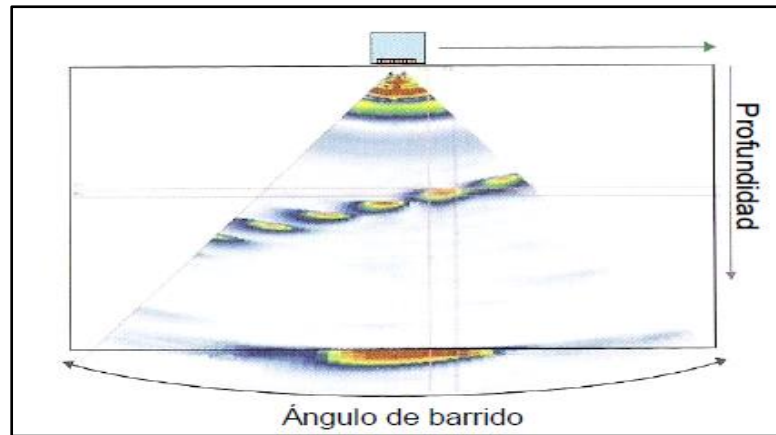


Figura N°2.8 Barrido Sectorial S-scan.

2.3 Herramientas de software para modo UT convencional

Cabe recalcar que los equipos de la serie EPOCH 1000 en modo ultrasonidos convencionales, tienen la particularidad de incluir herramientas software que permiten explotar el potencial de éste; extrapolando el campo de inspección más allá de la detección de defectos triviales.

A continuación se esbozan las siguientes herramientas software estándares en los detectores de defectos por ultrasonidos convencionales de la serie EPOCH 1000.

- Curvas DAC/TVG dinámicas.
- Curvas DGS/AVG.
- Herramientas software para inspecciones conforme a la norma AWS D1.1/D1.5.

2.3.1 Curvas DAC/TVG dinámicas

Las curvas de la corrección de la amplitud en función de la distancia (DAC) sirven para trazar las variaciones de la amplitud de reflectores que se ubican a distintas distancias del palpador. Lo peculiar de esto radica en que cada reflector produce un eco característico que se utiliza para trazar una curva DAC. Esta curva permite una compensación gráfica de la atenuación del material, de los efectos del campo cercano, de la dispersión del haz ultra sonoro y de la rugosidad de la superficie.

Cuando una curva DAC es creada por el equipo, éste también crea de manera conjunta una configuración TVG (variación de la ganancia en función del tiempo).

La herramienta Software DAC/TVG flexible de los equipos de la serie EPOCH 1000 permite personalizar las configuraciones DAC y TVG en función de las necesidades específicas de una aplicación; esta herramienta cuenta con varios modos que responden a las normas ASME, ASME III y JIS. La figura N°2.9 ulterior ilustra la curva DAC de referencia respecto a la norma ASME.

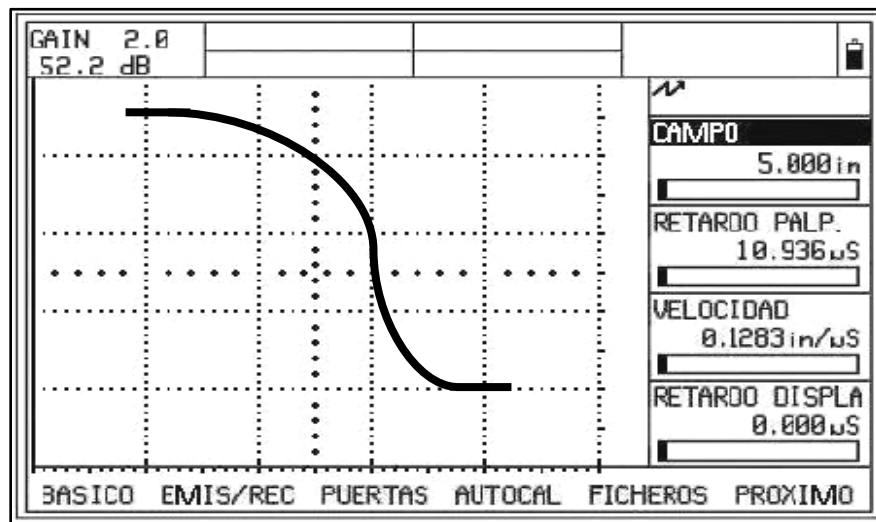


Figura N°2.9 Curva DAC.

2.3.2 Curvas DGS/AVG

La herramienta software DGS/AVG permite medir los defectos en base a una curva DGS/AVG calculada para un palpador, material y reflector de datos. Para configurarla sólo es necesario un reflector de referencia solamente, a diferencia de la curva DAC/TVG que requiere la presencia de defectos representativos ubicados a diferentes profundidades en la pieza bajo ensayo.

2.3.3 Herramienta software para inspecciones conformes a la norma AWS D1.1/D1.5

Esta herramienta ha sido concebida para las inspecciones sustentadas en la norma de soldadura estructural de acero D1.1 (o D1.5) de la American Welding Society. Esta norma permite clasificar las discontinuidades encontradas en la soldadura. Esta utiliza la siguiente ecuación para desarrollar los criterios de aceptación de los reflectores detectados durante la inspección.

$$D = A - B - C \quad (2.1)$$

Dónde:

A= Nivel de indicación de discontinuidad (dB).

B= Nivel de la indicación de referencia (dB).

C= Factor de atenuación: 2^* (trayectoria acústica en pulgadas-pulgada) (dB).

D= Clasificación de la discontinuidad (dB).

En inspecciones conformes a la norma AWS D1.1, se debe indicar la clasificación de la indicación (D); calculada en función de A, B y C, en la tabla de criterios de aceptación y rechazo para inspecciones por ultrasonido, para averiguar la severidad de la discontinuidad encontrada.

2.4 Conclusión

La versatilidad de aplicaciones que tiene el EPOCH 1000i lo clasifican dentro las herramientas que caminan a la vanguardia en inspecciones por ultrasonido, debido a la exactitud y confiabilidad con que entrega los datos, lo que permite responder y adecuarse a las distintas normativas y exigencias de la industria como la norma AWS y ASME. Para trabajar bajo estos parámetros se deben introducir códigos que activan herramientas adicionales que fortalecen la inspección y posterior análisis.

CAPITULO 3: Teoría del ultrasonido

Introducción

Con el fin de concebir adecuadamente la técnica de ultrasonido (UT), resulta necesario contar con un bagaje de conocimientos básicos acerca de los principios físicos involucrados en esta técnica de ensayo no destructivo, la que está basada en la emisión y recepción de ondas de ultrasonido.

Por principio, el ultrasonido puede propagarse a través de todos los medios donde existe materia capaz de vibrar, por lo que se propaga a través de sólidos, líquidos y gases. Por el contrario, no puede propagarse en el vacío, por no existir materia que lo sustente. El movimiento que presente es extremadamente pequeño, al desplazamiento máximo de un átomo desde su posición original se conoce como amplitud. La prueba por ultrasonido emplea esfuerzos de baja amplitud los cuales no afectan permanentemente a los materiales.

En las páginas siguientes se abordará una combinación de conceptos que en su conjunto constituyen un basamento teórico de carácter imprescindible para un análisis de éste tipo.

3.1 Variables Ultrasónicas

- Relación entre Velocidad, Longitud de Onda y Frecuencia.

La transmisión del ultrasonido se caracteriza por vibraciones periódicas representadas por un *“movimiento ondulatorio”*. La figura N°3.1 muestra un ciclo de vibración. La longitud de onda es la distancia de viaje de un ciclo, es decir, la distancia de un punto en un ciclo al mismo punto en el siguiente ciclo. La frecuencia es el número de ciclos completos que pasan en un punto en la unidad de tiempo, normalmente un segundo. Además, la distancia total de viaje por la unidad de tiempo, o rapidez de desplazamiento de la vibración de las

partículas, o simplemente la velocidad acústica, es igual al producto de la longitud de onda por la frecuencia. Lo anterior se expresa matemáticamente en la ecuación (3.1):

$$V = \lambda \times f \quad (3.1)$$

Dónde:

V = Velocidad acústica (pulgadas / segundo o milímetros / segundo).

λ = Longitud de onda (pulgadas o milímetros).

f = Frecuencia (ciclos / segundo o Hertz).

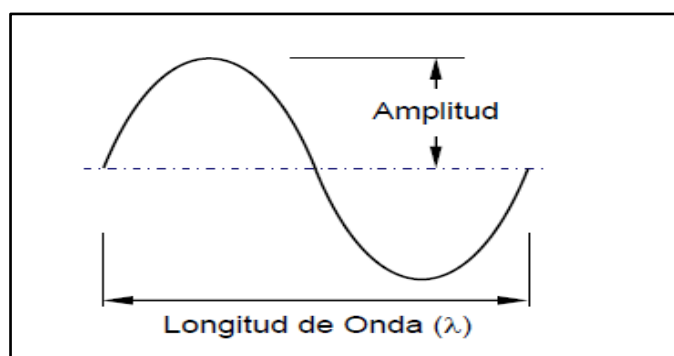


Figura N°3.1 ilustra ciclo de vibración.

3.2 Formas de vibración ultrasónica (modos de onda)

La energía ultrasónica se propaga por medio de vibraciones de las partículas del material. La energía es transmitida de átomo a átomo por pequeños desplazamientos. La dirección en la que vibran las partículas (átomos), con respecto a la dirección de la propagación del haz ultrasónico, depende de la forma de vibración. Los modos de vibración o de onda son:

- a. Ondas longitudinales o de compresión.
- b. Ondas de corte o transversales.
- c. Ondas superficiales o de Rayleigh.
- d. Ondas de Lamb o de Placa.

Los modos de onda más frecuentemente utilizados en la inspección por ultrasonido son las ondas longitudinales y las ondas de corte.

a. Ondas Longitudinales.

La forma de “onda longitudinal” o de compresión está caracterizada por el movimiento de las partículas paralelo a la dirección de propagación del haz ultrasónico, como se ilustra en la figura N°3.2. Esta forma de onda se propaga a través de sólidos, líquidos y gases.

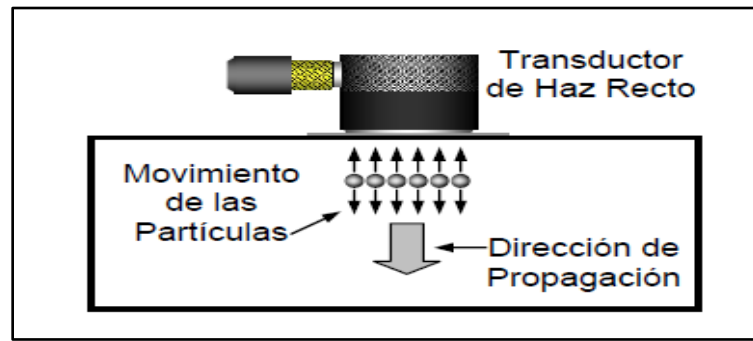


Figura N°3.2 Muestra el movimiento característico de una onda longitudinal.

b. Ondas de corte.

La “onda de corte” o transversal está caracterizada por el movimiento perpendicular de las partículas con respecto a la dirección de propagación del haz ultrasónico, como se observa en la figura N°3.3.

Las ondas de corte viajan, aproximadamente, a la mitad de la velocidad a la que viajan las ondas longitudinales. Se introducen en la pieza inspeccionada mediante el empleo de palpadores de haz angular, en el método por contacto, o inclinando la dirección del haz con respecto a la interface, cuando se emplea el método de inmersión.

Los palpadores de haz angular consisten de un elemento transductor montado sobre una zapata de plástico, de tal manera que las ondas ultrasónicas entren a la

pieza inspeccionada con un ángulo diferente de 90° , con respecto a la superficie del material sujeto a inspección. Sólo se transmiten en sólidos.

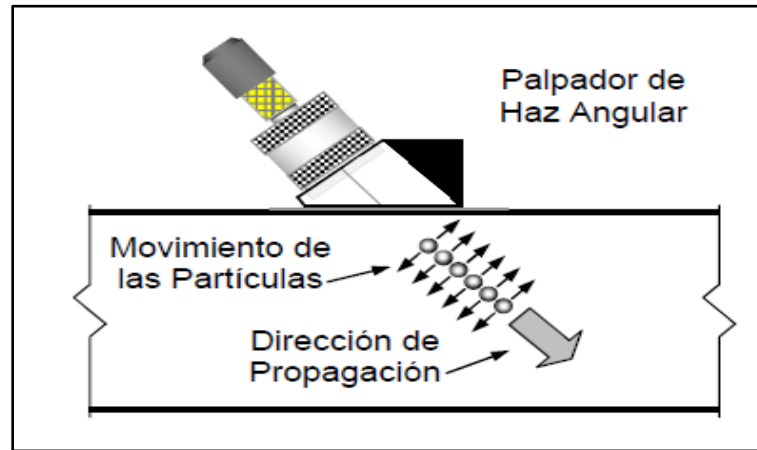


Figura N°3.3. Movimiento de ondas transversales.

c. Ondas Superficiales.

Las “ondas superficiales” o de Rayleigh son un tipo especial de ondas de corte en las cuales el movimiento de las partículas está confinado a una profundidad pequeña dentro del material.

Las ondas superficiales son capaces de viajar a través de extremos curvos, pero pueden ocurrir reflexiones en extremos agudos, como por ejemplo una esquina; además, pueden ser reflejadas en zonas donde se encuentre grasa, aceite o líquidos sobre la superficie. Su energía decae rápidamente debajo de la superficie de prueba por lo que se consideran como más adecuadas para detectar discontinuidades superficiales tales como grietas y pueden llegar a detectar discontinuidades sub-superficiales localizadas hasta una profundidad de aproximadamente una longitud de onda.

Las ondas superficiales sólo se transmiten en sólidos. El movimiento de las partículas es elíptico. La velocidad de propagación es aproximadamente el 90% de la velocidad de las ondas de corte en el mismo medio.

d. Ondas Lamb.

La propagación de las “ondas de Lamb” o de Placa ocurre cuando el ultrasonido viaja a lo largo de una pieza de prueba con espesor menor a una longitud de onda. Existen dos clases generales de ondas de Lamb: simétricas y asimétricas. Existe una posibilidad infinita de formas de cada clase de vibración en una pieza. La teoría indica que su velocidad depende de la forma de vibración y puede exhibir velocidades diferentes.

3.3 Incidencia angular.

Un haz sonoro tiene la facultad de ser proyectado, tanto transversalmente como oblicuamente, hacia la interface o límite entre las dos materiales. Cuando el haz es transversal a la superficie límite se produce la transmisión y reflexión, que se conoce como incidencia de haz normal, como se ilustra en la Figura N°3.4.

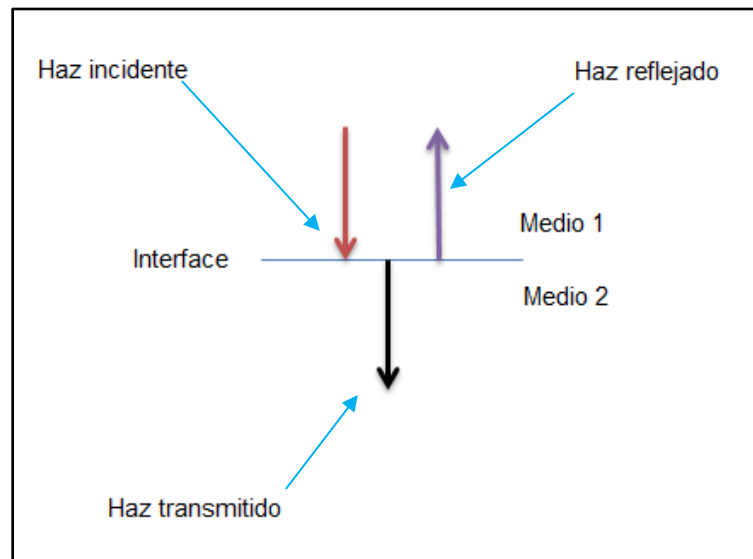


Figura N°3.4. Diagrama ilustrativo de la transmisión y reflexión de un haz ultrasónico con incidencia normal.

Sin embargo, cuando la incidencia es oblicua (el ángulo de incidencia se encuentra entre cero y 90°), ocurren los fenómenos de reflexión y refracción, los que se encuentran definidos por la ley de Snell.

- Reflexiones ultrasónicas.

El haz ultrasónico tiene propiedades similares a las de la luz, por ejemplo cuando el haz ultrasónico golpea un objeto que interrumpe su paso, la superficie del objeto interruptor produce la “reflexión” o reflejo de la energía del haz. El ángulo de reflexión es igual al de incidencia. Si el ángulo de incidencia es “normal” con respecto a la superficie del objeto interruptor, el ángulo de reflexión es también normal. Si la incidencia es “angular” u “oblicua”, el ángulo de incidencia, con respecto a la línea normal imaginaria a la superficie del objeto interruptor, es igual al ángulo de reflexión, como se observa en la figura N°3.5.

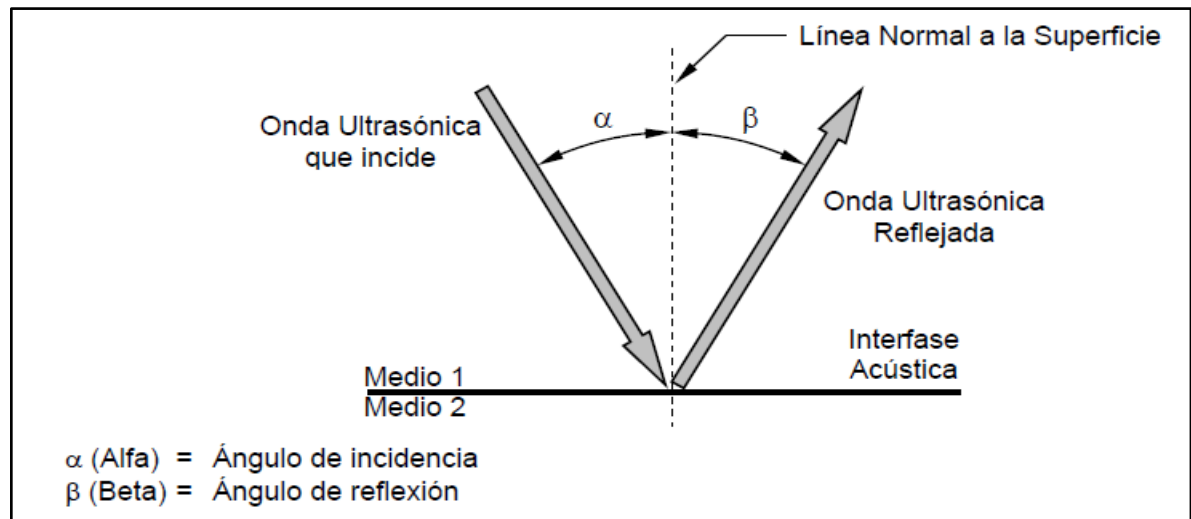


Figura N°3.5 Ilustra principio de reflexión en ondas ultrasónicas.

La ley de Willebrord Snell of Layden, también conocida como Ley de la Óptica. Se cumple en lo que respecta a la transmisión del sonido. La ley de Snell establece que:

El seno del ángulo de incidencia es igual al seno del ángulo de reflexión, o sea: **$\alpha = \beta$. Dónde: α = ángulo de incidencia y β = ángulo de reflexión.**

- Refracción

Cuando un haz ultrasónico pasa de un medio a otro con diferente velocidad y además con un ángulo de incidencia que no sea normal con respecto a la interface que separa los dos medios, ocurre el fenómeno conocido como “refracción”, ver la figura N°3.6.

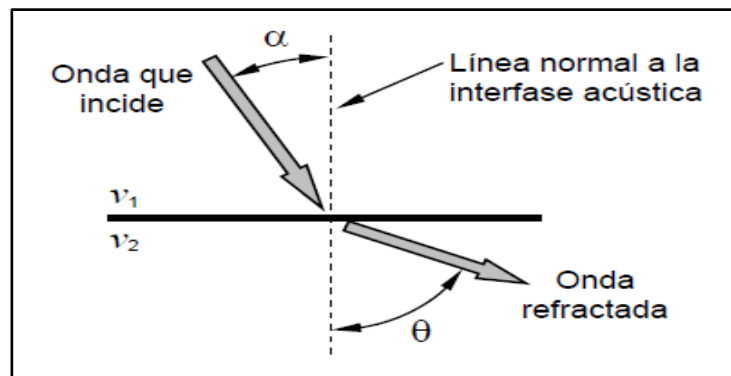


Figura N°3.6. Ilustra fenómeno de refracción.

Los ángulos de las ondas de incidencia y refractadas cumplen con la “Ley de Snell”, ecuación (3.2); como se utiliza en la inspección ultrasónica, se expresa como sigue:

$$\frac{\sin \alpha}{V_1} = \frac{\sin \theta}{V_2} \Rightarrow \frac{\sin \alpha}{\sin \theta} = \frac{V_1}{V_2} \quad (3.2)$$

Dónde:

α = Ángulo entre la línea normal a la interface acústica y la onda ultrasónica que incide, en el medio 1.

θ = Ángulo entre la línea normal a la interface acústica y la onda ultrasónica refractada, en el medio 2.

V_1 = Velocidad de la onda en el medio 1.

V_2 = Velocidad de la onda en el medio 2.

- Conversión de modo.

Cuando la incidencia de haz ultrasónico es angular, además de producirse la reflexión y refracción del haz, se producen inevitables variaciones en las peculiaridades de la onda. Estas modificaciones son conocidas como “Modos de conversión”, y significan que un haz longitudinal (*L*) o uno transversal (*T*), con incidencia angular, al hacer contacto con la superficie límite, generaran cuatro haces; un haz longitudinal reflejado (*L*), un haz transversal reflejado (*T*), un haz longitudinal refractado (*L*) y un haz transversal refractado (*T*), como queda en evidencia en la figura N°3.7.

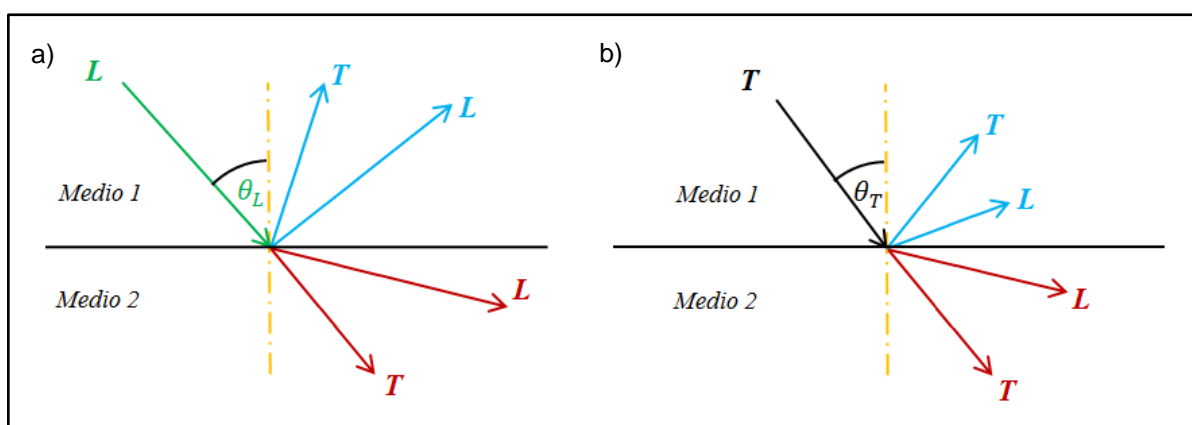


Figura N°3.7 “Conversión de Modo” a) Has incidente longitudinal, b) has incidente transversal.

- Reflexión e impedancia acústica.

Cuando un haz ultrasónico incide en el límite entre dos materiales diferentes, parte de la energía es transmitida al segundo medio y parte es reflejada. El porcentaje de energía transmitida y reflejada está relacionado con las impedancias acústicas de los dos materiales. La impedancia acústica (*Z*) es el producto de la densidad del material (ρ) y la velocidad de propagación del sonido (v), como se muestra en la ecuación (3.3):

$$Z = \rho \times v \quad (3.3)$$

Dónde:

Z = Impedancia acústica, gramos / $\text{cm}^2 \text{ s}$.

ρ = Densidad del material, gramos / cm^3 .

v = Velocidad de propagación, $\text{cm} / \text{segundo}$.

Las impedancias acústicas para diferentes materiales se encuentran en tablas.

Las impedancias acústicas permiten calcular el porcentaje teórico de energía transmitida y reflejada en las interfaces acústicas. A mayor diferencia entre las impedancias acústicas de las interfaces, mayor será el porcentaje de reflexión. Las siguientes fórmulas (3.4) y (3.5) se utilizan para realizar el cálculo de la energía reflejada y transmitida respectivamente:

$$R = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2 \quad \%R = R \times 100 \quad (3.4)$$

$$T = \left(\frac{4Z_2Z_1}{(Z_2 + Z_1)^2} \right) = 1 - R \quad \%T = T \times 100 \quad (3.5)$$

Dónde:

R = Coeficiente de reflexión

$\%R$ = Porcentaje de reflexión

T = Coeficiente de transmisión

$\%T$ = Porcentaje de transmisión

Z_1 = Impedancia acústica en el medio 1

Z_2 = Impedancia acústica en el medio 2

La reflexión real frecuentemente difiere de la reflexión teórica calculada. La rugosidad superficial es una de las variables, además de la impedancia acústica, que afecta el porcentaje de reflexión.

- Frecuencia.

Para la detección de fallas usando el método de contacto, generalmente se utilizan frecuencias entre 2.25 y 10 MHz. Dentro de este rango las frecuencias más altas proporcionan mayor sensibilidad para detectar discontinuidades pequeñas, pero no tienen el poder de penetración de las frecuencias más bajas. Las frecuencias altas también son más afectadas por discontinuidades metalúrgicas en la estructura del material. Las señales provenientes de estas discontinuidades pueden interferir con la detección de las discontinuidades relevantes, por ejemplo, grietas pequeñas.

El tamaño de la discontinuidad que puede ser detectada debe ser la consideración más importante cuando se selecciona la frecuencia. Si la discontinuidad de interés es de tamaño grande, se debería seleccionar una frecuencia baja, como 2.25 MHz. Bajo condiciones favorables, para que las discontinuidades sean detectadas deben tener una dimensión igual o mayor que la mitad de la longitud de onda. Por ejemplo, en la inspección con haz recto de aluminio a 2.25 MHz con una longitud de onda de 0.111", requiere que la discontinuidad más pequeña sea igual o mayor de 0.055" para ser detectada; el tamaño mínimo para 5 MHz es de 0.025", y para 10 MHz de 0.012".

Capítulo 4: NORMAS Y SU APLICACIÓN A PROCESOS DE SOLDADURA

Introducción

No cabe duda alguna que el carácter misceláneo de los productos manufacturados está subordinado al valor de uso o la necesidad que pretenden satisfacer; existen productos o materiales simplemente decorativos carentes de resistencia a los esfuerzos y condiciones de trabajo fluctuantes; que no requieren de inspección, no obstante se hace menester inspeccionar y evaluar aquellos que se encuentran sometidos a grandes esfuerzos u otras condiciones operativas donde una discontinuidad puede ser el prólogo de una tragedia griega.

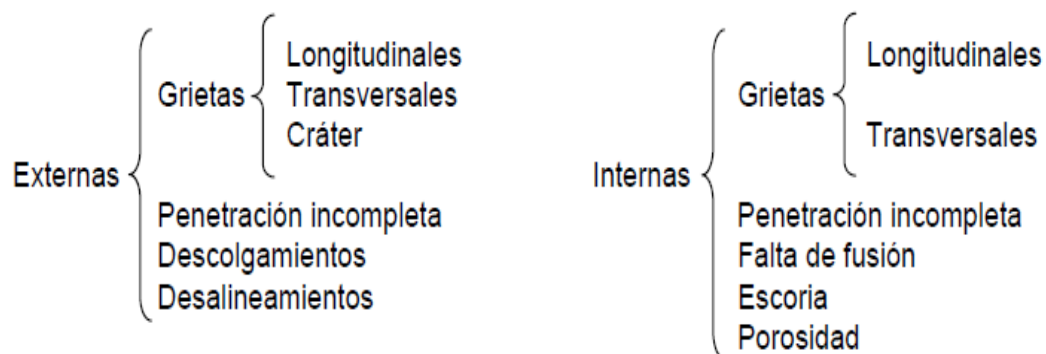
Recapitulando, se comprende que un END solo indica la presencia de la discontinuidad, por lo que le corresponde al personal calificado determinar el tipo específico de discontinuidad detectada bajo un fundamento científico. Por lo tanto la imbricación entre el conocimiento de los materiales, sus propiedades y discontinuidades típicas, apéndice al proceso de formación y condiciones operacionales; ayudan notablemente a la interpretación de la discontinuidad y por ende al desarrollo del END.

En este capítulo se esboza la relación insoluble entre aristas que permiten ejecutar un END con resultados óptimos; por una parte el fundamento teórico para interpretar e identificar la peculiaridad de la discontinuidad y potencial defecto, y por otra los estándares, normas y criterios más comunes, con los cuales se realiza un procedimiento de inspección en ultrasonido y en particular bajo que parámetros se efectuara el estudio del set de probetas para éste ensayo, considerando los materiales disponibles por el Departamento de Ingeniería Mecánica. También se presentara las discontinuidades triviales en procesos de soldadura que serán expuestas en el acápite ulterior.

4.1 Discontinuidades en soldaduras

Las discontinuidades que se producen en soldadura, y que el técnico en ultrasonido debe poner de manifiesto, pueden ser de diversa índole y responder a una multiplicidad de factores. Algunas son intrínsecas al tipo de procedimiento empleado para realizar la soldadura; otras son comunes a casi todos los procedimientos; en ocasiones, las discontinuidades son provocadas por la inexperiencia o negligencia del soldador (posición incorrecta del electrodo, eliminación insuficiente de escorias, etc.); también, las discontinuidades se deben a que no se han ajustado en forma conveniente los parámetros del proceso (intensidad inadecuada, velocidad de desplazamiento del arco demasiado elevada, etc.); por último, existen discontinuidades debidas a una unión deficiente (tipo de preparación inadecuada para el espesor de la placa, electrodo mal indicado para el tipo de material a soldar, etc.).

Desde el punto de vista del técnico en ultrasonido, las discontinuidades en soldadura pueden agruparse como sigue:



Evidentemente el técnico en ultrasonido debe buscar las discontinuidades internas del material; sin embargo, no se debe menospreciar las externas, ya que la existencia de estas puede ser causa de una mal interpretación o confusión.

4.2 Discontinuidades Internas más triviales

4.2.1 Inclusión de escoria

Se consideran inclusiones, las heterogeneidades originadas por materiales sólidos extraños (metálicos y no metálicos) aprisionados en la masa del metal durante el proceso de la soldadura, como queda de manifiesto en la figura N°4.1.

La mayoría de las soldaduras contienen escorias que han sido atrapadas en el metal depositado durante la solidificación. Estos son depósitos de carbón, óxidos metálicos y silicatos principalmente. La escoria puede provenir del revestimiento o fundente empleado. La escoria puede ser:

- a. De cualquier forma y orientación.
- b. Alineadas: Son producidas por inadecuados movimientos del electrodo por parte del soldador, quedando alineados sobre el costado del cordón soldado.
- c. Producidos por Óxidos atrapados.
- d. Producidos por Otros Metales atrapados.

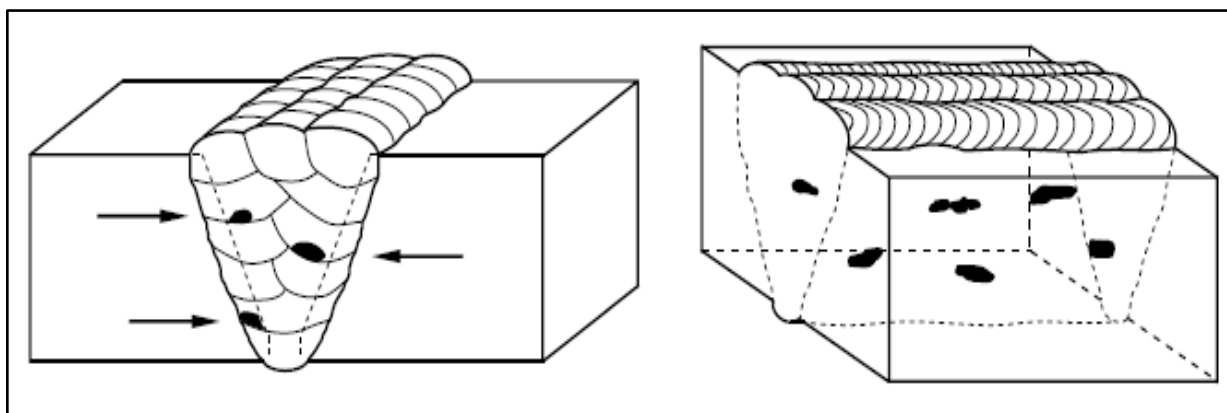


Figura N° 4.1. Inclusión de escoria.

4.2.2 Fusión Incompleta

Es la falta de unión entre el metal de aportación y el metal base. Es generalmente ocasionada por falta de temperatura para fundir el metal sea este base o el cordón anterior de soldadura ya sólido.

Dependiendo de su localización, es posible distinguir tres tipos de falta de fusión:

- a. En la raíz se produce cuando la falta de abertura en la raíz y la temperatura no es lo bastante elevada; por una incorrecta alineación de los elementos al soldar; por fallas en la preparación; por diferencias de espesor o diámetro, etc.
- b. Lateral.
- c. Entre cordones.

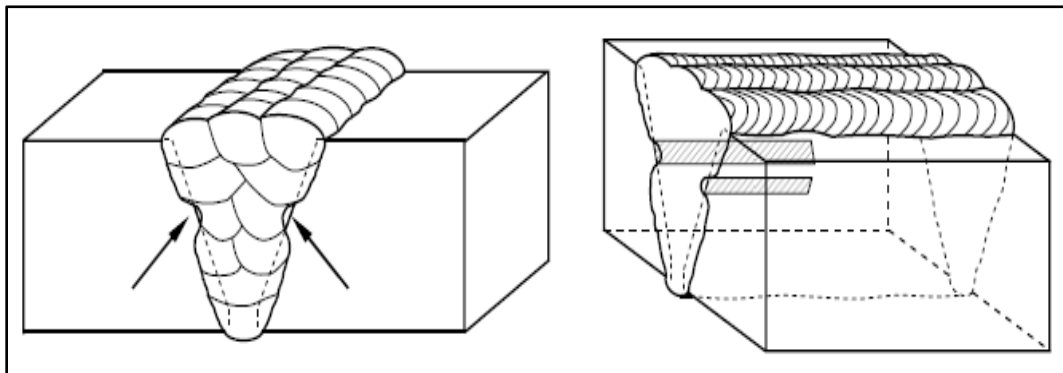


Figura N° 4.2 Fusión incompleta.

4.2.3 Grietas

Es la discontinuidad más crítica en soldadura; debido a características que tienden a la propagación de ésta, como lo es la geometría alargada y extremos agudos. Además esta condición se acentúa con cambios de sección agudos que pueden secundar concentración de esfuerzos. Las grietas pueden clasificarse en diferentes formas, dependiendo de la perspectiva con que se evalúe.

Tabla N° 4.1 Ilustra clasificación de grietas en soldadura.

Perspectiva a considerar.	Por la forma de indicar cuando ocurren las grietas.	Por la forma de describir su dirección.	Por la localización exacta respecto de las partes de la soldadura.
Tipos de Grietas.	-Grietas Frías. -Grietas Calientes.	-Grietas Longitudinales. -Grietas Transversales. (Ver figura N°4.4).	-De Garganta. -De Raíz. -De Dedo. -De Cráter. -De cordón. -De Metal Base.

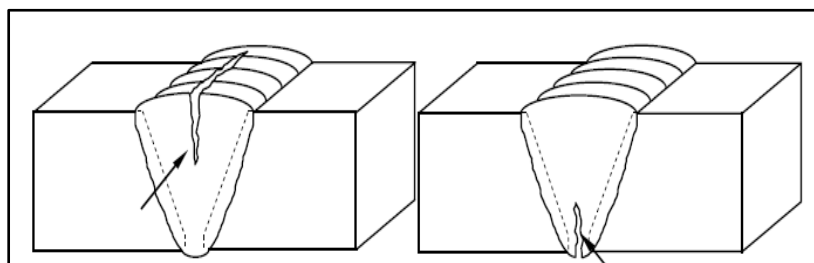


Figura N°4.3 Ilustra una grieta longitudinal.

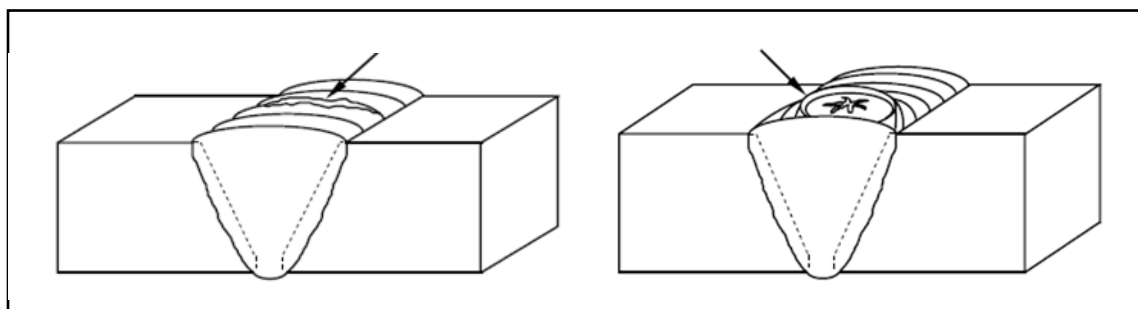


Figura N°4.4 Muestra grieta transversal y cráter.

Tabla N° 3.2 muestra tipos de grietas y peculiaridades a considerar.

Tipo de Grietas.	Morfología.	Origen.
Grietas Frías.	-Grietas ocurre en granos individuales.	-Durante la solidificación del metal a altas temperaturas.
Grietas Calientes.	-Grietas íter-granular otras-granular, a través de granos individuales.	-Después que el metal se ha solidificado y enfriado a T° ambiente.
Grietas Longitudinales.	-Grietas paralelas al eje de la soldadura. (Ver figura N°4.3.).	-Resultan de esfuerzos transversales de contracción o esfuerzos asociados a condiciones de servicio.
Grietas de Garganta.	-También son grietas longitudinales.	-Como continuación de grietas internas, se extienden a lo largo de la garganta de la soldadura.
Grietas de Dedo.	- Grietas alargadas.	-Se propagan desde los dedos de las soldaduras, la configuración de la soldadura y una baja ductilidad más el calor incrementa susceptibilidad a este tipo de defecto.
Grietas de Cordón.	-Grietas longitudinales, paralelas al eje del cordón.	-Resultan por la presencia de hidrogeno en la zona de la soldadura; presente en el metal base, de aporte, en la atmosfera o contaminación superficial.
Grietas de Raíz.	-Son grietas longitudinales.	-Debido a juntas inadecuadas, como aberturas de raíz; estas provocan concentraciones de esfuerzos.
Grietas de Cráter.	-Grietas con arreglo radial.	-Por un llenado incompleto del charco de soldadura fundida al terminar el arco; combinado a esfuerzos de contracción durante la solidificación dan origen a cráter o redes de grietas.
Grietas en el Metal Base.	- Grietas longitudinales o transversales.	-Asociado con elevadores de esfuerzos, los cuales resultan en el agrietamiento una vez que la pieza ha sido puesta en servicio.

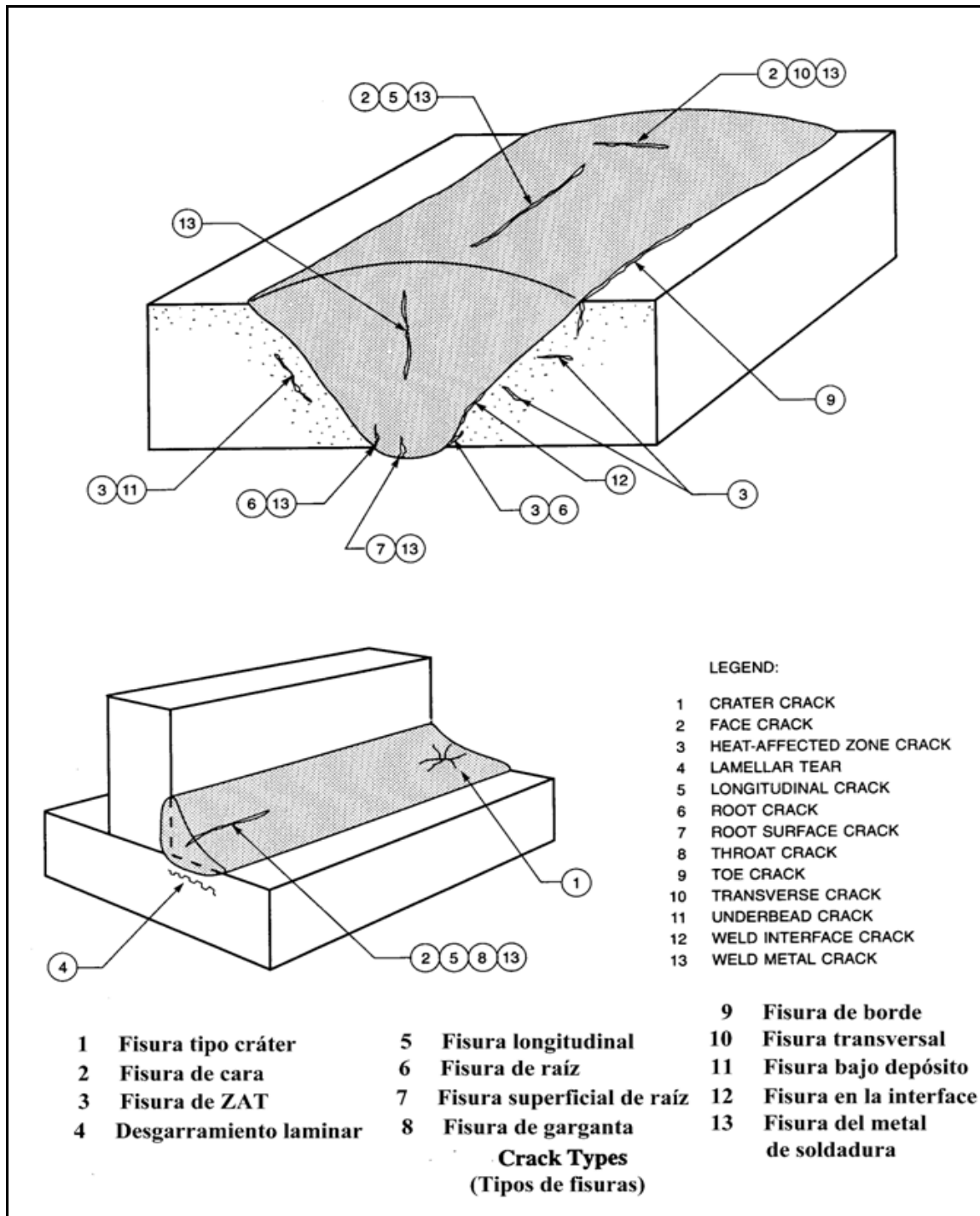


Figura N° 4.5 Ilustra tipos de grietas características en procesos de soldadura.

4.2.4 Porosidad

La porosidad es una discontinuidad de tipo cavidad, formada por gas atrapado durante la solidificación. Simplemente pueden ser huecos o paquetes de gas dentro del metal soldado. Debido a su forma esférica característica, la porosidad es normalmente considerada la discontinuidad menos peligrosa. Sin embargo, donde la soldadura debe formar algún límite para contener un gas o líquido, la porosidad puede ser considerada más peligrosa. La porosidad es generalmente caracterizada como una discontinuidad con bordes tersos, redondeada o alargada. Un solo poro también puede tener una cola aguda, lo que podría ser un punto de inicio de una grieta. Ésta puede manifestarse con una distribución agrupada o uniformemente en la soldadura; como queda de relieve en la figura N°4.6.

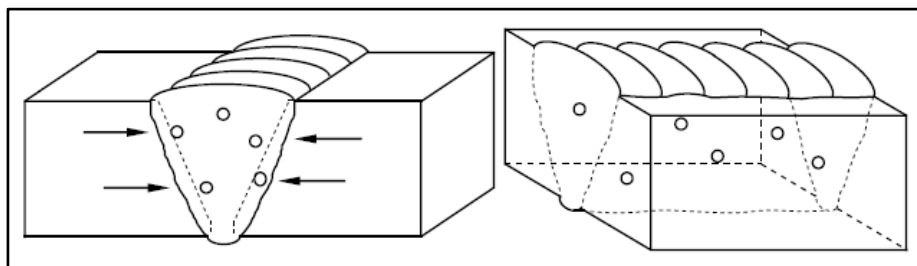


Figura 4.6. Porosidad con distribución uniforme a lo largo de la soldadura.

4.3 Normas aplicadas a procesos de soldadura

Las pruebas no destructivas tienen la validez para responder a problemáticas específicas, todo esto bajo un contexto determinado por condiciones naturales de entorno y trabajo, además de las especificaciones inherentes a la pieza a inspeccionar. Estos fundamentos son traspasados a la experiencia básica y constituyen los conocimientos que un técnico debería poseer.

El técnico cualificado y con aptitudes en cualquier método de Ensayos no Destructivos debe estar familiarizado con el manejo e interpretación de documentos aplicables al método en el que está calificado y a los productos que debe

inspeccionar. La inspección de un componente que esté regulado o que sea crítico dentro de la industria puede estar cubierta por múltiples documentos como códigos, normas, especificaciones y procedimientos.

Existe un gran número de organizaciones responsables de la edición y revisión de estos documentos, por mencionar algunos: ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos), AWS (Sociedad Americana de Soldadura), API (Instituto Americano del Petróleo), etc.

Cada inspección puede estar gobernada por uno o más procedimientos que han sido elaborados y estructurados para cumplir con reglas o criterios de esos documentos aplicables. Para cumplir con los objetivos y requisitos de estos documentos, el personal debe ser capaz de entender el punto de vista que dirige lo establecido en ellos; además, debe ser capaz de elaborar procedimientos escritos e interpretar los resultados de la inspección basándose en los requisitos tomados de los documentos aplicables al producto o material inspeccionado, y por último, debe asegurar que quien realiza actividades de inspección documentada en procedimientos, cumple con la variedad de requisitos y documentos aplicables.

4.3.1 Normas

Una norma es un marco de prueba, clasificación o práctica que ha sido publicada y preparada por un cuerpo editor; con la necesidad de satisfacer un contrato o estándar, para así funcionar como una especificación insoslayable.

Estos documentos establecen los siguientes parámetros:

- Definir reglas para adquirir, comprar, dimensionar o juzgar un servicio, material, parte, componente o producto.
- Definiciones, símbolos, clasificaciones.

Es importante vislumbrar que para efectuar un análisis de procesos de calidad de soldadura mediante ultrasonido se debe ejecutar un procedimiento de inspección que cumpla con todas las especificaciones, teniendo presente parámetros técnicos, requisitos de equipos y accesorios, así como criterios de aceptación y rechazo que son aplicables a materiales, partes, componentes o equipos, todo subordinado a lo establecido en códigos, normas y/o especificaciones.

En correlación a lo esbozado se presentan criterios de aceptación y rechazo para determinar el grado o clasificación del producto en cuestión, considerando factores como: la aleación, el proceso de fabricación, el acabado, el recubrimiento, el esfuerzo, la seguridad y funcionalidad. El criterio de aceptación y rechazo establece el tamaño y carácter de una discontinuidad aceptable en un área particular.

A continuación se dará a conocer documentos que la industria pregona y propugna en la práctica cotidiana, con respecto a procedimientos de inspección por ultrasonido junto a criterios de aceptación y rechazo aplicados a procesos de soldadura.

Documentos para procedimientos de inspección:

- El Artículo 4 de la Sección V del Código ASME para Recipientes a Presión y Calderas, Métodos de Inspección Ultrasónica para Soldaduras, Edición 2007, Julio de 2007.
- El Código AWS para Estructuras Soldadas de Acero, ANSI / AWS D1.1, Cláusula 6 – Inspección, Parte F – Inspección por Ultrasonido (UT) de Soldaduras de Ranura.
- Procedimiento para la Inspección Ultrasónica de Placas de Acero, Procedimiento No. LLOG-UT-005.

Los criterios de aceptación y rechazo, se encuentra incluidos en los siguientes documentos:

- El Código ASME para Recipientes a Presión y Calderas, Sección VIII, División 1, Apéndice 12, Inspección Ultrasónica de Soldaduras (UT).
- El Código AWS para Estructuras Soldadas de Acero, ANSI / AWS D1.1, Cláusula 6 – Inspección, Parte C – Criterios de Aceptación, 6.13 Inspección por Ultrasonido (Tabla 6.2 y Tabla 6.3).
- El Estándar API 1104 para Soldadura de Tubería e Instalaciones Relacionadas, Sección 9 – Estándares de Aceptación para Pruebas no Destructivas, Parte 9.6, Inspección Ultrasónica.

4.4 Conclusión

La retroalimentación entre teoría-práctica es fundamental para responder de manera eficiente y eficaz problemas que se presentan en la industria; bajo estos sucesos el inspector de ultrasonido tiene la responsabilidad de adquirir competencias teóricas y adiestrarse en la práctica con la finalidad de poder dar respuesta satisfactoria a los requerimientos y necesidades del momento; por ende es preciso tener conocimiento de las normas y especificaciones que permiten elaborar una inspección de calidad. Bajo esta circunstancia el análisis de probetas de soldadura se efectuara bajo la norma AWS D1.1 (Sociedad americana de soldadura), considerando que se poseen insumos (instrumentos, bloques de calibración, etc.) necesarios para trabajar en base a ésta y realizar una inspección en condiciones aceptables. No obstante es importante esclarecer que la norma a utilizar para una inspección se debate entre quien solicita la inspección y el personal que la ejecuta.

CAPITULO 5: INSPECCIÓN DE SOLDADURAS

5.1 Inspección de soldadura por ultrasonido

Para abordar un determinado cordón de soldadura, un técnico en ultrasonido tiene que tener como sustento conocimientos que ayuden a realizar el examen. La información imprescindible; y como ésta puede influir en el control ultrasónico se expone a continuación:

- Material a inspeccionar. Un conocimiento del tipo de material puede ayudar a saber si, en las zonas adyacentes al cordón, va a encontrarse estructura de grano grueso o fino; lo que determinaría la frecuencia a utilizar.
- Espesor de la placa. Es importante ya que saber el espesor permite seleccionar el ángulo de la zapata a emplear, como además ayuda a saber las distancias de salto y medio salto por donde se desplazara el transductor al realizar la inspección.
- Preparación de las uniones del cordón. Facilita la interpretación de discontinuidades e inferir la localización de las discontinuidades.
- Procedimiento de soldadura utilizado. Es de vital importancia saber el procedimiento ya que permite encontrar las discontinuidades, que con mayor frecuencia se pueden apreciar. Por ejemplo en un procedimiento con CO₂ no se encontraran inclusiones de escoria, ya que el electrodo va protegido con gas, y debe, en cambio tener en cuenta que este tipo de soldadura es propensa a discontinuidades tales como: porosidad y falta de fusión.
- Si la soldadura ha sufrido un tratamiento térmico o no. Esto provocan cambios en la estructura de grano del cordón, lo cual puede influir en la elección en la frecuencia del palpador.

5.2 Aspectos a considerar por el inspector en ultrasonido

5.2.1 Tipos de Juntas y Preparación

Como se mencionó anteriormente, conocer la preparación de la junta, forma y perfil contribuye para ejecutar una inspección; la figura N°5.1 ilustra las 5 juntas básicas que son usadas en la industria.

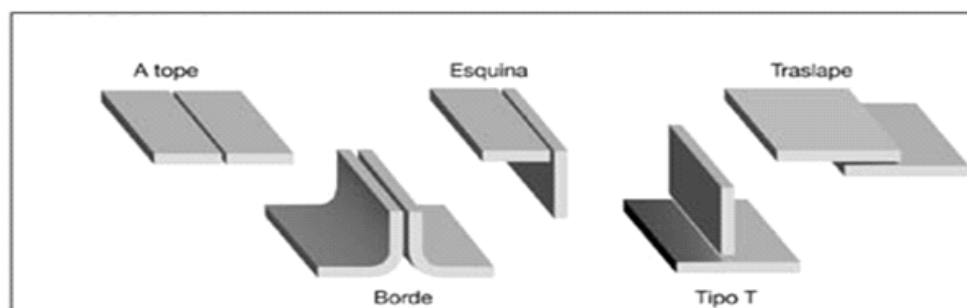


Figura N° 5.1 Tipos de juntas más comunes para soldaduras.

5.2.2 Tipos de Ranura.

El espacio entre las caras de un ensamble de junta a tope cuadrada se conoce como ranura, la forma de la ranura sirve para clasificar el juego. Durante la inspección, al realizar la interpretación conocer el tipo de ranura puede ayudar a determinar el tipo y localización de las discontinuidades en soldadura. La figura N°5.2 muestra diferentes tipos de ensambles con diferentes tipos de ranuras, que pueden ser usadas en la preparación de una junta a tope.

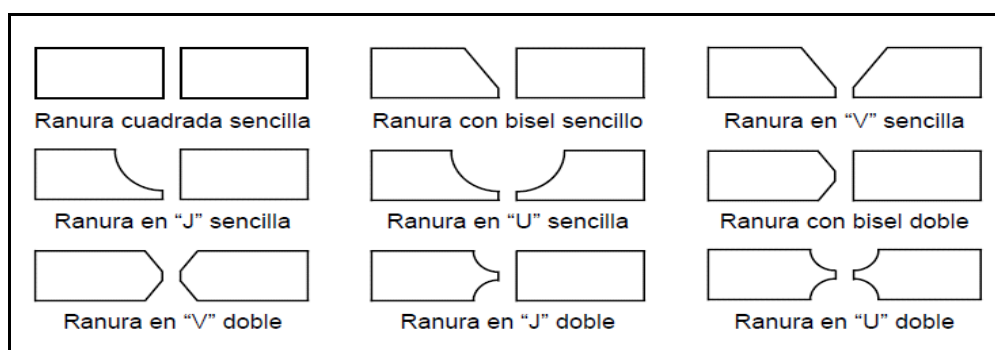


Figura 5.2. Tipos de ensambles.

5.3 Inspección de juntas soldadas a tope

5.3.1 Uso de palpadores de haz angular

Cuando un palpador de haz angular, que esté conectado a un equipo de ultrasonido, se acopla sobre la superficie de una placa, el haz de ondas longitudinales emitido por el cristal del palpador se refracta al atravesar la interface, convirtiéndose en un haz de ondas de corte. Éste haz se propaga en “zig-zag” a través de la placa como se ilustra en la figura N°5.3

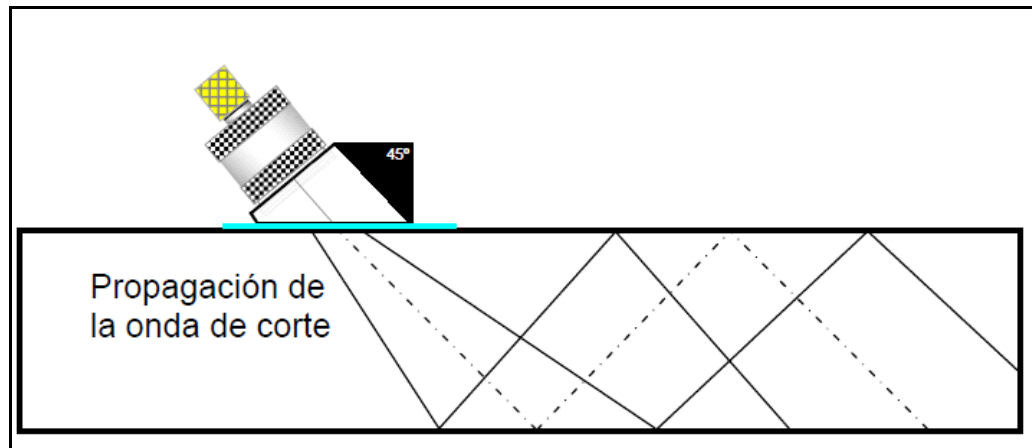


Figura N° 5.3. Propagación del Haz.

La reflexión en la esquina inferior del borde de la placa se efectúa a una distancia $SD/2$ (distancia de medio salto) y la distancia en que se genera la reflexión en la esquina superior se denomina SD (distancia de salto), veamos la figura N° 5.4.

Se vislumbra; dada la forma en “V” del recorrido del haz ultrasónico hasta completar la SD , se le denomina “trayectoria en V”.

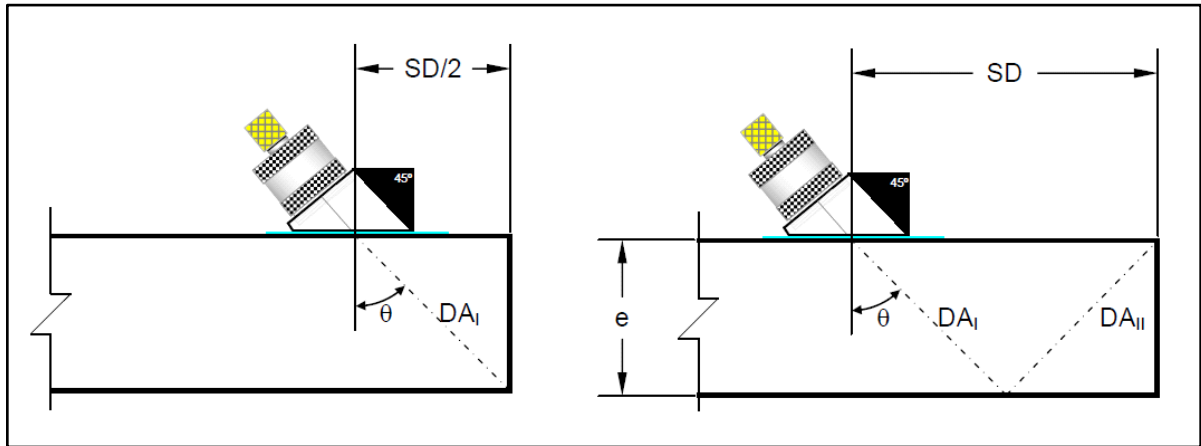


Figura N° 5.4 Distancia de salto y medio salto.

La distancia recorrida por el haz hasta la superficie inferior de la placa (DA_I) se conoce como “primera pierna” de la trayectoria en “V”, y la distancia desde la superficie inferior hasta la superior (DA_{II}) es la “segunda pierna” y así sucesivamente. Conociendo el ángulo de refracción del haz ultrasónico, θ marcado en el palpador; y el espesor se pueden calcular las distancias de salto y medio salto, como se aprecia en la figura N°5.5.

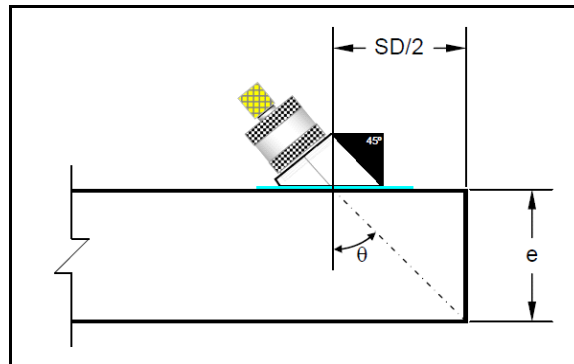


Figura N°5.5 Muestra las distancias: angular (DA) y superficial (SD/2).

En efecto, de la figura anterior se deduce (5.1):

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{SD/2}{e} \quad (5.1)$$

Por lo que despejando se obtiene (5.2)

$$\frac{SD}{2} = e * tg\theta \quad SD = 2etg\theta \quad (5.2)$$

Los palpadores angulares cuentan, para su ángulo de refracción, con el factor $2 * tg\theta$ por lo cual, para conocer la distancia de salto y de medio salto es cuestión, únicamente, de conocer el espesor de la placa.

5.3.2 Ubicación de las discontinuidades usando el palpador de haz angular

Supongamos que al verificar una placa con palpador angular se detecta una discontinuidad; ésta discontinuidad producirá, si es de orientación favorable al haz, una indicación en la pantalla del equipo, como se ilustra en la figura N°5.6. Consideremos que la posición de la discontinuidad dentro de la placa es indicada en la figura de la pantalla, si el equipo ha sido calibrado en recorrido del haz podemos conocer, sin más que leer directamente en la pantalla, la distancia angular (DA) a la que se encuentra la discontinuidad, como también las distancias superficiales y profundidad; no obstante estas distancias se pueden obtener mediante las siguiente expresiones matemáticas:

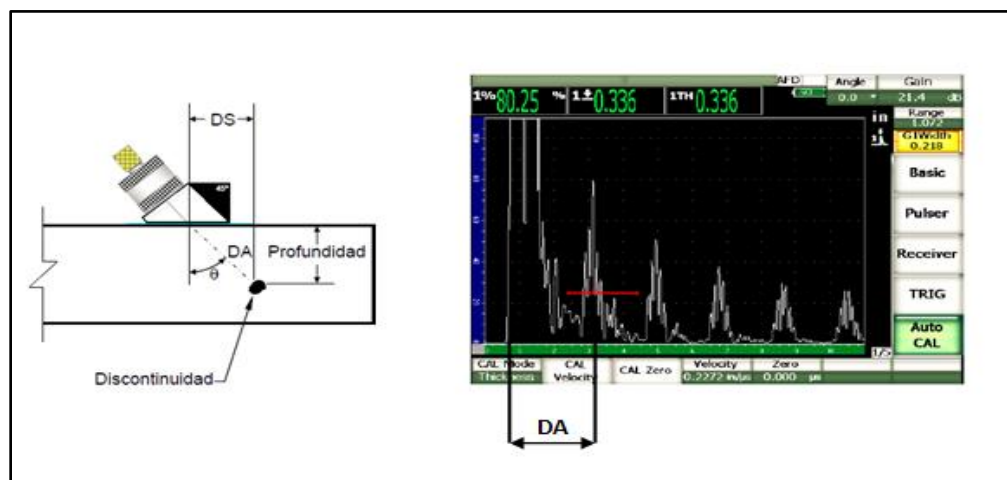


Figura N°5.6 Detección de una discontinuidad.

Ahora bien, recurriendo a las expresiones trigonométricas sencillas, se tiene las ecuaciones (5.3) y (5.4).

$$\sin \theta = \frac{DS}{DA} \quad (5.3)$$

$$\cos \theta = \frac{PROFUNDIDAD}{DA} \quad (5.4)$$

Por lo tanto, se obtiene (5.5) y (5.6):

$$DS = DA \times \sin \theta \quad (5.5)$$

$$PROFUNDIDAD = DA \times \cos \theta \quad (5.6)$$

Dónde:

DS= Distancia superficial.

DA= Distancia angular.

θ = Angulo de refracción.

Consideremos ahora que la discontinuidad se localiza después de una reflexión del haz en la superficie inferior de la placa, figura N°5.7; observando en la pantalla del equipo se deduce que la distancia angular a la que aparece la discontinuidad es lógicamente mayor.

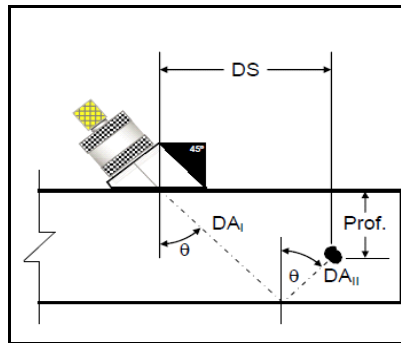


Figura N°5.7 Detección de discontinuidad con segunda pierna.

Teniendo presente las expresiones anteriores, ahora tenemos las ecuaciones (5.5) y (5.7):

$$DS = DA \times \sin \theta \quad (5.5)$$

$$PROFUNDIDAD = 2e(DA_t + DA_{II}) \times \cos \theta \quad (5.7)$$

De lo anterior deriva (5.8):

$$PROFUNDIDAD = 2e - (DA_t \times \cos \theta) \quad (5.8)$$

Dónde:

DS= Distancia superficial.

DA= Distancia angular (DA_t).

DA_t = Distancia angular total ($DA_t + DA_{II}$).

Θ = Angulo de refracción.

Sucesivamente, el cálculo de la profundidad a la que se encuentra una discontinuidad depende de la “Pierna” con la cual sea detectada, esto se debe a que se aplican expresiones matemáticas diferentes.

5.3.3 Inspección de un cordón de soldadura con palpador de haz angular

Al inspeccionar un cordón de soldadura mediante ultrasonido, por medio de un palpador angular, es necesario barrer toda la sección transversal del cordón, para ello se debiera desplazar el palpador entre las distancias correspondientes a medio salto y un salto. Efectivamente, desde la posición de medio salto el haz incide en la raíz del cordón. Al desplazar hacia atrás el palpador, el haz barre paulatinamente la sección transversal del cordón, desde la raíz hasta el refuerzo, momento en el cual el palpador se encontrará a la distancia de un salto; como se ilustra en la figura N°5.8.

De lo anterior se deduce que el técnico que va a realizar la inspección tiene la certeza de barrer con el haz todo el cordón desplazándolo entre las distancias SD y SD/2.

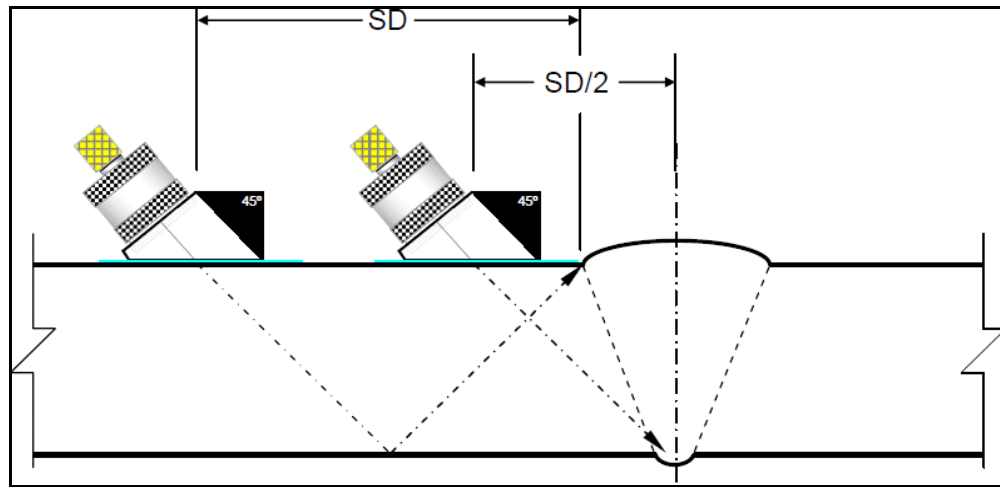


Figura N°5.8 Ilustra distancias de salto y medio salto.

5.3.4 Zonas de barrido

Al realizar la inspección de una soldadura por ultrasonido, y con el fin de efectuar un barrido eficiente y confiable, es recomendable establecer un área sobre la superficie del metal base, a todo lo largo de la soldadura, desde la línea central de la soldadura y hasta la distancia de medio salto y de un salto. A esta región se le denomina “*Zona de Barrido*”, como ilustra la figura N°5.9. Esta “*Zona de Barrido*” es el espacio dentro del cual se recomienda realizar los desplazamientos y movimientos del transductor.

El borde de la zona de barrido, que corresponde a la distancia de salto, y al cual se recomienda agregar una pulgada, se le conoce como “*Límite Lejano*”, y el borde que corresponde a la distancia de medio salto se le denomina “*Límite Cercano*”.

Se recomienda que la soldadura sea barrida desde ambos lados sobre una sola superficie o, si es posible, desde un lado sobre ambas superficies, para asegurar que sean detectadas discontinuidades planas no orientadas verticalmente.

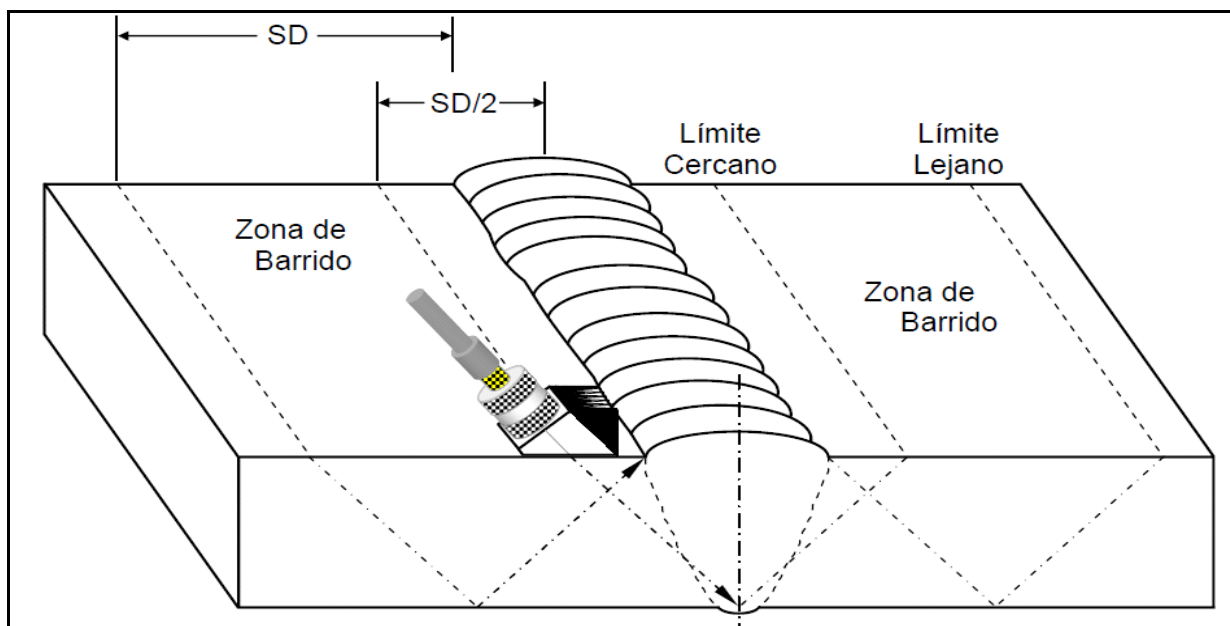


Figura N°5.9. Zona de barrido

- Patrones de barrido: Se ha concebido que el barrido debe efectuarse entre el límite cercano y límite lejano, no obstante debemos responder la siguiente interrogante ¿Cómo se ha de realizar este desplazamiento?; en primer lugar, para detectar la presencia de discontinuidades longitudinales en soldaduras en las que el refuerzo ha sido o no ha sido esmerilado a ras, el palpador debe mantenerse perpendicular al eje de la soldadura y movido sobre la zona de barrido como se indica a continuación:
 1. Movimiento transversal: Para cubrir totalmente la sección transversal de la soldadura, se debe realizar el desplazamiento del palpador dentro de la zona de barrido, hacia delante y hacia atrás, desde el límite cercano hasta el límite lejano o viceversa, como muestra la figura N°5.9.

2. **Movimiento longitudinal:** Es acucioso realizar un movimiento lateral, paralelo al eje de la soldadura, a todo lo largo de la junta. El avance del palpador no debe exceder del 75% de su ancho activo por cada barrido o, de acuerdo con algunos requisitos específicos de Códigos o normas, el traslape mínimo entre cada desplazamiento del palpador debe ser del 10% al 15% de su dimensión transversal, ver la figura N°5.10.
3. **Movimiento radial:** Se debe tener en cuenta que algunas discontinuidades no son completamente paralelas al eje de la soldadura, por lo que, cada desplazamiento transversal y longitudinal debe realizarse en combinación con un movimiento radial del palpador, oscilando entre 10° y 15° a cada lado de la línea central del transductor. Siempre se debe tener presente que todos estos movimientos deben ser adecuadamente combinados, para tener la mayor seguridad en la detección de discontinuidades de cualquier orientación. Al combinar estos movimientos, el patrón de barrido puede ser en zig-zag con cambios agudos de dirección o con cambios cuadrados, como muestra la figura N°5.10.

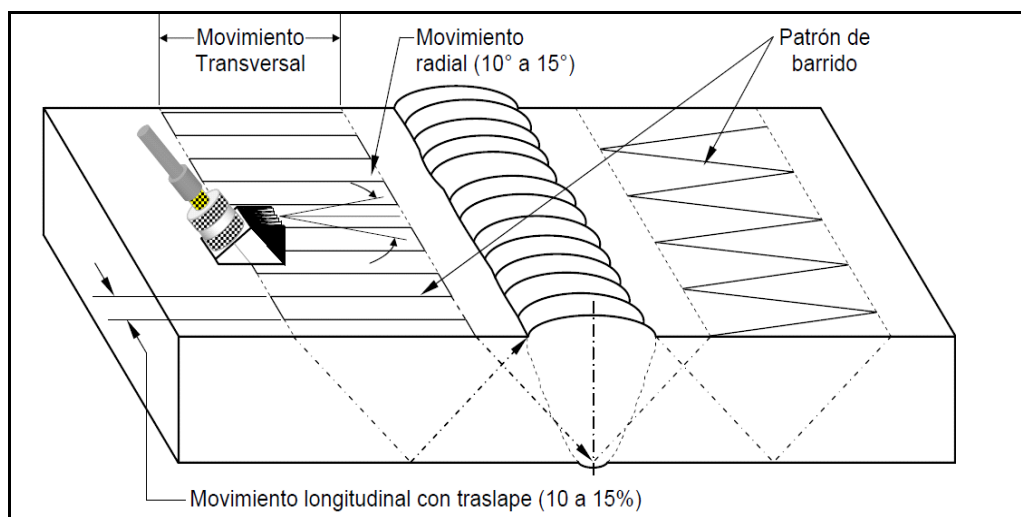


Figura N°5.10 Ilustra patrones de barrido para detectar discontinuidades.

En segundo lugar, para detectar discontinuidades transversales, existen dos métodos:

- Soldaduras con refuerzo: Es la unión donde el refuerzo no ha sido esmerilado a ras. En este primer caso, el palpador es colocado sobre el material base adyacente a la soldadura y se dirige hacia el eje de la soldadura, inclinándolo a aproximadamente 15° con respecto al eje, ver la figura N°5.11. El barrido se realiza moviendo el palpador a lo largo de la soldadura, puede ser en ambos lados de la soldadura en una sola dirección o en direcciones opuestas a lo largo de un sólo lado de la soldadura.
- Soldaduras sin refuerzo: Junta a tope con penetración completa en las que el refuerzo ha sido esmerilado a ras. En el segundo caso, figura N°5.12; el palpador se coloca sobre la soldadura y se barre a todo lo largo en dos direcciones opuestas, combinando con el movimiento radial del palpador, oscilando de izquierda a derecha hasta aproximadamente 10° a 15° a cada lado de la línea central del transductor.

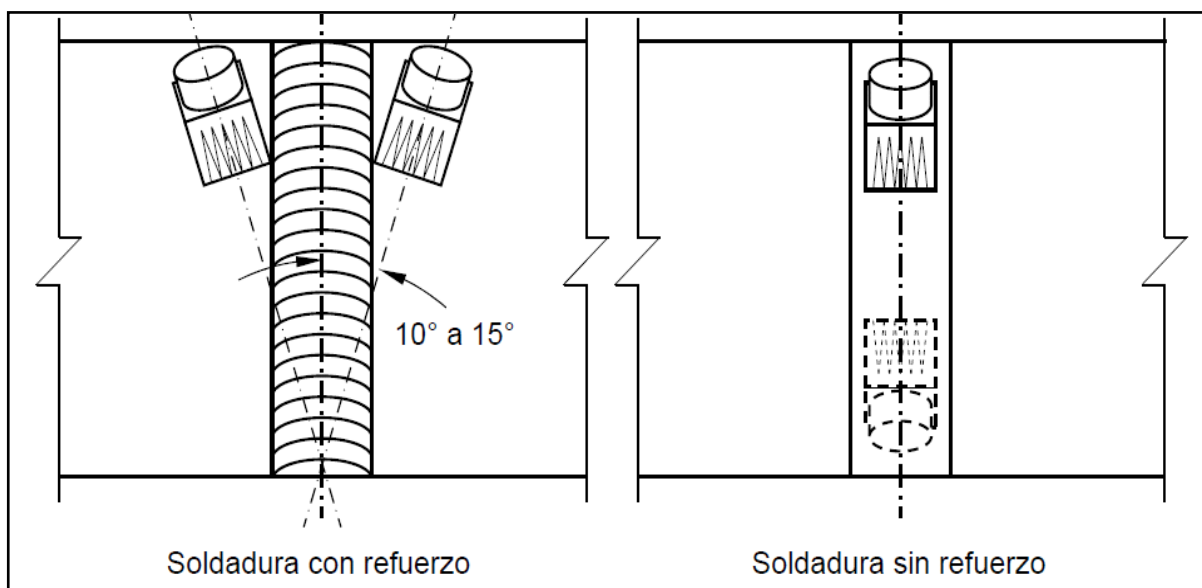


Figura N°5.11 y N°5.12; Muestran patrones para detectar discontinuidades transversales.

5.4 Evaluación de discontinuidades.

Una discontinuidad dada en un objeto inspeccionado representa un obstáculo al ultrasonido, con lo que, la información sobre esta discontinuidad es obtenida por el ultrasonido reflejado por ella, (por su eco). Normalmente, la evaluación de una discontinuidad se basa precisamente en esa reflexión producida. La evaluación de una discontinuidad demanda habilidad y experiencia del técnico, además, que el equipo funcione en condiciones óptimas; todo esto debido, principalmente, a los problemas que pueden estar involucrados.

A continuación, se menciona una serie de factores que afectan la evaluación de una discontinuidad:

- La capacidad en la calibración.
- El poder de resolución.
- La condición superficial.
- La exactitud al determinar el ángulo de refracción.
- La pérdida de sensibilidad.
- La divergencia del haz ultrasónico.
- Las características de la discontinuidad.
- La experiencia del técnico.

Con el fin de realizar la evaluación de una discontinuidad, dependiendo del criterio de aceptación y rechazo que se aplique a la soldadura y al producto inspeccionado, podría ser necesario determinar, con la mayor exactitud, todas o casi todas sus características. A continuación, se describe como pueden llevarse a cabo estas determinaciones:

- a) Localización: Cuando se ha completado la calibración en distancia del instrumento, se puede obtener la lectura real de la distancia recorrida por el ultrasonido hasta donde se encuentra localizada la discontinuidad, ya que se puede calcular su profundidad, o en su defecto el equipo la entrega.

- b) **Tamaño:** La amplitud de la señal de una discontinuidad puede ser usada como una medición de su tamaño y severidad. La evaluación de la amplitud debería basarse en la experiencia que se tenga con discontinuidades reales, esto debido a que los reflectores producidos artificialmente no siempre están relacionados directamente con las formas y tamaños de discontinuidades reales.

Ahora, tomando como base sus dimensiones perpendiculares al haz ultrasónico, las discontinuidades pueden ser clasificadas como pequeñas (cuando su área es más pequeña que la sección transversal del haz ultrasónico) o grandes (cuando la discontinuidad es más grande que la sección transversal del haz ultrasónico, en la posición donde está localizada la discontinuidad). Con lo anterior, el tamaño de la discontinuidad puede ser determinado por medio de dos diferentes métodos, que a continuación se describen:

- Método por comparación con reflectores de referencia (para discontinuidades pequeñas).

Este método consiste en utilizar ranuras, barrenos laterales o barrenos de fondo plano de diferentes dimensiones, para la calibración en sensibilidad del instrumento ultrasónico. El tamaño de la discontinuidad se determina comparando la máxima amplitud de su indicación con la amplitud de la indicación producida por el reflector de referencia, es una determinación estática del tamaño.

La amplitud de las indicaciones de discontinuidades también puede ser utilizada como una medición de la severidad de la discontinuidad.

Como ejemplos de la aplicación de este método, podemos mencionar al Código AWS D1.1 (para Estructuras Soldadas de Acero), en su Sección 6, Parte F, y el Código ASME para Recipientes a Presión y Calderas, en la Sección V, Artículos 4, y en la Sección VIII, División 1.

El Código AWS D1.1, para Estructuras Soldadas de Acero, requiere que las indicaciones o ecos de barrenos laterales y/o ranuras, sean usados para establecer niveles de referencia, con los cuales se determina la severidad de las discontinuidades.

Al aplicar este método, normalmente es imperativo determinar la longitud de la discontinuidad para completar su evaluación. Para ello, se recurre a una técnica conocida como la **“Técnica de caída de 6 dB”**. Esta técnica consiste en lo siguiente:

Después de obtener la máxima amplitud de la indicación de una discontinuidad (maximización), se desplaza el palpador en una dirección, siguiendo la dirección en la que está orientada la discontinuidad, y se detiene el desplazamiento en el momento que la indicación de la discontinuidad sufra una caída de amplitud al 50%, con respecto a su amplitud máxima, lo que equivale a -6 dB.

La base de esta técnica es asumir que la indicación de la discontinuidad tiene una caída de amplitud a la mitad cuando la parte central del haz se encuentra en el extremo de la discontinuidad, esto es, que se está detectando el borde de la discontinuidad en ese punto.

Después de marcar la posición de los puntos más alejados entre sí, entonces se puede determinar directamente la longitud de la discontinuidad, midiendo la distancia entre los puntos obtenidos, que corresponden a los extremos de la discontinuidad.

Para determinar la longitud de discontinuidades pequeñas, se tiene menor exactitud que para discontinuidades grandes.

- Método por caída de amplitud (para discontinuidades grandes).

Este método se basa en la “Técnica de caída de 6 dB” (caída al 50% de amplitud) que, como se mencionó, consiste en determinar la ubicación de los puntos donde la amplitud de las indicaciones equivale a la caída de 6 dB, con respecto a la amplitud máxima, cuando el palpador se mueve más allá de la posición en la que se obtiene la máxima amplitud de la indicación de discontinuidad, como se ilustra en la figura N°5.14. También conocido como “Método alrededor”, ya que se dibuja con buena exactitud el “contorno de una discontinuidad grande”, tal como una laminación, figura N°5.13.

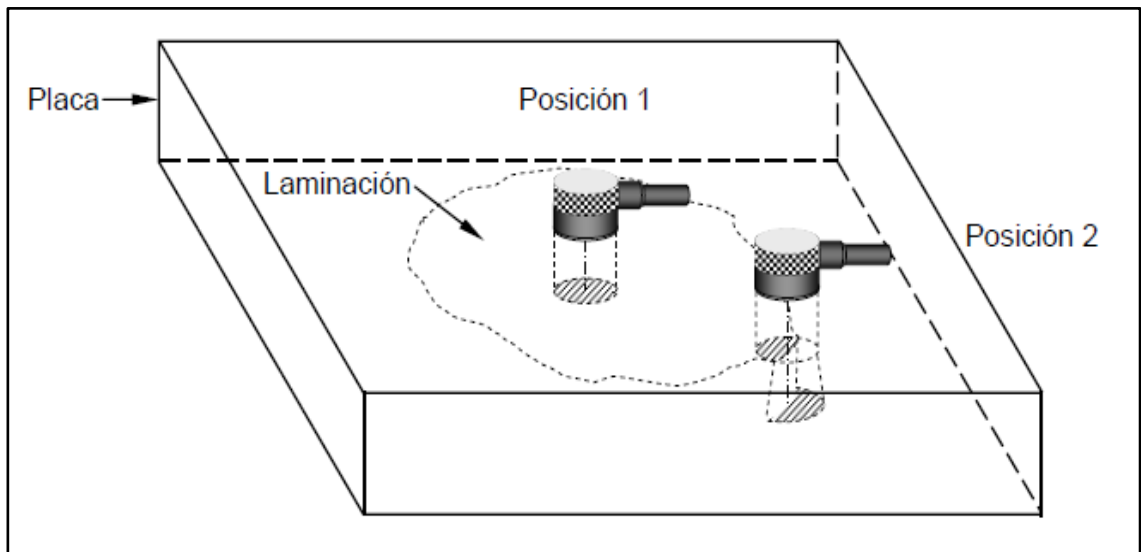


Figura N° 5.13 Método por caída de amplitud, para discontinuidades grandes.

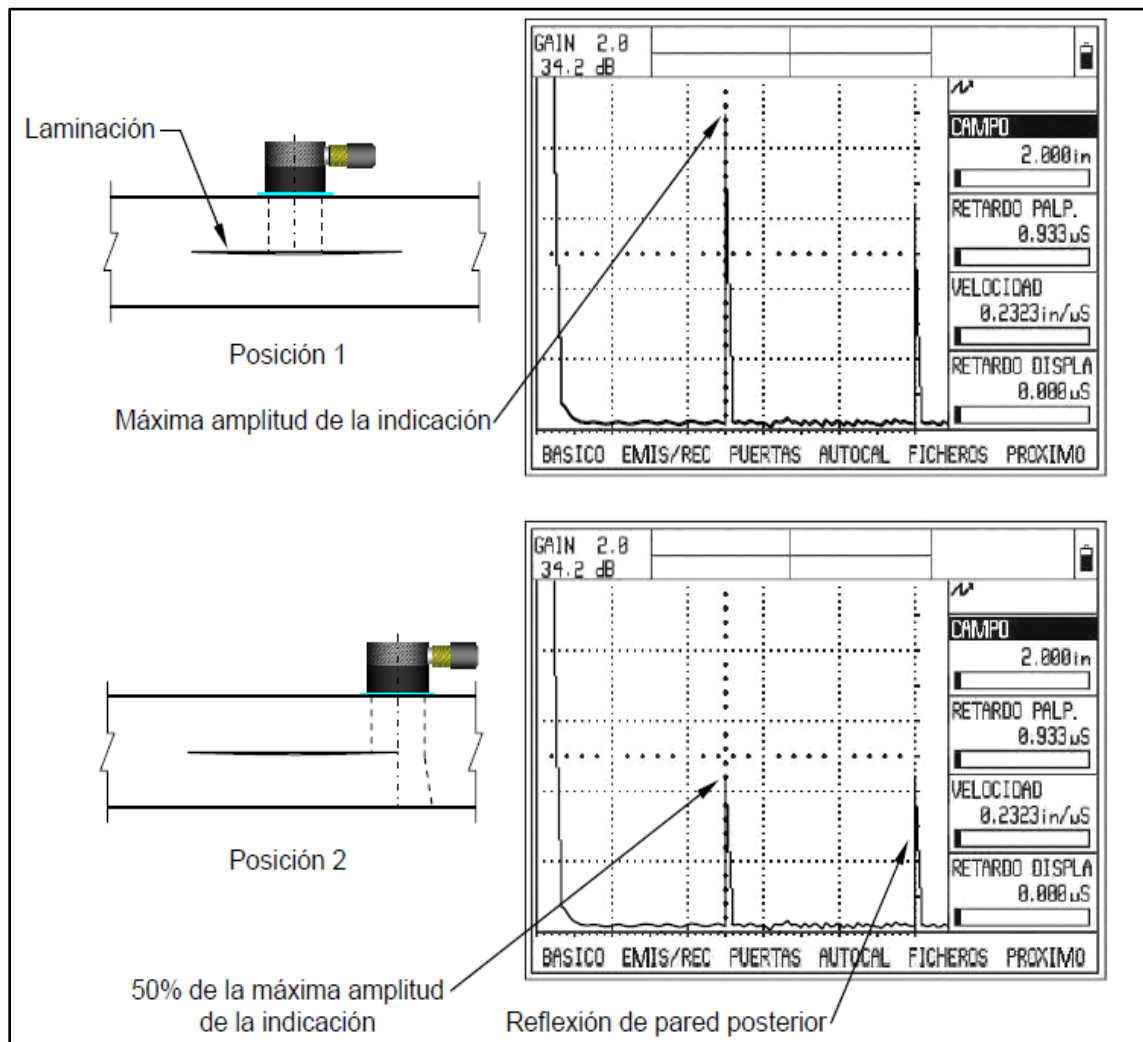


Figura N°5.14; Técnica de caída de 6 decibeles.

5.5 Kit educacional de Ensayos no destructivos

- Proveedor: Sonaspection.
- Rol: La empresa Sonaspection tiene como objetivos estratégicos ser un aporte real en la formación END o certificación, por ende es importante concebir que para satisfacer estos fines se requiere de objetivos tácticos que permitan cumplir de forma pertinente tal meta; en términos concretos Sonaspection ha fabricado miles de ejemplares defectuosos para la demostración, formación y

cualificación de los principales centros de rendimiento de todo el mundo. Sonaspection es el fabricante de más arraigo de ejemplares defectuosos a partir de 1980, y es la empresa pionera en la fabricación de defectos.

Estos ejemplares defectuosos de Sonaspection contienen defectos reales inducidas deliberadamente que están dimensionadas y situado con precisión.

Cada muestra se suministra con la documentación imprescindible que describe los tipos de defectos, tamaño y ubicación.

- Contacto:

Oficina Reino Unido.	Oficina de los Estados Unidos.
23 Ladies Walk Caton Road · Lancaster LA1 3NX · England Fono: 44 (0) 1524-34991 Fax: 44 (0) 1524-381488 Email: info@sonaspection.com	6851 Belt Road Concorde NC 28027 · USA Fono: 1-704-262-3384 Fax: 1-704-262-3387

- Productos: Set de espécimen defectuoso.

- Set estándar espécimen defectuoso.
- Muestra de encargo.
- Soldaduras disimiles.
- Defectos de forja y fundición.
- Bloque referencia para la industria de generación de energía.
- Bloques de referencia personalizados.
- Kit educacional END.

- Kit de ultrasonidos (KTCS86).

El Kit lo constituye una placa en T y 9 muestras que contienen una selección de los defectos que ocurre comúnmente como surfacebreaking (grieta en superficie) y defectos weldbody (cuerpo de soldadura); como puede apreciarse en la figura N°5.14.



Figura N°5.14 Muestra Kit educacional de ultrasonido.

Es imperativo dejar de manifiesto que el Kit educacional END esta manufacturado con el objetivo de ser una herramienta que contribuya en el desarrollo y profundización de competencias en torno a los ensayos no destructivos; desde una perspectiva práctica y didáctica, que complementándose con insumos teóricos permite facilitar la formación de futuros cuadros cualificados en pruebas no destructivas.

CAPITULO 6: PROCEDIMIENTO EN LA INSPECCIÓN DE SOLDADURA

Introducción

En este capítulo se mostraran los diferentes procedimientos de inspección de soldaduras mediante ultrasonido, utilizando algunas de las herramientas del software del equipo Epoch 1000i, las cuales se apoyaran con la norma AWS D1.1. Así también para esta parte será necesario calcular la zona de barrido para la inspección de las placas soldadas a tope, la cual depende del espesor de estas y el ángulo de incidencia del haz.

6.1 Marcado de la piezas unidas a tope

- Definición de las Zonas de Inspección.

Tanto la zona de barrido, como la ZAT (Zona Afectada Térmicamente) de la soldadura, se demarcan mediante la distancia superficial (SD), la cual depende del espesor de la placa ($e=10\text{ mm}$) y el ángulo de la zapata (ABWM-4T-70°).

$$SD = 2 \times e \times \tan \theta = 2 \times 10 \times \tan 68.5^\circ = 50.8\text{ mm}$$

$$\frac{SD}{2} = 25.4\text{ mm}$$

Observación: El ángulo nominal de la zapata angular es de 70°, pero el ángulo real de esta es 68.5°. La verificación del ángulo de la zapata se explicara más adelante.

- Eje X y Eje Y.

Los ejes serán marcados para diferenciar la cara de inspección de la placa, estos servirán para localizar la discontinuidad y medirla en longitud, el eje X será marcado en sentido paralelo al cordón de la soldadura, en este caso será la distancia $SD/2$ medida desde el eje de simetría de la soldadura. el eje Y será marcado para diferenciar la posición – o + del eje X y medir la distancia de la falla al punto cero del palpador (tanto el eje X y el eje Y sirven para marcar la falla en la placa).

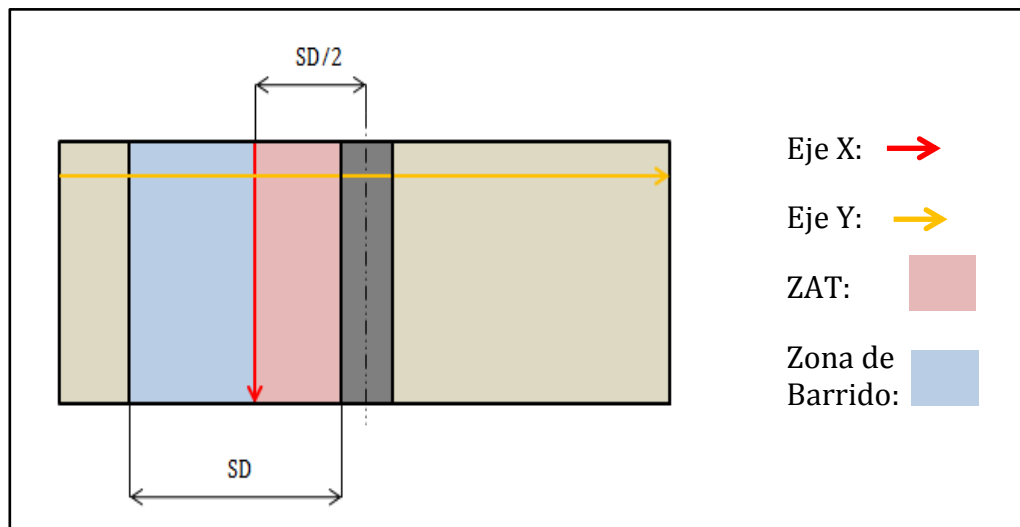


Figura N° 6.1 Marcado de la placa soldada a tope.

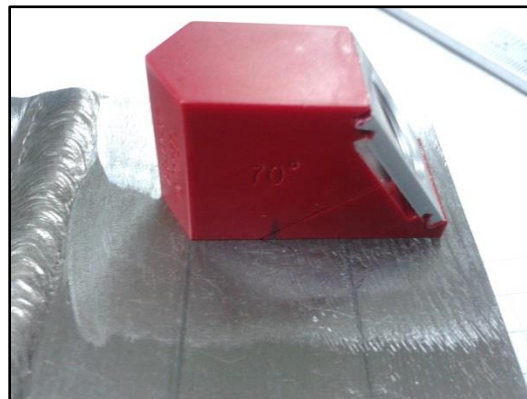


Figura N° 6.2 inspección Zona de Barrido.

6.2 Calibración AWS D1.1

Para esta calibración la cual consta de tres partes, se realiza bajo el alero de la norma AWS D1.1 para soldadura estructural, en la cual se ocupara el Bloque de calibración ASTM E 164 IIW serie #2443 12 (Olympus-TB1045-1), el cual nos servirá para la verificación del ángulo, la calibración de distancia y para la obtención del nivel de referencia “B”.

- Verificación del Ángulo.

Colocar el transductor de 70° como lo señala la figura N° 6.3 y con la ayuda de la tecla [PEAK MEM] se debe encontrar la amplitud máxima, a continuación inmovilice el palpador. La marca señalada por el palpador, en la cara lateral del bloque de calibración WII, es el ángulo real correspondiente a la zapata angular.

Por último se debe cambiar el ángulo (tecla [ANGLE]) de incidencia en el equipo por 68.5° en vez de 70°.

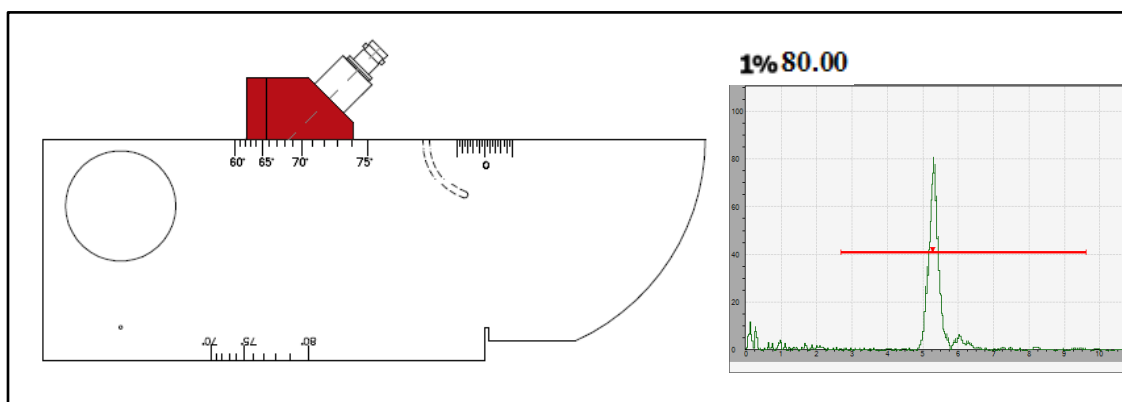


Figura N° 6.3. Como se observa el ángulo resultante del procedimiento es $\theta = 68.5^\circ$, este será usado para calcular SD .

- Calibración de distancia.

a. Revisar los siguientes parámetros:

- **1/5>[F1] Base** **>[P1] Velocidad = 3240 m/s**
 >[P3] Rango = 250 mm
- **1/5>[F2] Emisor** **>[P1] Modo PRF = Auto min.**
 >[P2] Energía = 100 V
 >[P3] Amort. = 50 Ω
 >[P4] Modo = Eco-Pulso
 >[P5] Emisor = Cuadrado
 >[P6] Frecuencia = 2.25 MHz
- **1/5>[F3] Receptor** **>[P1] Grupo filtro = Standard.**
 >[P2] Filtro = 1,5-8,5
 >[P3] Rectif. = Completa
 >[P4] Supres. = 0
- **1/5>[F4] Disparo** **>[P2] Espesor = 0 mm**

b. Con la tecla [ANGLE] se modifica el ángulo a 68.5° (debido a la verificación del ángulo).

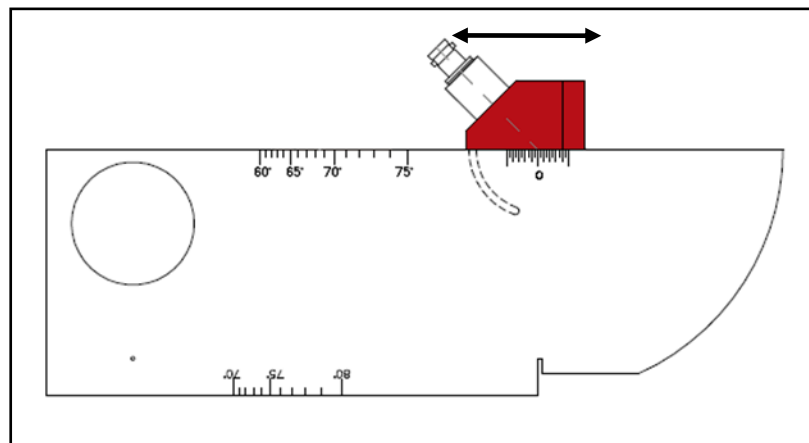


Figura N° 6.4 Posición de calibración.

- c. Colocar el palpador en la marca “0” del bloque de calibración (al realizar la unión del palpador con la zapata es importante aplicar una pequeña porción de gel acoplante). Mover el palpador en el punto “0” hacia delante y atrás, hasta que el eco alcance la amplitud máxima. Si la amplitud sobrepasa el 100% de la pantalla (ocupar la tecla rápida **[2NDF]+[GATE]**), se debe disminuir la ganancia, para que se puedan observar la máxima amplitud con notoriedad.
- d. Ubicar la Puerta 1 encima del peak de la señal mayor ocupando el botón (DA = 100 mm) **[GATE]**, y realizar un **Auto 80%** presionado las siguientes teclas **[2NDF]+[GATE]**.
- e. Ingresar a **1/5>[F5] Auto Cal.>[P3] CAL Cero**, se abrirá una ventana de dialogo en la cual se debe ingresar 100 mm, para confirmar apretar el botón **Continuar**.
- f. Luego posicionar la Puerta 1 con la tecla rápida **[GATE]** en la segunda señal la cual es más pequeña (DA = 225 mm) y realice un **Auto 80%**, presionado las siguientes teclas **[2NDF]+[GATE]**.
- g. Después ingresar a **1/5>[F5] Auto Cal.>[P2] CAL Velocidad**, se abrirá una ventana de dialogo donde debemos ingresar 225 mm. Para finalizar la calibración presione la tecla **Continuar**.

Observación: al terminar la calibración la marca del bloque patrón debería coincidir con la marca de la zapata angular, en caso contrario se deberá marcar la zapata con la indicación del bloque patrón WII como se muestra en la Figura N° 6.5.

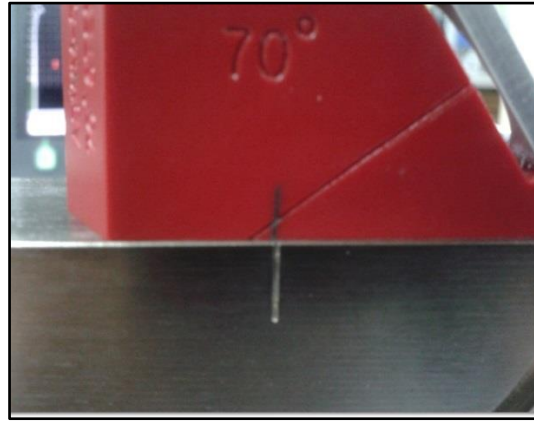


Figura N° 6.5 Debido a que no coincide la marca de la zapata (punto **Cero** de la zapata) es necesario marcarla.

- Calibración de la sensibilidad.

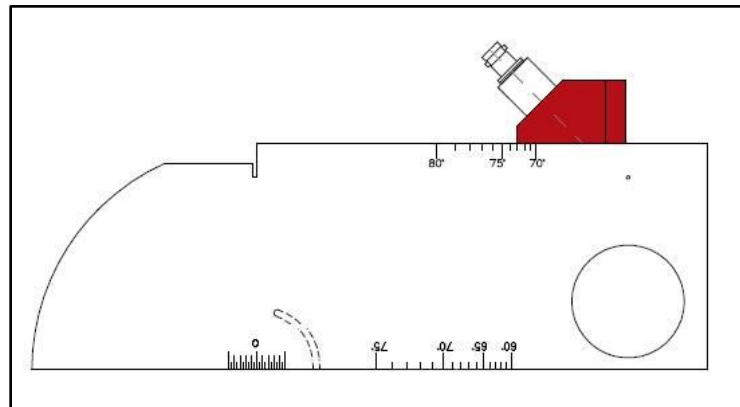


Figura N° 6.6 Posición para calibrar la sensibilidad.

- Como se observa en la figura N° 6.6, se debe colocar la zapata para detectar el barreno que se encuentra aproximadamente a 15 mm de profundidad. una vez encontrado el máximo peak (Ocupar tecla rápida [PEAK MEAN]).
- Una vez encontrado el peak mayor, pulsar las teclas **[2NDF]+[dB](REF dB)** para bloquear el nivel de ganancia 67.3 dB el cual corresponde al valor “B” para la norma AWS.

6.3 Calibración del transductor recto

A continuación se calibrará el palpador recto de 5 MHz para inspeccionar la Zona Afectada térmicamente (ZAT).

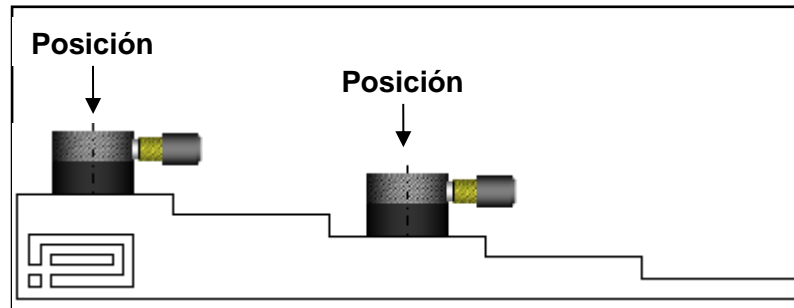


Figura N° 6.7. Bloque patrón escalonado 2214M SAE81018)

a. Revisar los siguientes parámetros:

- 1/5>[F1] Base >[P1] Velocidad = 5900 m/s
>[P3] Rango = 25 mm
- 1/5>[F2] Emisor >[P1] Modo PRF = Auto min.
>[P2] Energía = 100 V
>[P3] Amort. = 50 Ω
>[P4] Modo = Eco-Pulso
>[P5] Emisor = Cuadrado
>[P6] Frecuencia = 5 MHz
- 1/5>[F3] Receptor >[P1] Grupo filtro = Standard.
>[P2] Filtro = 1,5-8,5
>[P3] Rectif. = Completa
>[P4] Supres. = 0
- 1/5>[F4] Disparo >[P4] CSC = Desactivar

- b. Después de ajustar los parámetros anteriores se debe seleccionar la siguiente función **1/5>Auto Cal. [F5]**, en la cual se procederá a calibrar con el bloque escalonado el cual tiene las siguientes dimensiones; 2.5 mm, 5 mm, 7.5 mm, 10 mm y 12.5 mm.
- c. Primero colocar gel acoplante en la **Posición 1** donde el espesor es de 7.5 mm (mirar figura N° 6.7), después ubicar el palpador en esa posición.
- d. A continuación se ubicara la Puerta 1 sobre la primera señal (DA = 7.5 mm) con la tecla rápida **[GATE]**, seguidamente se realizara un auto 80% presionado las siguientes teclas **[2NDF]+[GATE](Auto XX%)**.
- e. Ingresar a **1/5>[F5] Auto Cal.>[P3] CAL Cero**, se abrirá una ventana de dialogo en la cual se debe ingresar 7.5 mm, para confirmar apretar el botón Continuar.
- f. Luego se procede de la misma forma pero esta vez en la **Posición 2**, donde el espesor es de 12.5 mm.
- g. A continuación se ubicara la Puerta 1 sobre la primera señal (DA = 12.5 mm) con la tecla rápida **[GATE]**, seguidamente se realizara un auto 80% presionado las siguientes teclas **[2NDF]+[GATE](Auto XX%)**.
- h. Ingresar a **1/5>[F5] Auto Cal.>[P3] CAL Cero**, ingresar 12.5 mm y después con la tecla **Continuar**.

6.4 Inspección UT

Una vez realizadas las marcas de las placas y las calibraciones correspondientes se procede a la inspección

- Zona de Barrido

Para la inspección es necesario mover el palpador en la zona de barrido de la forma en que se especifica en la figura N° 5.10, al encontrar la señal en pantalla, se debe colocar la Puerta 1 en el peak con la tecla rápida **[GATE]**, después ocupar

auto 80% **[2NDF]+[GATE](Auto XX%)** y por último se encontrara la máxima amplitud del eco, para esto se ocupara **[PEAK MEAN]**, al alcanzar el 80% de altitud de la panta. Los decibeleles corresponderán al nivel de indicación “A”.



Figura N° 6.8 Inspección placa N° 1

- Zona Afectada Térmicamente

Para realizar una inspección completa se debe inspeccionar tanto la zona de barrido como la ZAT, esta inspección como se verá más adelante no arrojo ninguna discontinuidad, pero se realiza ya que puede haber una mala manipulación del material, lo cual pueden provocar discontinuidades que no son detectables para el haz angular.

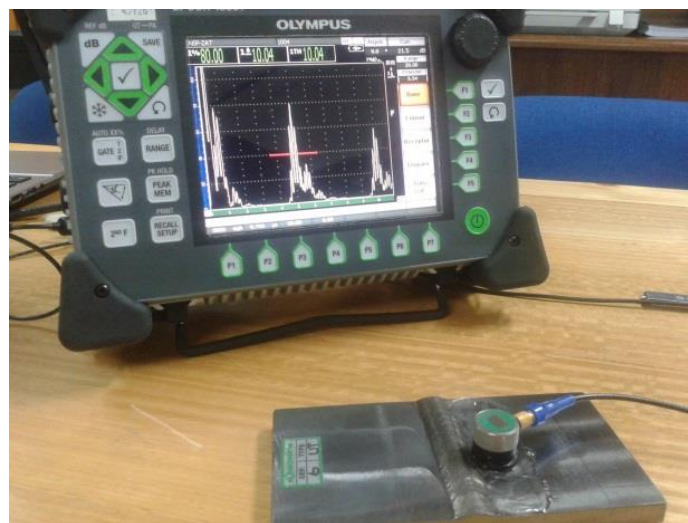


Figura N° 6.9 Inspección zona ZAT

- Caracterización de discontinuidad

Para caracterizar se ocupara la fórmula de la norma AWS D1.1, la cual consta de tablas para ver la criticidad de las discontinuidades además de ocupar la técnica de 6 dB para detectar el largo de las discontinuidades. A continuación se procederá explicar la ecuación para obtener el valor “D”.

$$A - B - C = D$$

Dónde:

$$C = 0,6 \cdot (S - 25) \cdot 0,08$$

$$S = \frac{T}{\cos \theta}$$

De la cual C depende de S y a su vez S depende del espesor (T=10mm) y el ángulo del haz ($\theta=68.5^\circ$), además como ya tenemos la calibración de la sensibilidad la única variable en estas inspecciones serán “A” ya que para este caso B=67.3 dB, y C se calculara a continuación.

$$S = \frac{T}{\cos \theta} = \frac{10}{\cos 68.5^\circ} = 27.3$$

$$C = -0.6 \cdot (S - 25) \cdot 0.08 = -0.6 \cdot (27.3 - 25) \cdot 0.08 = -0.11$$

Por lo tanto la fórmula quedaría como sigue:

$$A - 67.3 + 0.11 = D$$

Al obtener D se puede ingresar a la Tabla Nº 6.1 con los valores del ángulo y el espesor de la soldadura.

Tabla N° 6.1 Criterio AWS D1.1

Criterio de Aceptación-Rechazo para Ultrasonido (Conexiones No Tubulares Estáticamente Cargadas) (ver 6.13.1)											
Severidad	Espesor de la Soldadura ^a en pulgadas [mm] y Ángulo del Palpador										
	5/16 [8.0] a 3/4 [20]	> 3/4 [20] a 1-1/2 [38]	> 1-1/2 a 2-1/2 [38–65]			> 2-1/2 a 4 [65–100]			> 4 a 8 [100–200]		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°
Clase A	+5 y menor	+2 y menor	-2 y menor	+1 y menor	+3 y menor	-5 y menor	-2 y menor	0 y menor	-7 y menor	-4 y menor	-1 y menor
Clase B	+6	+3	-1 0	+2 +3	+4 +5	-4 -3	-1 0	+1 +2	-6 -5	-3 -2	0 +1
Clase C	+7	+4	+1 +2	+4 +5	+6 +7	-2 a +2	+1 +2	+3 +4	-4 a +2	-1 a +2	+2 +3
Clase D	+8 y mayor	+5 y mayor	+3 y mayor	+6 y mayor	+8 y mayor	+3 y mayor	+3 y mayor	+5 y mayor	+3 y mayor	+3 y mayor	+4 y mayor
El espesor de la soldadura en juntas a tope, debe ser el espesor nominal del elemento más delgado de dos partes que están siendo unidas.											

A continuación se presentan la caracterización de las discontinuidades:

Clase A (Discontinuidades Grandes): Cualquier indicación considerada dentro de esta categoría, debe ser rechazada (sin importar su longitud).

Clase B (Discontinuidades Medias): Cualquier indicación considerada dentro de esta categoría, debe ser rechazada si tiene una longitud mayor de 3/4 de pulgada [20 mm].

Clase C (Discontinuidades Pequeñas): Cualquier indicación considerada dentro de esta categoría, debe ser rechazada si tiene una longitud mayor de 2 pulgadas [50 mm].

Clase D (Discontinuidades Menores): Cualquier indicación considerada dentro de esta categoría, debe ser aceptada sin importar su longitud o localización en la soldadura

6.5 Inspección PA

El método phased array será usado como material de apoyo para la inspección gracias a sus diferentes herramientas las cuales nos servirán para encontrar y dimensionar el área que afecta la grieta o porosidad. Dentro de las utilidades del PA están: la activación de las piernas, los diferentes tipos de cursores y las máscaras, las cuales se explicarán a continuación.

6.5.1 Piernas modo PA

Las piernas son las proyecciones del haz angular, las cuales salen desde el palpador hasta el rebote por el espesor de la placa, como se ve en la figura N° 6.10.

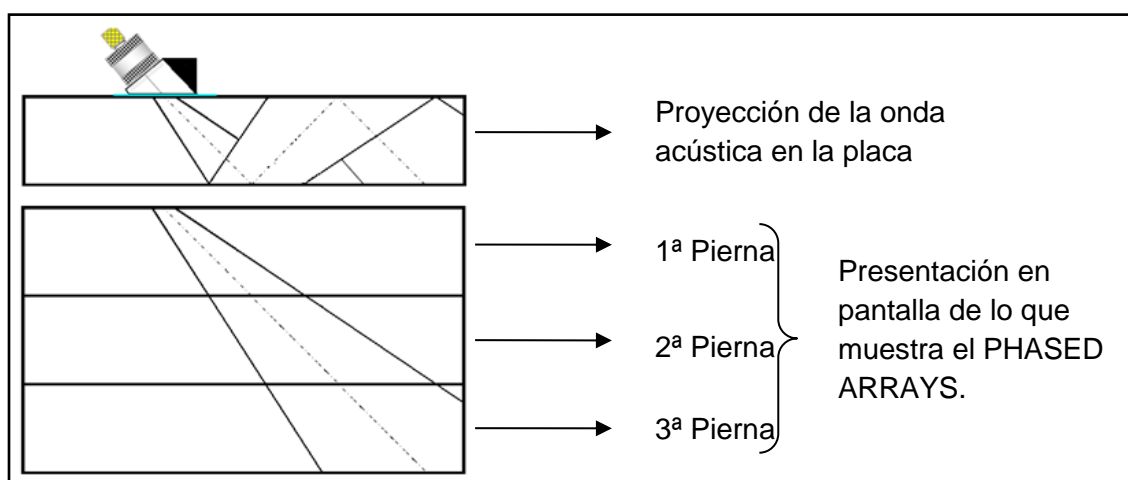


Figura N° 6.10. Proyecciones del haz angular.

Para activarlas es necesario en el cuadro de diálogo del haz, adicionarle el espesor de la placa en inspección, lo cual se debe hacer de la siguiente manera: **1/5>[F2] Palpado PA>[P1] Haz**, para este caso el esp. = 10 mm.



Figura N° 6.11 Cuadro de diálogo para activar las piernas mediante el parámetro Esp.

6.5.2 Cursores PA

El equipo Epoch 1000i cuenta con dos grupos de cursores además del cursor del central line (CL Cursor). Los cursores tanto Y1, Y2, X1 y X2, estos cursores aparecen en el S-scan cuando se ocupa la tecla rápida [FREEZE] y sirven para delimitar el área de referencia, también permiten las mediciones de los componentes de la imagen. El grupo de X ($X_1 - X_2$) delimita en el sentido horizontal de la pantalla del equipo y el grupo Y ($Y_1 - Y_2$) delimita en el sentido vertical.

El CL Cursor es una línea que demarca el centro de la soldadura, más bien demarca la distancia entre el palpador y la línea central de la soldadura o unión de las placas para el caso de junta a tope, también sirven para posicionar las máscaras de las soldaduras.

Para activar los Cursores tanto el grupo de X y el de Y se procede en el siguiente parámetro: **1/5>[F5] Cursores PA>[P1] Cursors = Activar (observar Figura N° 6.8)**

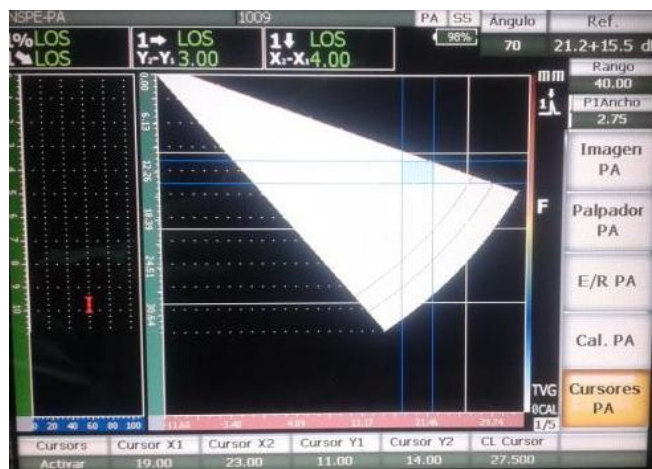


Figura Nº 6.12 Cursores

6.5.3 Máscaras modo PA

Dentro de la gama de herramientas del Epoch 1000i nos podemos encontrar con las máscaras, las cuales nos dan una mejor perspectiva de en qué lugar está la falla o discontinuidad, dando perfiles de los tipos de soldadura ya sean en V, doble V. Para activarla se debe ingresar a **3/5>[F1] Ver el ajuste>[P4] Máscaras**, donde se abrirá el siguiente cuadro.



Figura Nº 6.13 Cuadro para activar y elegir los tipos de mascarillas a usar.

La cual se seleccionara usando la perilla Weld Overlay, después se presiona **Configurar [P1]** lo cual lleva a otro cuadro.

Overlay Name: PLACA-13	
Tipo	Double V
Symmetry	Symmetric
Weld Thickness	10.00 mm
Top Bevel Height (h1)	4.00 mm
Root Gap Height (h2)	2.00 mm
Bottom Bevel Height (h3)	4.00 mm
Root Gap Width (w2)	2.00 mm
Top Bevel Angle (α)	41.187 °
Top Bevel Width (w1)	4.50 mm
Bottom Bevel Angle (β)	41.185 °
Bottom Bevel Width (w3)	4.50 mm

Diagrama de la careta de soldadura:

El diagrama muestra una careta de soldadura de tipo 'Double V' simétrica. Las dimensiones indicadas son: $w1$ (anchura superior), $w2$ (anchura de la raíz), $w3$ (anchura inferior), $h1$ (altura superior), $h2$ (altura de la raíz), $h3$ (altura inferior), α (ángulo superior) y β (ángulo inferior).

Botones: Añadir, Nombre, Suprimir

Figura Nº 6.14 Cuadro para diseñar las máscaras para la inspección

Al abrir este cuadro podemos observar la geometría de la careta a escoger o añadir, además de los valores los cuales se pueden modificar según se necesite. Para poder crear una máscara se debe presionar el botón **[P1] Añadir**, y para nombrarla **[P2] Nombre**, así también para borrar las creadas con **[P3] Suprimir**.

En si el Phased Array (PA) o la inspección S-scan se realizó con el objetivo de complementar la inspección AWS D1.1 en A-scan, ya que el PA nos entrega una información más gráfica, la cual nos permite visualizar y dimensionar las discontinuidades.

CAPITULO 7: RESULTADOS

7.1 Inspección modo convencional UT y evaluación de piezas

7.1.1 Información de la inspección

- Norma aplicada: El Código AWS para Estructuras Soldadas de Acero, ANSI / AWS D1.1.
- Información de Equipamiento: Olympus-NDT Panametrics-NDT
- Modelo: EPOCH 1000i
- Serie: 120186412
- Rango Frecuencia: 0.1 - 30 MHz.

Tabla N° Entrega información de las herramientas necesarias en función de las Zonas de inspección.

	Zona de Barrido	Zona ZAT
Bloque de referencia	-Block de calibración ASTM E 164 IIW serie #2443 12 - Olympus- TB1045-1.	-Escalonado 2214M (SAE-1018).
Transductor	Marca: Olympus Modelo: A540S-SM Frecuencia: 2.25 MHz Angulo: 70°	Marca: Olympus Modelo: A109S Frecuencia: 5MHz
Zapata	Marca: Olympus Modelo: ABWM-5T-70	

- Inspección: La inspección se efectuó de acuerdo al procedimiento descrito anteriormente, basado en la norma AWS D1.1.

7.2 Información de la inspección

7.2.1 Inspección de Kit educacional

Pieza N°1

Material: acero.

Dimensiones: 144 x 74.4 x 10 (mm)

Acabado superficial: 100%

Defecto: Grieta.

1. Análisis Zona ZAT: Éste se realizó conforme al procedimiento descrito anteriormente, de acuerdo con los resultados que se aprecian en la figura N°7.1, solamente se obtiene un pulso-eco referente al espesor de la placa. Bajo esta circunstancia se concluye que no existe grieta en esta zona.

- Parámetros.

Tabla N° 7.1. Parámetros de inspección zona ZAT.

Ganancia : 36.3 dB
Modo: Pulso-Eco
Velocidad: 5926 m/s
Angulo: 0°
Filtro: 1.85-8.85
Espesor: 9.64 mm
Frecuencia: 5 MHz

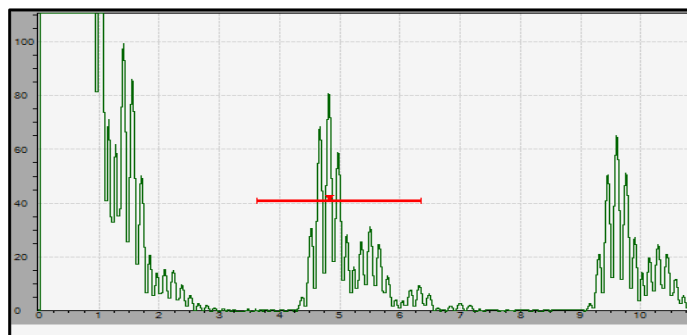


Figura N°7.1. Pulso-Eco relativo al espesor de la placa inspeccionada.

2. Análisis Zona de barrido.

- Registro de parámetros.

Tabla N°7.2 Muestra parámetros de inspección.

Retardo: 0.00		Rango: 80.00
Gan.: 67.3-4.8 dB	PRF: 475 Hz	Modo: Pulso-Eco
Velocidad: 3245 m/s	Frec.: 2.27 MHz	Filtro: 1.5-8.5
Cero: 15.920 μ s	Energía: 100 V	Rectif.: Completa
Angulo: 68.5°	Amort.: 50 Ω	Espesor: 0.00
Supres.: 0	Emisor: Cuadrados	
1% 80.00	1↓ 19.90	1→ 50.51
1	1↘ 54.28	
	Inicio: 26.16	Ancho: 39.15
		Nivel: 40%

- Observación: El nivel de la indicación de discontinuidad (A) corresponde al peak más elevado ilustrado en la figura N°7.2.

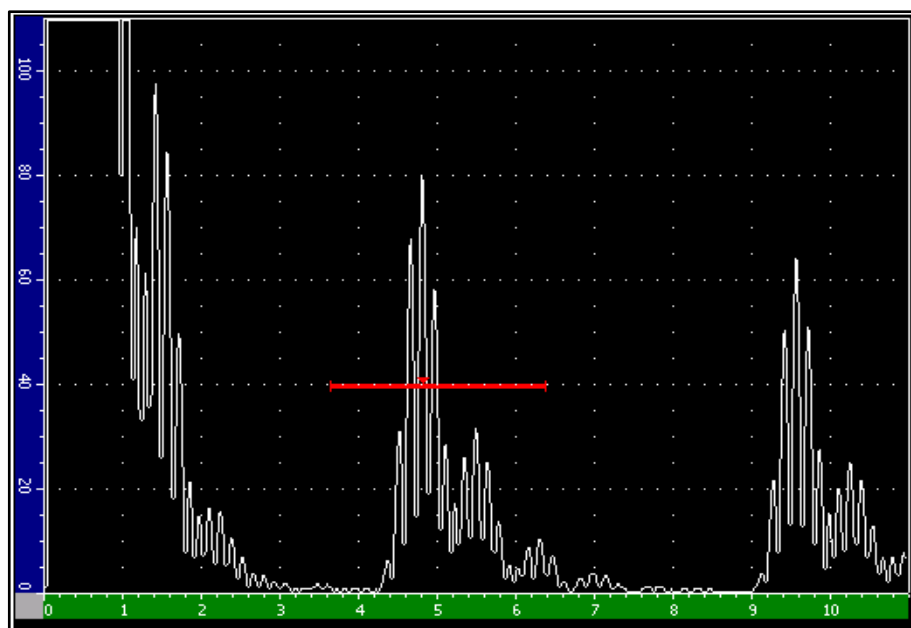


Figura N°7.2. Nivel de indicación de discontinuidad (A).

- Resultados.

a) Largo de la discontinuidad aplicando la técnica de los 6 decibeles.

$$L = 24.3mm$$

b) Clasificación de la indicación de acuerdo a criterios de aceptación de la norma AWS D1.1.

$$A = 62.65(dB)$$

$$C = -0.11(dB) \Rightarrow D = 62.65 - 67.3 + 0.11 = -4.54(dB)$$

$$B = 67.3(dB)$$

Por lo tanto, en función de la tabla de criterios de aceptación se tiene que ésta corresponde a una discontinuidad clase A, es decir, tipo grande; por ende es rechazada de manera inmediata.

3. Ficha técnica.

Título: Ensayo por ultrasonido		EUT-01													
Cliente: Depto. Mecánica	Contrato:	Fecha: 4/10/2013													
Proyecto: Inspección de placas soldadas a tope		Página:													
Descripción de la pieza: Placa soldada a tope, cuya discontinuidad es una grieta.		Material: Acero													
Espesor: 10 mm	Sección:	ANSI/AWS:													
Tipo de junta: A tope	Proceso de soldadura:	Plano de ref:													
Tipo de instrumento: Equipo de ultrasonido	Bloque de calibración: Block de calibración ASTM E 164 IIW serie #2443 12- Escalonado 2214M (SAE-1018).	Procedimiento de ref: Procedimiento AWS D1.1													
Método de prueba: <input checked="" type="checkbox"/> Haz Recto <input checked="" type="checkbox"/> Haz Angular		Acoplante: Acoplante ultrasonic 12 oz NSN 680-01-157-4348													
Método de preparación: <input type="checkbox"/> Esmerilada <input checked="" type="checkbox"/> Mecanizada <input type="checkbox"/> Cepillada															
Rango de barrido (mm): 27.4		Frecuencia de prueba: 2.25 MHz - Haz angular 5 MHz-Haz recto													
Palpador: A540S-SM – Haz angular; A109S – Haz recto															
Item (N° de placa)	Junta	Angulo del Haz	Lado del ensayo	Decibeles (dB)				Discontinuidad			Distancia		Clasificación	Resultado de ensayo	Observación
				A	B	C	D	Recorrido de haz sónico (DA)	Longitud (mm)	Profundidad	Desde x	Desde y			
01	JT	68.5	a	62.6	67.3	-0.1	-4.5	54.2	24.3	19.9	17.3	18.3	A	Rechazado	
Comentarios:															
Resultado: <input type="checkbox"/> Aprobado <input checked="" type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Recomendación examen complementario															
Inspector				Gestión de calidad				Cliente							
_____ Nombre/Firma				_____ Nombre/Firma				_____ Nombre/Firma							

Pieza N°2

Material: acero.

Dimensiones: 144 x 74.4 x 10 (mm)

Acabado superficial: 100%

Defecto: Grieta en raíz de soldadura.

1. Análisis Zona ZAT: Según la imagen N°7.3 y datos obtenidos se concluye que no existe grieta en la zona adyacente a la soldadura.
- Parámetros de inspección zona ZAT.

Tabla N°7.3. Parámetros.

Ganancia : 23.8 dB
Modo: Pulso-Eco
Velocidad: 5926 m/s
Angulo: 0°
Filtro: 1.85-8.85
Espesor: 9.70 mm
Frecuencia: 5 MHz

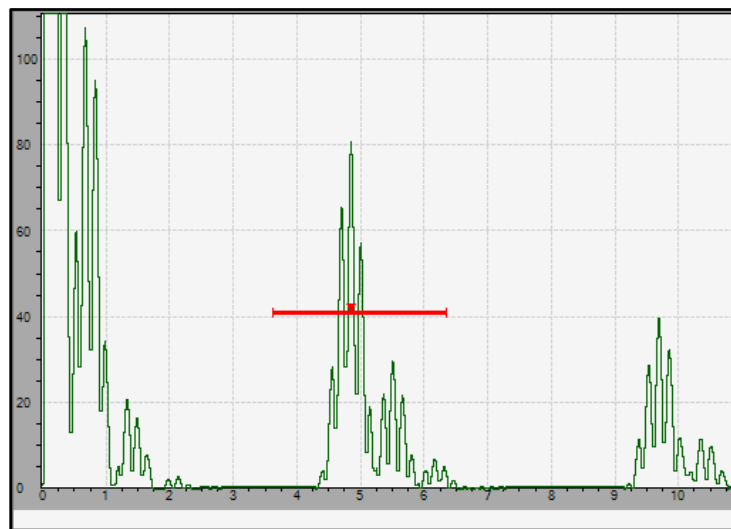


Figura N°7.3. Pulso-Eco correspondiente al espesor de la placa.

2. Análisis Zona de barrido.

- Registro de parámetros.

Tabla N°7.4. Parámetros de inspección.

Retardo: 0.00		Rango: 80.00	
Gan.: 67.3-13 dB		Modo: Pulso-Eco	
Velocidad: 3245 m/s		Filtro: 1.5-8.5	
Cero: 15.920 μ s		Rectif.: Completa	
Angulo: 68.5°		Espesor: 0.00	
Supres.: 0		Emisor: Cuadrados	
1% 80.00	1↓ 12.02	1→ 30.52	1↘ 32.80
1↑	Inicio: 26.16	Ancho: 39.15	Nivel: 40%

- Observación: El nivel de indicación de discontinuidad (A) corresponde al peak más elevado ilustrado en la figura N°7.4.

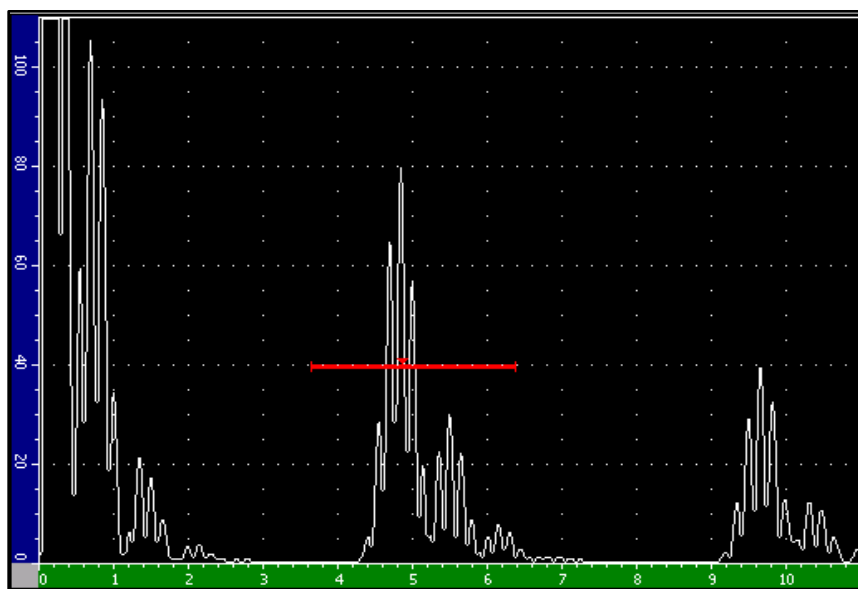


Figura N°7.4. Nivel de indicación de discontinuidad (A).

- Resultados.

a) Largo de la discontinuidad aplicando la técnica de los 6 decibeles.

$$L = 24.9(mm)$$

b) Clasificación de la indicación de acuerdo a criterios de aceptación de la norma AWS D1.1.

$$A = 54.3(dB)$$

$$C = -0.11(dB) \Rightarrow D = 54.3 - 67.3 + 0.11 = -12.89(dB)$$

$$B = 67.3(dB)$$

Por lo tanto, en función de la tabla de criterios de aceptación se tiene que ésta corresponde a una discontinuidad clase A, es decir, tipo grande; por ende es rechazada de manera inmediata.

3. Ficha técnica.

Título: Ensayo por ultrasonido		EUT-01													
Cliente: Depto. Mecánica	Contrato:	Fecha: 4/10/2013													
Proyecto: Inspección de placas soldadas a tope		Página:													
Descripción de la pieza: Placa soldada a tope, con una grieta localizada en la raíz de la soldadura.		Material: Acero													
Espesor: 10 mm	Sección:	ANSI/AWS:													
Tipo de junta: A tope	Proceso de soldadura:	Plano de ref:													
Tipo de instrumento: Equipo de ultrasonido	Bloque de calibración: Block de calibración ASTM E 164 IIV serie #2443 12- Escalonado 2214M (SAE-1018).	Procedimiento de ref: Procedimiento AWS D1.1													
Método de prueba: <input checked="" type="checkbox"/> Haz Recto <input checked="" type="checkbox"/> Haz Angular		Acoplante: Acoplante ultrasonic 12 oz NSN 680-01-157-4348													
Método de preparación: <input type="checkbox"/> Esmerilada <input checked="" type="checkbox"/> Mecanizada <input type="checkbox"/> Cepillada															
Rango de barrido (mm): 27.4		Frecuencia de prueba: 2.25 MHz - Haz angular 5 MHz-Haz recto													
Palpador: A540S-SM – Haz angular; A109S – Haz recto															
Item (N° de placa)	Junta	Angulo del Haz	Lado del ensayo	Decibeles (dB)				Discontinuidad					Resultado de ensayo	Observación	
				A	B	C	D	Recorrido de haz sónico (DA)	Longitud (mm)	Profundidad	Distancia				Clasificación
				Nivel de indicación	Nivel de referencia	Factor de atenuación	Rango de indicación				Desde x	Desde y			
01	JT	68.5	a	54.3	67.3	-0.1	-12.8	32.8	24.9	12.0	9.6	27.5	A	Rechazado	
Comentarios:															
Resultado: <input type="checkbox"/> Aprobado <input checked="" type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Recomendación examen complementario															
Inspector				Gestión de calidad				Cliente							
_____ Nombre/Firma				_____ Nombre/Firma				_____ Nombre/Firma							

Pieza N°5

Material: acero.

Dimensiones: 145.4 x 74.6 x 10 (mm)

Acabado superficial: 100%

Defecto: Grieta en línea central del cuerpo de la soldadura.

1. Análisis Zona ZAT: Conforme al procedimiento descrito anteriormente, de acuerdo con los resultados que se aprecian en la figura N°7.5, solamente se obtiene un pulso-eco referente al espesor de la placa. Por ende se concluye que no existe grieta en esta zona.

- Parámetros inspección zona ZAT.

Tabla N°7.5. Parámetros.

Ganancia : 26.5 dB
Modo: Pulso-Eco
Velocidad: 5926 m/s
Angulo: 0°
Filtro: 1.85-8.85
Espesor: 9.49 mm
Frecuencia: 5 MHz

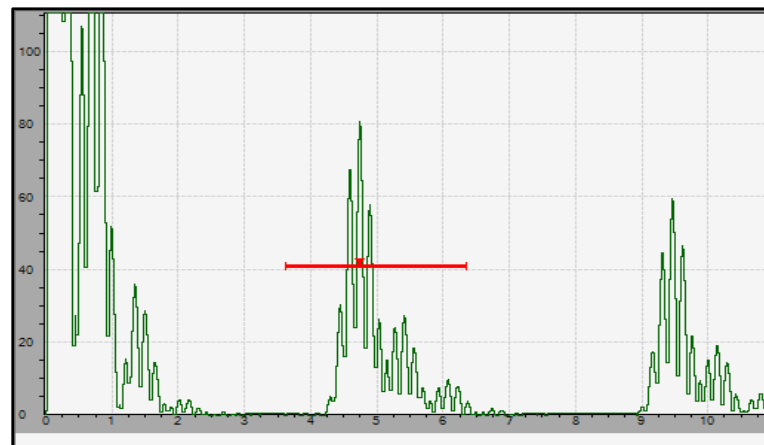


Figura N°7.5. Pulso-Eco correspondiente al espesor de la placa.

2. Análisis Zona de barrido.

- Registro de parámetros.

Tabla N°7.6. Parámetros de inspección.

Retardo: 0.00		Rango: 80.00	
Gan.: 67.3-6 dB		Modo: Pulso-Eco	
Velocidad: 3245 m/s		Filtro: 1.5-8.5	
Cero: 15.920 μ s		Rectif.: Completa	
Angulo: 68.5°		Espesor: 0.00	
Supres.: 0		Emisor: Cuadrados	
1% 80.00	1↓ 18.34	1→ 46.55	1↘ 50.04
1↑	Inicio: 26.16	Ancho: 39.15	Nivel: 40%

- Observación: El nivel de indicación de discontinuidad (A) corresponde al peak más elevado ilustrado en la figura N°7.6.

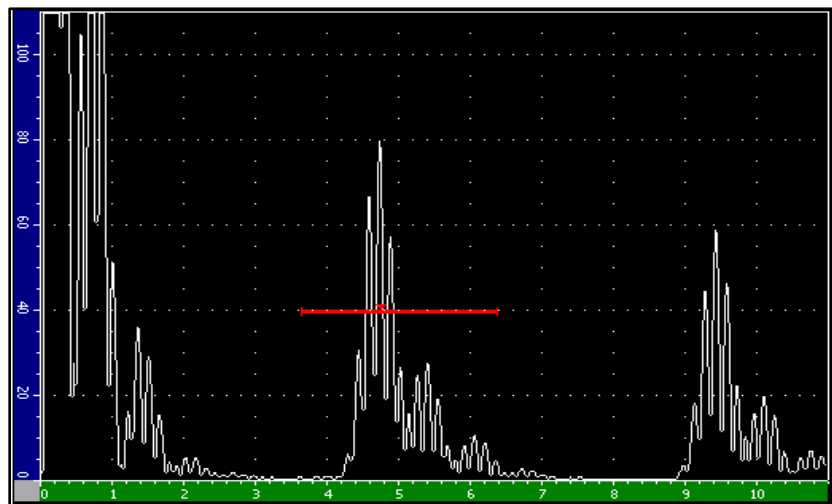


Figura N°7.6. Nivel de indicación de discontinuidad (A).

- Resultados.

a) Largo de la discontinuidad aplicando la técnica de los 6 decibels.

$$L = 25.3(mm)$$

b) Clasificación de la indicación de acuerdo a criterios de aceptación de la norma AWS D1.1.

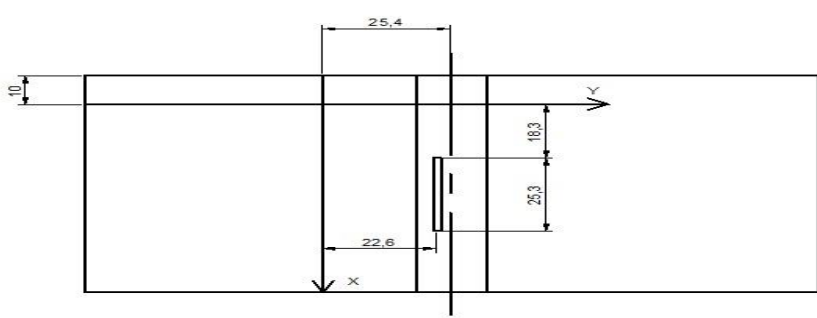
$$A = 61.3(dB)$$

$$C = -0.11(dB) \Rightarrow D = 61.3 - 67.3 + 0.11 = -5.89(dB)$$

$$B = 67.3(dB)$$

Por ende, según la tabla de criterios de aceptación se tiene que ésta corresponde a una discontinuidad clase A, es decir, tipo grande; lo que implica que es rechazada de manera inmediata.

3. Ficha técnica.

Título: Ensayo por ultrasonido		EUT-01													
Cliente: Depto. Mecánica	Contrato:	Fecha: 4/10/2013													
Proyecto: Inspección de placas soldadas a tope		Página:													
Descripción de la pieza: Placa soldada a tope con grieta localizada en línea central del cuerpo de la soldadura.		Material: Acero													
Espesor: 10 mm	Sección:	ANSI/AWS:													
Tipo de junta: A tope	Proceso de soldadura:	Plano de ref:													
Tipo de instrumento: Equipo de ultrasonido	Bloque de calibración: Block de calibración ASTM E 164 IIW serie #2443 12- Escalonado 2214M (SAE-1018).	Procedimiento de ref: Procedimiento AWS D1.1													
Método de prueba: <input checked="" type="checkbox"/> Haz Recto <input checked="" type="checkbox"/> Haz Angular		Acoplante: Acoplante ultrasonic 12 oz NSN 680-01-157-4348													
Método de preparación: <input type="checkbox"/> Esmerilada <input checked="" type="checkbox"/> Mecanizada <input type="checkbox"/> Cepillada															
Rango de barrido (mm): 27.4		Frecuencia de prueba: 2.25 MHz - Haz angular 5 MHz-Haz recto													
															
Palpador: A540S-SM – Haz angular; A109S – Haz recto															
Item (N° de placa)	Junta	Angulo del Haz	Lado del ensayo	Decibeles (dB)				Discontinuidad					Resultado de ensayo	Observación	
				A	B	C	D	Recorrido de haz sónico (DA)	Longitud (mm)	Profundidad	Distancia				Clasificación
				Nivel de indicación	Nivel de referencia	Factor de atenuación	Rango de indicación				Desde x	Desde y			
01	JT	68.5	a	61.3	67.3	-0.1	-5.8	50.0	25.3	18.3	18.3	22.6	A	Rechazado	
Comentarios:															
Resultado: <input type="checkbox"/> Aprobado <input checked="" type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Recomendación examen complementario															
Inspector				Gestión de calidad				Cliente							
_____ Nombre/Firma				_____ Nombre/Firma				_____ Nombre/Firma							

Pieza N°6

Material: acero

Dimensiones: 145 x 75.7 x 10 (mm)

Acabado superficial: 100%

Defecto: Porosidad en cuerpo de soldadura

1. Análisis Zona ZAT: Conforme al procedimiento descrito anteriormente, de acuerdo con los resultados que se esbozan en la figura N°7.7 y datos, se obtiene un pulso-eco referente al espesor de la placa. Por ende se concluye que no existe porosidad en esta zona.
- Parámetros inspección zona ZAT.

Tabla N°7.7. Parámetros.

Ganancia : 21.5 dB
Modo: Pulso-Eco
Velocidad: 5926 m/s
Angulo: 0°
Filtro: 1.85-8.85
Espesor: 10.04 mm
Frecuencia: 5 MHz

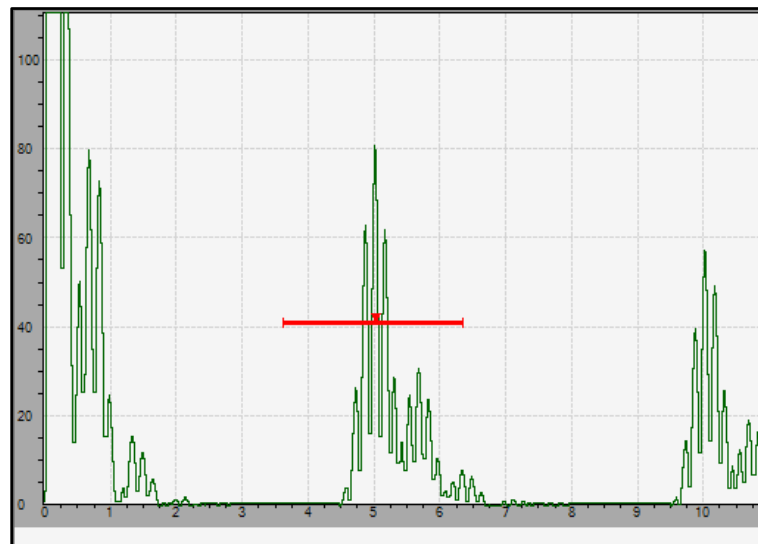


Figura N°7.7. Pulso-Eco correspondiente al espesor de la placa.

2. Análisis Zona de barrido.

- Registro de parámetros.

Tabla N°7.8. Parámetros de inspección.

Retardo: 0.00		Rango: 80.00	
Gan.: 67.3+8.2 dB		PRF: 475 Hz	
Velocidad: 3245 m/s		Modo: Pulso-Eco	
Frec.: 2.27 MHz		Filtro: 1.5-8.5	
Cero: 15.920 μ s		Energía: 100 V	
Rectif.: Completa		Espesor: 0.00	
Angulo: 68.5°		Amort.: 50 Ω	
Supres.: 0		Emisor: Cuadrados	
1% 80.50	1↓ 17.83	1→ 45.26	1↘ 48.65
1↑	Inicio: 33.50	Ancho: 56.35	Nivel: 40%

- Observación: El nivel de indicación de discontinuidad (A) corresponde al peak más elevado ilustrado en la figura N°7.8.

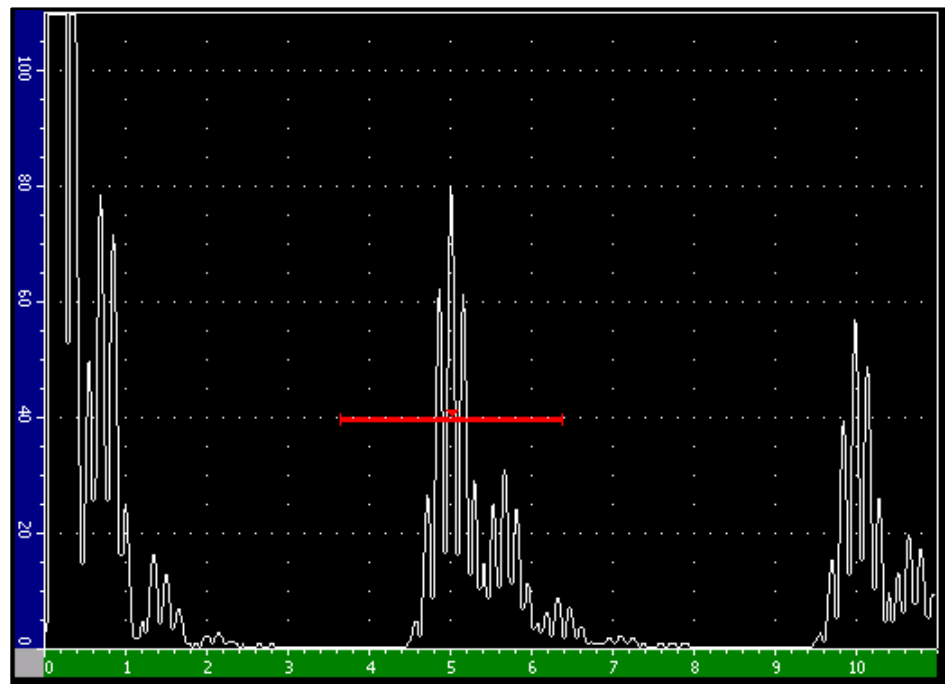


Figura N°7.8. Nivel de indicación de discontinuidad (A)

- Resultados.

a) Largo de la discontinuidad aplicando la técnica de los 6 decibeles.

$$L = 19.9(mm)$$

b) Clasificación de la indicación de acuerdo a criterios de aceptación de la norma AWS D1.1.

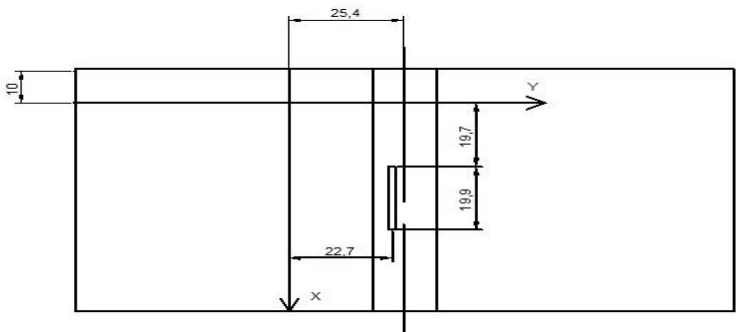
$$A = 75.5(dB)$$

$$C = -0.11(dB) \Rightarrow D = 75.5 - 67.3 + 0.11 = 8.31(dB)$$

$$B = 67.3(dB)$$

Por ende, según la tabla de criterios de aceptación se tiene que ésta corresponde a una discontinuidad clase D, es decir, discontinuidad menor; lo que implica que es aceptada sin importar su longitud o localización en la soldadura.

3. Ficha técnica.

Título: Ensayo por ultrasonido		EUT-01													
Cliente: Depto. Mecánica	Contrato:	Fecha: 4/10/2013													
Proyecto: Inspección de placas soldadas a tope		Página:													
Descripción de la pieza: Placa soldada a tope, con porosidad en el cuerpo de ésta.		Material: Acero													
Espesor: 10 mm	Sección:	ANSI/AWS:													
Tipo de junta: A tope	Proceso de soldadura:	Plano de ref:													
Tipo de instrumento: Equipo de ultrasonido	Bloque de calibración: Block de calibración ASTM E 164 IIW serie #2443 12- Escalonado 2214M (SAE-1018).	Procedimiento de ref: Procedimiento AWS D1.1													
Método de prueba: <input checked="" type="checkbox"/> Haz Recto <input checked="" type="checkbox"/> Haz Angular		Acoplante: Acoplante ultrasonic 12 oz NSN 680-01-157-4348													
Método de preparación: <input type="checkbox"/> Esmerilada <input checked="" type="checkbox"/> Mecanizada <input type="checkbox"/> Cepillada															
Rango de barrido (mm): 27.4		Frecuencia de prueba: 2.25 MHz - Haz angular 5 MHz-Haz recto													
															
Palpador: A540S-SM – Haz angular; A109S – Haz recto															
Item (N° de placa)	Junta	Angulo del Haz	Lado del ensayo	Decibeles (dB)				Discontinuidad					Resultado de ensayo	Observación	
				A	B	C	D	Recorrido de haz sónico (DA)	Longitud (mm)	Profundidad	Distancia				Clasificación
Nivel de indicación	Nivel de referencia	Factor de atenuación	Rango de indicación	Desde x	Desde y										
01	JT	68.5	a	75.3	67.3	-0.1	8.3	48.6	19.9	17.8	19.7	22.7	D	Aprobado	
Comentarios:															
Resultado: <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Recomendación examen complementario															
Inspector				Gestión de calidad				Cliente							
_____ Nombre/Firma				_____ Nombre/Firma				_____ Nombre/Firma							

Pieza N°7

Material: acero

Dimensiones: 144.8 x 75.6 x 10 (mm)

Acabado superficial: 100%

Defecto: Inclusión de escoria

1. Análisis Zona ZAT: Conforme al procedimiento descrito anteriormente, de acuerdo con los resultados que se esbozan en la figura N°7.9 y datos, se obtiene un pulso-eco referente al espesor de la placa. Por ende se concluye que no existe presencia de escoria en esta zona.
- Parámetros inspección zona ZAT.

Tabla N°7.9. Parámetros.

Ganancia : 24.4 dB
Modo: Pulso-Eco
Velocidad: 5926 m/s
Angulo: 0°
Filtro: 1.85-8.85
Espesor: 10.02 mm
Frecuencia: 5 MHz

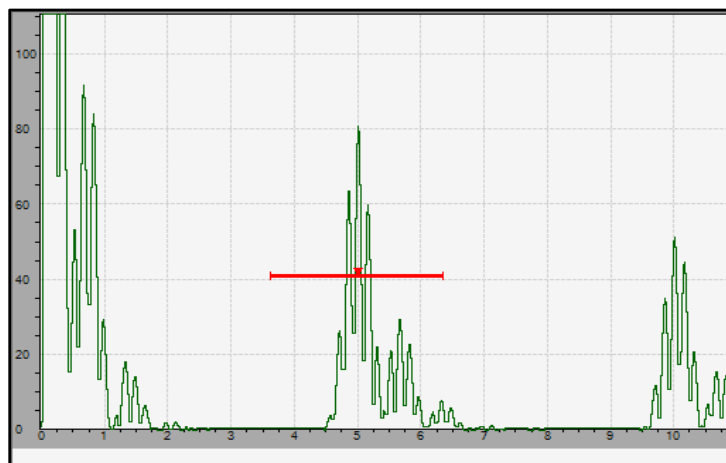


Figura N°7.9. Pulso-Eco correspondiente al espesor de la placa.

2. Análisis Zona de barrido.

- Registro de parámetros.

Tabla N°7.10. Parámetros de inspección.

Retardo: 0.00		Rango: 80.00	
Gan.: 67.3+11.2 dB		PRF: 475 Hz	Modo: Pulso-Eco
Velocidad: 3245 m/s		Frec.: 2.27 MHz	Filtro: 1.5-8.5
Cero: 15.920 μ s		Energía: 100 V	Rectif.: Completa
Angulo: 68.5°		Amort.: 50 Ω	Espesor: 0.00
Supres.: 0		Emisor: Cuadrados	
1% 79.75	1↓ 17.40	1→ 44.17	1↘ 47.47
1↓	Inicio: 33.50	Ancho: 56.35	Nivel: 40%

- Observación: El nivel de indicación de discontinuidad (A) corresponde al peak más elevado ilustrado en la figura N°7.10.

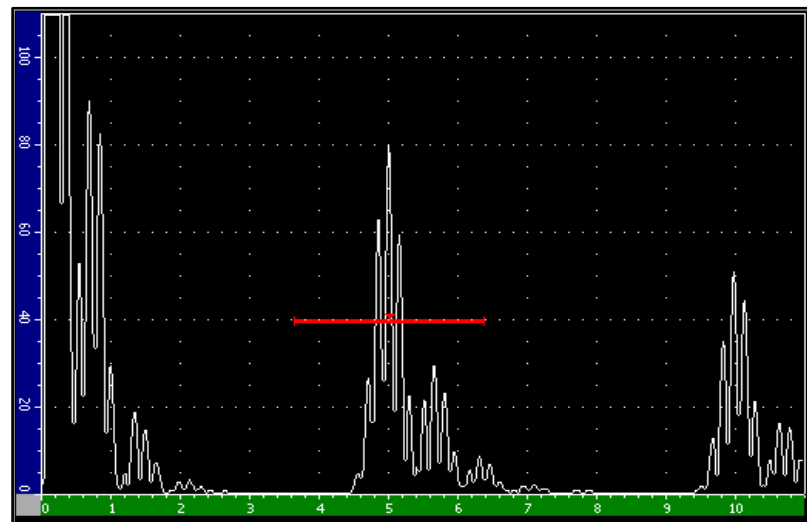


Figura N°7.10. Nivel de indicación de discontinuidad (A).

- Resultados.

a) Largo de la discontinuidad aplicando la técnica de los 6 decibeles.

$$L = 18.8(mm)$$

b) Clasificación de la indicación de acuerdo a criterios de aceptación de la norma AWS D1.1.

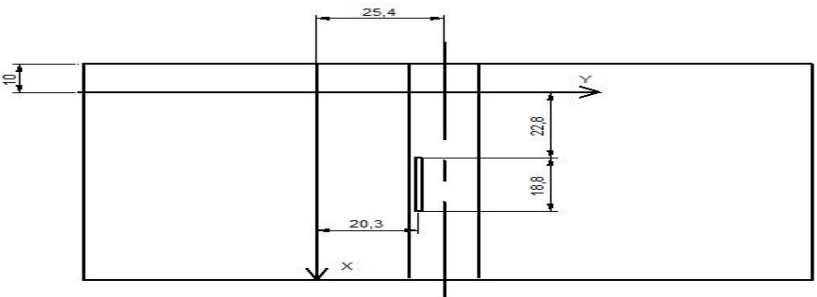
$$A = 78.5(dB)$$

$$C = -0.11(dB) \Rightarrow D = 78.5 - 67.3 + 0.11 = 11.31(dB)$$

$$B = 67.3$$

Por ende, según la tabla de criterios de aceptación se tiene que ésta corresponde a una discontinuidad clase D, es decir, discontinuidad menor; lo que implica que es aceptada sin importar su longitud o localización en la soldadura.

3. Ficha técnica.

Título: Ensayo por ultrasonido			EUT-01												
Cliente: Depto. Mecánica		Contrato:		Fecha: 4/10/2013											
Proyecto: Inspección de placas soldadas a tope			Página:												
Descripción de la pieza: Placa soldada a tope, con inclusión de escoria.			Material: Acero												
Espesor: 10 mm		Sección:		ANSI/AWS:											
Tipo de junta: A tope		Proceso de soldadura:		Plano de ref:											
Tipo de instrumento: Equipo de ultrasonido		Bloque de calibración: Block de calibración ASTM E 164 IIW serie #2443 12- Escalonado 2214M (SAE-1018).		Procedimiento de ref: Procedimiento AWS D1.1											
Método de prueba: <input checked="" type="checkbox"/> Haz Recto <input checked="" type="checkbox"/> Haz Angular				Acoplante: Acoplante ultrasonic 12 oz NSN 680-01-157-4348											
Método de preparación: <input type="checkbox"/> Esmerilada <input checked="" type="checkbox"/> Mecanizada <input type="checkbox"/> Cepillada															
Rango de barrido (mm): 27.4			Frecuencia de prueba: 2.25 MHz - Haz angular 5 MHz-Haz recto												
															
Palpador: A540S-SM – Haz angular; A109S – Haz recto															
Item (N° de placa)	Junta	Angulo del Haz	Lado del ensayo	Decibeles (dB)				Discontinuidad					Resultado de ensayo	Observación	
				A	B	C	D	Recurrido de haz sónico (DA)	Longitud (mm)	Profundidad	Distancia				Clasificación
				Nivel de indicación	Nivel de referencia	Factor de atenuación	Rango de indicación				Desde x	Desde y			
01	JT	68.5	a	78.5	67.3	-0.1	11.3	48.6	18.8	17.4	20.3	22.8	D	Aprobado	
Comentarios:															
Resultado: <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Recomendación examen complementario															
Inspector				Gestión de calidad				Cliente							
_____ Nombre/Firma				_____ Nombre/Firma				_____ Nombre/Firma							

Pieza N°8

Material: acero

Dimensiones: 144 x 75.4 x 10 (mm)

Acabado superficial: 100%

Defecto: Falta de fusión en la pared lateral

1. Análisis Zona ZAT: Conforme al procedimiento descrito anteriormente, de acuerdo con los resultados que se esbozan en la figura N°7.11 y datos, se obtiene un pulso-eco referente al espesor de la placa. Por ende se concluye que no existe falta de fusión en esta zona.
- Parámetros inspección zona ZAT.

Tabla N°7.11. Parámetros.

Ganancia : 19.7 dB
Modo: Pulso-Eco
Velocidad: 5926 m/s
Angulo: 0°
Filtro: 1.85-8.85
Espesor: 9.79 mm
Frecuencia: 5 MHz

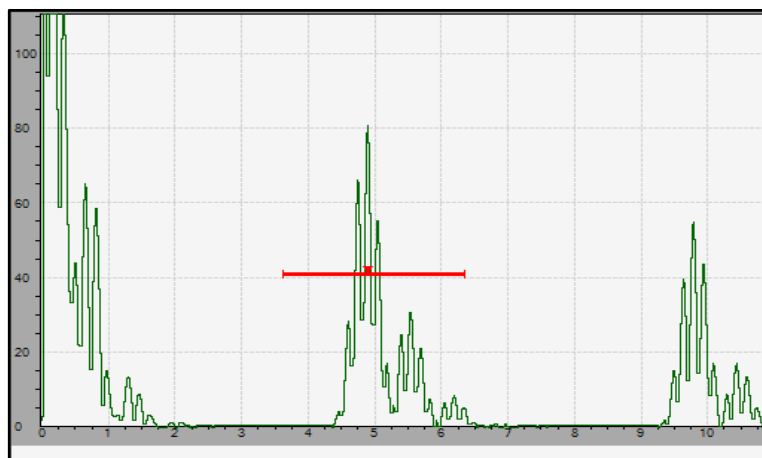


Figura N°7.11. Pulso-Eco correspondiente al espesor de la placa.

2. Análisis Zona de barrido.

- Registro de parámetros.

Tabla N°7.12. Parámetros de inspección.

Retardo: 0.00		Rango: 80.00	
Gan.: 67.3-13dB		PRF: 475 Hz	
Velocidad: 3245 m/s		Modo: Pulso-Eco	
Cero: 15.920 μ s		Filtro: 1.5-8.5	
Angulo: 68.5°		Rectif.: Completa	
Supres.: 0		Espesor: 0.00	
Emisor: Cuadrados			
1% 78.85	1↓ 13.43	1→ 34.10	1↘ 36.65
1↓	Inicio: 22.78	Ancho: 56.35	Nivel: 40%

- Observación: El nivel de indicación de discontinuidad (A) corresponde al peak más elevado ilustrado en la figura N°7.12.

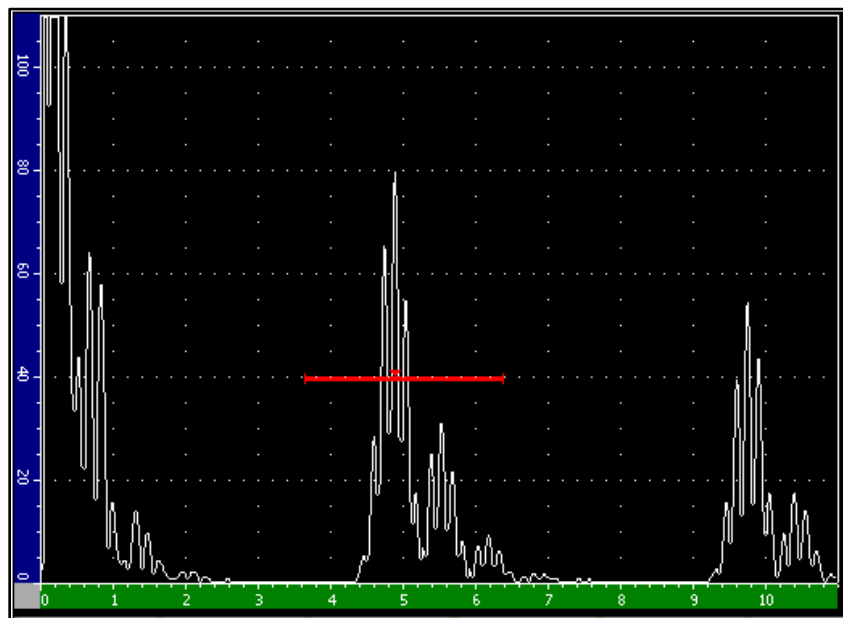


Figura N°7.12. Nivel de indicación de discontinuidad (A).

- Resultados.

a) Largo de la discontinuidad aplicando la técnica de los 6 decibeles.

$$L = 24.6(mm)$$

b) Clasificación de la indicación de acuerdo a criterios de aceptación de la norma AWS D1.1.

$$A = 54.3(dB)$$

$$C = -0.11(dB) \Rightarrow D = 54.3 - 67.3 + 0.11 = -12.89(dB)$$

$$B = 67.3(dB)$$

Por ende, según la tabla de criterios de aceptación se tiene que ésta corresponde a una discontinuidad clase A, es decir, discontinuidad grande; lo que implica que es rechazada automáticamente sin mayor análisis.

3. Ficha técnica.

Título: Ensayo por ultrasonido		EUT-01													
Cliente: Depto. Mecánica	Contrato:	Fecha: 4/10/2013													
Proyecto: Inspección de placas soldadas a tope		Página:													
Descripción de la pieza: Placa soldada a tope, con falta de fusión en la pared lateral.		Material: Acero													
Espesor: 10 mm	Sección:	ANSI/AWS:													
Tipo de junta: A tope	Proceso de soldadura:	Plano de ref:													
Tipo de instrumento: Equipo de ultrasonido	Bloque de calibración: Block de calibración ASTM E 164 IIW serie #2443 12- Escalonado 2214M (SAE-1018).	Procedimiento de ref: Procedimiento AWS D1.1													
Método de prueba: <input checked="" type="checkbox"/> Haz Recto <input checked="" type="checkbox"/> Haz Angular		Acoplante: Acoplante ultrasonic 12 oz NSN 680-01-157-4348													
Método de preparación: <input type="checkbox"/> Esmerilada <input checked="" type="checkbox"/> Mecanizada <input type="checkbox"/> Cepillada															
Rango de barrido (mm): 27.4		Frecuencia de prueba: 2.25 MHz - Haz angular 5 MHz-Haz recto													
Palpador: A540S-SM – Haz angular; A109S – Haz recto															
Item (N° de placa)	Junta	Angulo del Haz	Lado del ensayo	Decibeles (dB)				Discontinuidad					Resultado de ensayo	Observación	
				A	B	C	D	Recorrido de haz sónico (DA)	Longitud (mm)	Profundidad	Distancia				Clasificación
				Nivel de indicación	Nivel de referencia	Factor de atenuación	Rango de indicación				Desde x	Desde y			
01	JT	68.5	a	54.3	67.3	-0.1	-12.8	36.6	24.6	13.43	14.4	20.8	A	Rechazado	
Comentarios:															
Resultado: <input type="checkbox"/> Aprobado <input checked="" type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Recomendación examen complementario															
Inspector				Gestión de calidad				Cliente							
_____ Nombre/Firma				_____ Nombre/Firma				_____ Nombre/Firma							

Pieza N°11

Material: acero

Dimensiones: 145.1 x 74.6 x 10 (mm)

Acabado superficial: 100%

Defecto: Penetración incompleta en raíz de soldadura

1. Análisis Zona ZAT: Conforme al procedimiento descrito anteriormente, de acuerdo con los resultados que se esbozan en la figura N°7.13 y datos, se obtiene un pulso-eco referente al espesor de la placa. Por ende se concluye que no existe falta de penetración incompleta en esta zona.
- Parámetros inspección zona ZAT.

Tabla N°7.13. Parámetros.

Ganancia : 21.9 dB
Modo: Pulso-Eco
Velocidad: 5926 m/s
Angulo: 0°
Filtro: 1.85-8.85
Espesor: 10.16 mm
Frecuencia: 5 MHz

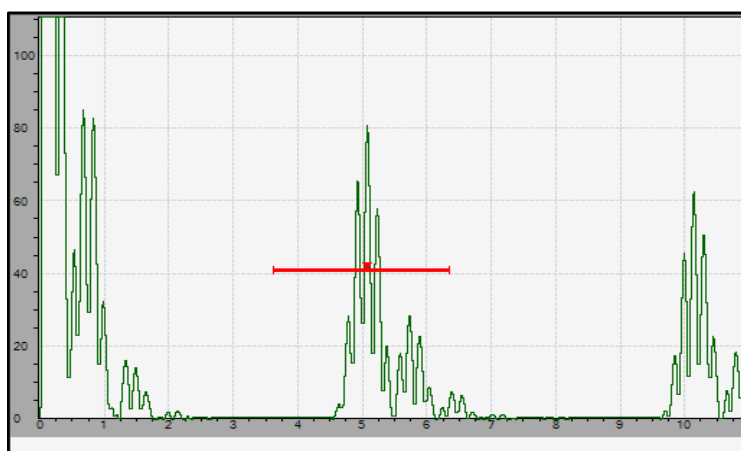


Figura N°7.13. Pulso-Eco correspondiente al espesor de la placa.

2. Análisis Zona de barrido.

- Registro de parámetros.

Tabla N°7.14. Parámetros de inspección.

Retardo: 0.00		Rango: 80.00	
Gan.: 67.3+0.1dB		PRF: 475 Hz	
Velocidad: 3245 m/s		Modo: Pulso-Eco	
Cero: 15.920 μ s		Filtro: 1.5-8.5	
Angulo: 68.5°		Rectif.: Completa	
Supres.: 0		Espesor: 0.00	
Emisor: Cuadrados			
1% 80.00	1↓ 10.26	1→ 26.05	1↘ 28.00
1↓	Inicio: 17.02	Ancho: 56.35	Nivel: 40%

- Observación: El nivel de indicación de discontinuidad (A) corresponde al peak más elevado ilustrado en la figura N°7.14.

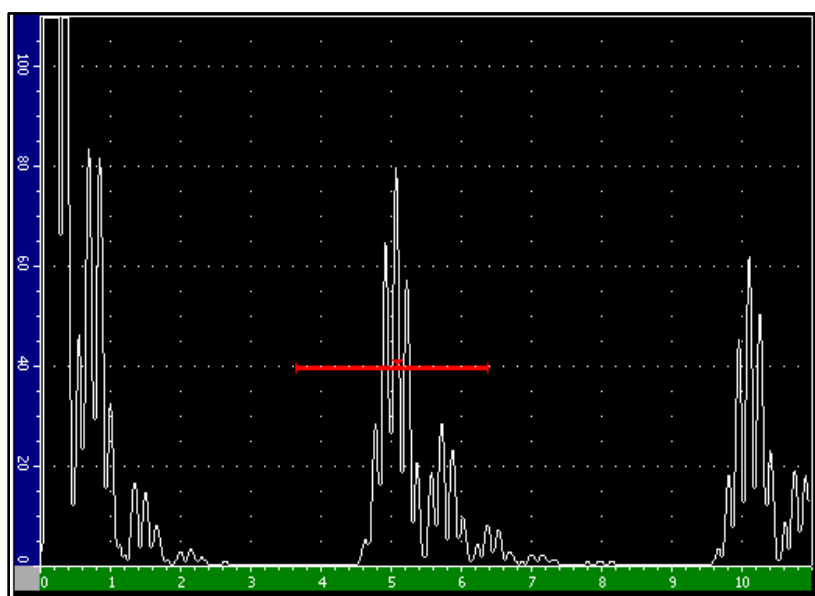


Figura N°7.14. Nivel de indicación de discontinuidad (A).

- Resultados.

a) Largo de la discontinuidad aplicando la técnica de los 6 decibeles.

$$L = 24.7(mm)$$

b) Clasificación de la indicación de acuerdo a criterios de aceptación de la norma AWS D1.1.

$$A = 67.4(dB)$$

$$C = -0.11(dB) \Rightarrow D = 67.4 - 67.3 + 0.11 = 0.21(dB)$$

$$B = 67.3(dB)$$

Por ende, según la tabla de criterios de aceptación se tiene que ésta corresponde a una discontinuidad clase A, es decir, discontinuidad grande; lo que implica que es rechazada automáticamente sin mayor análisis.

3. Ficha técnica.

Título: Ensayo por ultrasonido		EUT-01													
Cliente: Depto. Mecánica	Contrato:	Fecha: 4/10/2013													
Proyecto: Inspección de placas soldadas a tope		Página:													
Descripción de la pieza: Placa soldada a tope, con penetración incompleta en raíz de la soldadura.		Material: Acero													
Espesor: 10 mm	Sección:	ANSI/AWS:													
Tipo de junta: A tope	Proceso de soldadura:	Plano de ref:													
Tipo de instrumento: Equipo de ultrasonido	Bloque de calibración: Block de calibración ASTM E 164 IIW serie #2443 12- Escalonado 2214M (SAE-1018).	Procedimiento de ref: Procedimiento AWS D1.1													
Método de prueba: <input checked="" type="checkbox"/> Haz Recto <input checked="" type="checkbox"/> Haz Angular		Acoplante: Acoplante ultrasonic 12 oz NSN 680-01-157-4348													
Método de preparación: <input type="checkbox"/> Esmerilada <input checked="" type="checkbox"/> Mecanizada <input type="checkbox"/> Cepillada															
Rango de barrido (mm): 27.4		Frecuencia de prueba: 2.25 MHz - Haz angular 5 MHz-Haz recto													
Palpador: A540S-SM – Haz angular; A109S – Haz recto															
Item (N° de placa)	Junta	Angulo del Haz	Lado del ensayo	Decibeles (dB)				Discontinuidad					Resultado de ensayo	Observación	
				A	B	C	D	Recorrido de haz sónico (DA)	Longitud (mm)	Profundidad	Distancia				Clasificación
				Nivel de indicación	Nivel de referencia	Factor de atenuación	Rango de indicación				Desde x	Desde y			
01	JT	68.5	a	67.3	67.3	-0.1	0.21	28	24.7	10.26	24.4	15	A	Rechazado	
Comentarios:															
Resultado: <input type="checkbox"/> Aprobado <input checked="" type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Recomendación examen complementario															
Inspector				Gestión de calidad				Cliente							
_____ Nombre/Firma				_____ Nombre/Firma				_____ Nombre/Firma							

Pieza N°13

Material: acero

Dimensiones: 145.2 x 75.0 x 10 (mm)

Acabado superficial: 100%

Defecto: Penetración incompleta en raíz de soldadura

1. Análisis Zona ZAT: Conforme al procedimiento descrito anteriormente, de acuerdo con los resultados que se esbozan en la figura N°7.15 y datos, se obtiene un pulso-eco referente al espesor de la placa. Por ende se concluye que no existe falta de penetración incompleta en esta zona.
- Parámetros inspección zona ZAT.

Tabla N°7.15. Parámetros.

Ganancia : 18.6 dB
Modo: Pulso-Eco
Velocidad: 5926 m/s
Angulo: 0°
Filtro: 1.85-8.85
Espesor: 10.05 mm
Frecuencia: 5 MHz

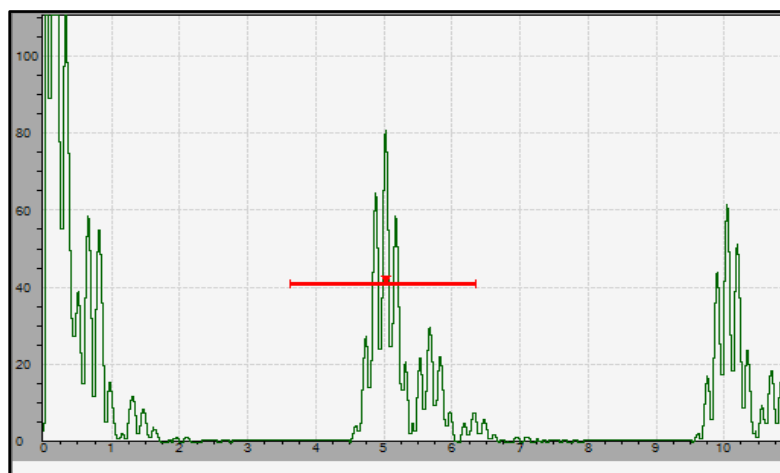


Figura N°7.15. Pulso-Eco correspondiente al espesor de la placa.

2. Análisis Zona de barrido.

- Registro de parámetros.

Tabla N°7.16. Parámetros de inspección.

Retardo: 0.00		Rango: 80.00	
Gan.: 67.3-7.7dB		Modo: Pulso-Eco	
Velocidad: 3245 m/s		Filtro: 1.5-8.5	
Cero: 15.920 μ s		Rectif.: Completa	
Angulo: 68.5°		Espesor: 0.00	
Supres.: 0		Emisor: Cuadrados	
1% 80.00	1↓ 15.46	1→ 39.25	1↘ 42.19
1↓	Inicio: 21.50	Ancho: 56.35	Nivel: 40%

- Observación: El nivel de indicación de discontinuidad (A) corresponde al peak más elevado ilustrado en la figura N°7.16.

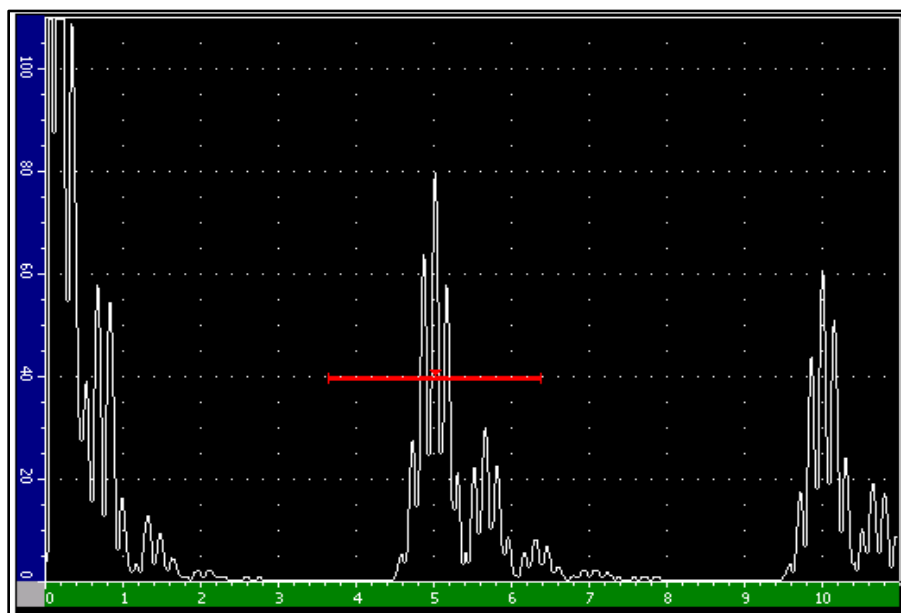


Figura N°7.16. Nivel de indicación de discontinuidad (A).

- Resultados.

a) Largo de la discontinuidad aplicando la técnica de los 6 decibeles.

$$L = 24.4(mm)$$

b) Clasificación de la indicación de acuerdo a criterios de aceptación de la norma AWS D1.1.

$$A = 59.6(dB)$$

$$C = -0.11(dB) \Rightarrow D = 59.6 - 67.3 + 0.11 = -7.59(dB)$$

$$B = 67.3(dB)$$

Por ende, según la tabla de criterios de aceptación se tiene que ésta corresponde a una discontinuidad clase A, es decir, discontinuidad grande; lo que implica que es rechazada automáticamente sin mayor análisis.

3. Ficha técnica.

Título: Ensayo por ultrasonido		EUT-01													
Cliente: Depto. Mecánica	Contrato:	Fecha: 4/10/2013													
Proyecto: Inspección de placas soldadas a tope		Página:													
Descripción de la pieza: Placa soldada a tope, con penetración incompleta en raíz de la soldadura.		Material: Acero													
Espesor: 10 mm	Sección:	ANSI/AWS:													
Tipo de junta: A tope	Proceso de soldadura:	Plano de ref:													
Tipo de instrumento: Equipo de ultrasonido	Bloque de calibración: Block de calibración ASTM E 164 IIV serie #2443 12- Escalonado 2214M (SAE-1018).	Procedimiento de ref: Procedimiento AWS D1.1													
Método de prueba: <input checked="" type="checkbox"/> Haz Recto <input checked="" type="checkbox"/> Haz Angular		Acoplante: Acoplante ultrasonic 12 oz NSN 680-01-157-4348													
Método de preparación: <input type="checkbox"/> Esmerilada <input checked="" type="checkbox"/> Mecanizada <input type="checkbox"/> Cepillada															
Rango de barrido (mm): 27.4		Frecuencia de prueba: 2.25 MHz - Haz angular 5 MHz-Haz recto													
Palpador: A540S-SM – Haz angular; A109S – Haz recto															
Item (N° de placa)	Junta	Angulo del Haz	Lado del ensayo	Decibeles (dB)				Discontinuidad					Resultado de ensayo	Observación	
				A	B	C	D	Recorrido de haz sónico (DA)	Longitud (mm)	Profundidad	Distancia				Clasificación
				Nivel de indicación	Nivel de referencia	Factor de atenuación	Rango de indicación				Desde x	Desde y			
01	JT	68.5	a	59.6	67.3	-0.1	-7.6	42.1	24.4	15.4	23.6	11.5	A	Rechazado	
Comentarios:															
Resultado: <input type="checkbox"/> Aprobado <input checked="" type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Recomendación examen complementario															
Inspector				Gestión de calidad				Cliente							
_____ Nombre/Firma				_____ Nombre/Firma				_____ Nombre/Firma							

7.3 Inspección modo PHASED ARRAY

7.3.1 Información de la inspección

- Norma aplicada: Ninguna norma se utilizó como procedimiento a seguir.
- Información de Equipamiento: Olympus-NDT-Panametrics-NDT
- Modelo: EPOCH 1000i.
- Serie: 120186412.
- Rango Frecuencia: 0.1 - 30 MHz.

Tabla N°7.17. Entrega información de las herramientas necesarias para efectuar la calibración y ulterior inspección.


	Zona de Barrido
Bloque de referencia	-Block de calibración ASTM E 164 IIW serie #2443 12 - Olympus- TB1045-1. (Para ajuste de velocidad y ganancia).
Transductor	Marca: Olympus Modelo: 5L16-A10. Frecuencia: 5 MHz Angulo: 45°
Zapata	Marca: Olympus Modelo: SA10P-N55S.

7.3.2 Inspección de kit educativo.

Pieza N°1

- Registro de parámetros.

Tabla N°7.18 Ilustra parámetros de inspección.

Retardo: 00				Paso Ángulo: 1°				Rango: 60.00 mm			
Gan.: 18.9+4.4 dB				Supres.: 0				Modo: Pulso eco			
Velocidad: 3225 m/s				PRF: 920 Hz				Filtro: 1.5 - 8.5			
Cero: NA				Frec.: 5.00 MHZ				Rectif.: Completa			
Ángulo inicio: 40°				Energía: 100 V				Esp.: 10.0 mm			
Ángulo final: 70°				Amort.: 50 Ω							
Ángulo: 70 °				Emisor: Cuadrados							
Inicio: 52.96		Ancho: 1.74		Nivel: 60 %		Alarma: Off.					
1 80.00	1 50.97	1 1.45	1 54.42	X-X 3.0	Y-Y 5.0	Unidad: mm					

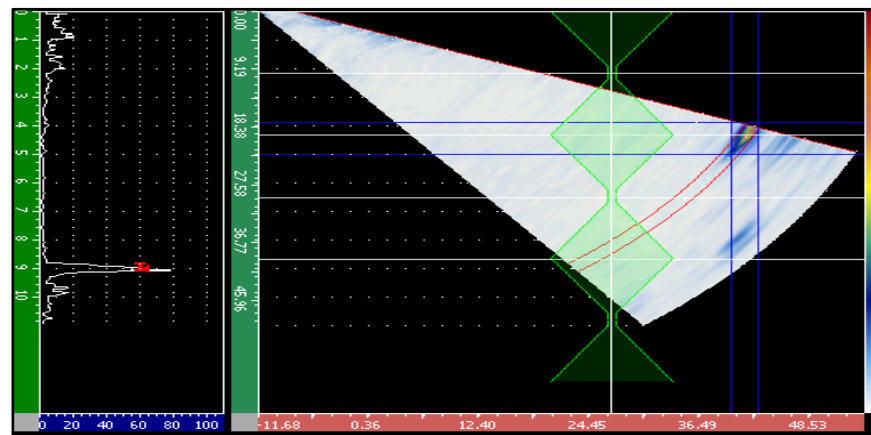



Figura N°7.17 Ilustra discontinuidad en modo PA.

La discontinuidad encontrada es una grieta superficial, la cual tiene un área de $3 \times 5 \text{ mm}^2$ que responden a las distancias $(X_2 - X_1)$ e $(Y_2 - Y_1)$ respectivamente. La profundidad es de 1.45 mm, también cabe destacar que la discontinuidad es interceptada por la segunda pierna de haz ultrasónico y corresponde a 5mm del espesor.

Pieza N°2

- Registro de parámetros.

Tabla N°7.19 Muestra parámetros de inspección.

Retardo: 00				Paso Ángulo: 1°				Rango: 60.00 mm			
Gan.: 18.9-4.2 dB				Supres.: 0				Modo: Pulso eco			
Velocidad: 3225 m/s				PRF: 920 Hz				Filtro: 1.5 - 8.5			
Cero: NA				Frec.: 5.00 MHZ				Rectif.: Completa			
Ángulo inicio: 40°				Energía: 100 V				Esp.: 10.0 mm			
Ángulo final: 70°				Amort.: 50 Ω							
Ángulo: 70 °				Emisor: Cuadrados							
Inicio: 33.52			Ancho: 1.62		Nivel: 60 %		Alarma: Off.				
1% 80.00		1 32.66		1 8.33		1 34.12		X_r-X_i 5.0		Y_r-Y_i 6.0	
Unidad: mm											

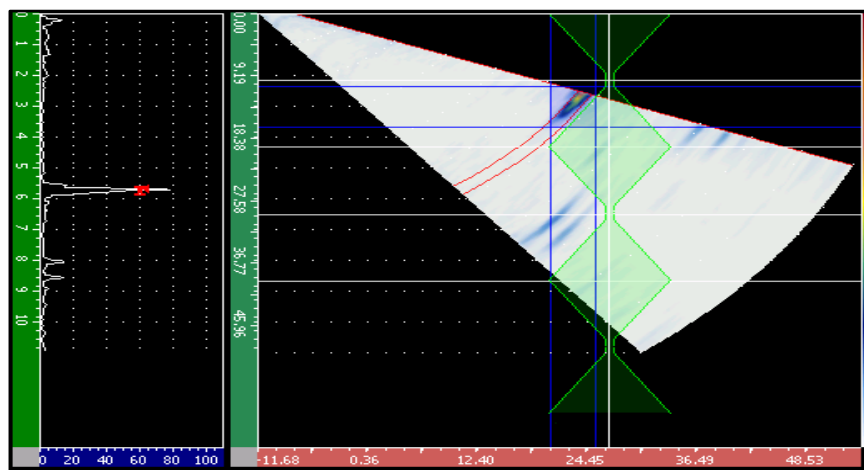


Figura N°7.18 Ilustra discontinuidad en modo PA.

La discontinuidad encontrada es una grieta en raíz de la soldadura, la cual tiene un área de $5 \times 6 \text{ mm}^2$ que responden a las distancias $(X_2 - X_1)$ e $(Y_2 - Y_1)$ respectivamente. La profundidad es de 8.33 mm, también cabe destacar que la discontinuidad es interceptada por la primera pierna de haz ultrasónico y corresponde a 6mm del espesor.

Pieza N°5

- Registro de parámetros.

Tabla N°7.20 Muestra parámetros de inspección.

Retardo: 00		Paso Ángulo: 1°		Rango: 60.00 mm	
Gan.: 18.9+1.9 dB		Supres.: 0		Modo: Pulso eco	
Velocidad: 3225 m/s		PRF: 920 Hz		Filtro: 1.5 - 8.5	
Cero: NA		Frec.: 5.00 MHZ		Rectif.: Completa	
Ángulo inicio: 40°		Energía: 100 V		Esp.: 10.0 mm	
Ángulo final: 70°		Amort.: 50 Ω			
Ángulo: 70 °		Emisor: Cuadrados			
Inicio: 46.72		Ancho: 1.26	Nivel: 60 %	Alarma: Off.	
1%80.00	1➡ 44.71	1⚡ 3.73	1⚡47.58	X _r -X _i 4.0	Y _r -Y _i 5.0
Unidad: mm					

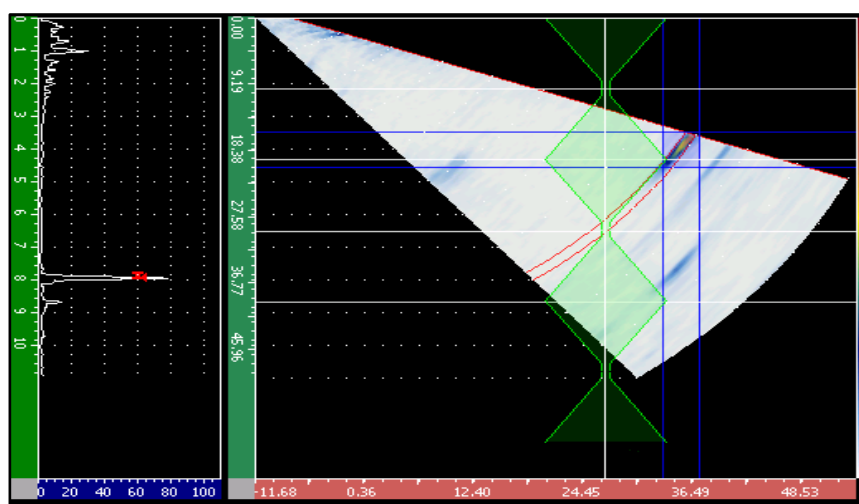


Figura N°7.19 Ilustra discontinuidad en modo PA.

La discontinuidad encontrada es una grieta en la línea central de la soldadura, la cual tiene un área de $4 \times 5 \text{ mm}^2$ que responden a las distancias $(X_2 - X_1)$ e $(Y_2 - Y_1)$ respectivamente. La profundidad es de 3.73 mm, también cabe destacar que la discontinuidad es interceptada por la segunda pierna de haz ultrasónico y corresponde a 5mm del espesor.

Pieza N°6

- Registro de parámetros.

Tabla N°7.21 Muestra parámetros de inspección.

Retardo: 00		Paso Ángulo: 1°		Rango: 60.00 mm	
Gan.: 18.9+17.7 dB		Supres.: 0		Modo: Pulso eco	
Velocidad: 3225 m/s		PRF: 920 Hz		Filtro: 1.5 - 8.5	
Cero: NA		Frec.: 5.00 MHZ		Rectif.: Completa	
Ángulo inicio: 40°		Energía: 100 V		Esp.: 10.0 mm	
Ángulo final: 70°		Amort.: 50 Ω			
Ángulo: 70 °		Emisor: Cuadrados			
Inicio: 46.72	Ancho: 2.10	Nivel: 60 %	Alarma: Off.		
1%80.00	1 45.09	1 3.59	1 47.98	X ₂ -X ₁ 3.0	Y ₂ -Y ₁ 4.0
Unidad: mm					

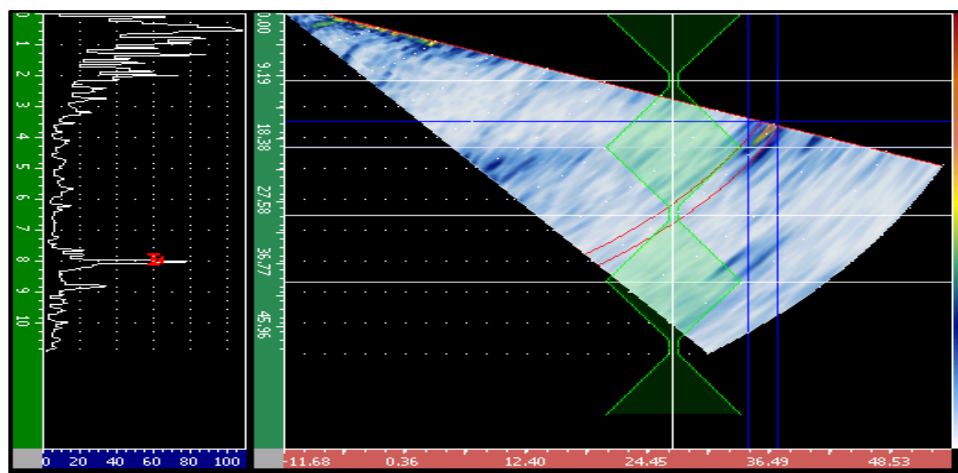



Figura N°7.20 Ilustra discontinuidad en modo PA.

La discontinuidad encontrada es una porosidad en el cuerpo de la soldadura, la cual tiene un área de 3*4 mm² que responden a las distancias (X₂ - X₁) e (Y₂ - Y₁) respectivamente. La profundidad es de 3.59 mm, también cabe destacar que la discontinuidad es interceptada por la segunda pierna de haz ultrasónico y corresponde a 4mm del espesor.

Pieza N°7

- Registro de parámetros.

Tabla N°7.22 Muestra parámetros de inspección.

Retardo: 00		Paso Ángulo: 1°		Rango: 60.00 mm	
Gan.: 18.9+15.7 dB		Supres.: 0		Modo: Pulso eco	
Velocidad: 3225 m/s		PRF: 920 Hz		Filtro: 1.5 - 8.5	
Cero: NA		Frec.: 5.00 MHZ		Rectif.: Completa	
Ángulo inicio: 40°		Energía: 100 V		Esp.: 10.0 mm	
Ángulo final: 70°		Amort.: 50 Ω			
Ángulo: 70 °		Emisor: Cuadrados			
Inicio: 47.32		Ancho: 1.18	Nivel: 60 %	Alarma: Off.	
1%81.00	1➡ 45.37	1⬇ 3.49	1➡48.28	Xr-Xi:4.0	Yr-Yi:4.0
Unidad: mm					

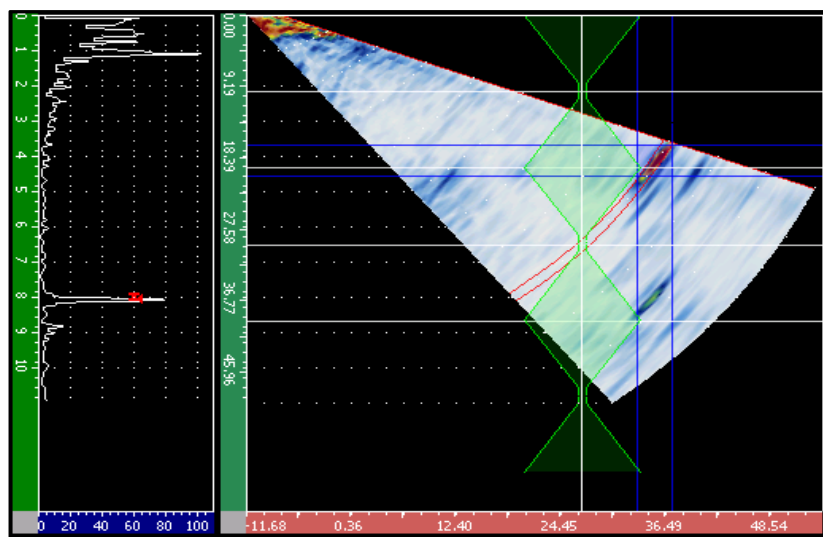


Figura N°7.21 Ilustra discontinuidad en modo PA.

La discontinuidad encontrada es una inclusión de escoria, la cual tiene un área de $4 \times 4 \text{ mm}^2$ que responden a las distancias $(X_2 - X_1)$ e $(Y_2 - Y_1)$ respectivamente. La profundidad es de 3.49 mm, también cabe destacar que la discontinuidad es interceptada por la segunda pierna de haz ultrasónico y corresponde a 4 mm del espesor.

Pieza N°8

- Registro de parámetros.

Tabla N°7.23 Muestra parámetros de inspección.

Retardo: 00		Paso Ángulo: 1°		Rango: 60.00 mm	
Gan.: 19.1-5.4 dB		Supres.: 0		Modo: Pulso eco	
Velocidad: 3225 m/s		PRF: 920 Hz		Filtro: 1.5 - 8.5	
Cero: NA		Frec.: 5.00 MHZ		Rectif.: Completa	
Ángulo inicio: 40°		Energía: 100 V		Esp.: 10.0 mm	
Ángulo final: 70°		Amort.: 50 Ω			
Ángulo: 70 °		Emisor: Cuadrados			
Inicio: 34.96	Ancho: 1.06	Nivel: 60 %	Alarma: Off.		
1% 0.00	1 33.78	1 7.7	1 35.95	X _r -X _i 7.0	Y _r -Y _i 6.0
Unidad: mm					

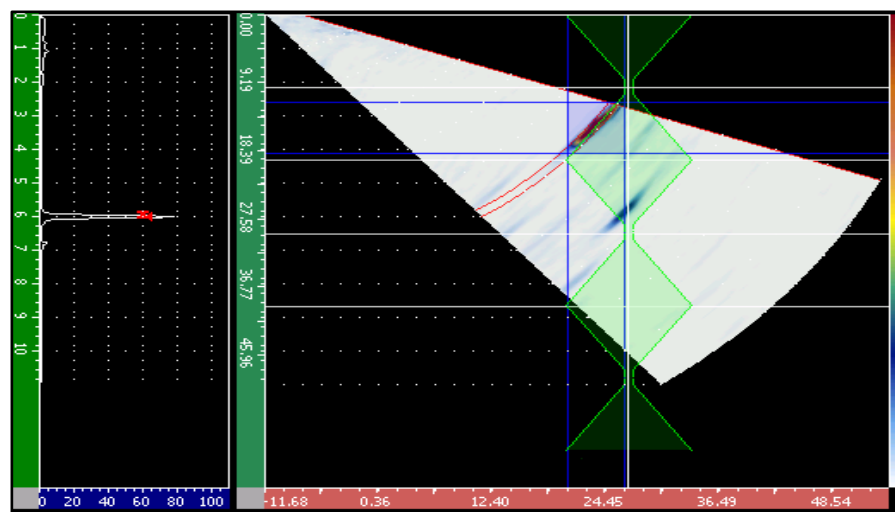



Figura N°7.22 Ilustra discontinuidad en modo PA.

La discontinuidad encontrada es una falta de fusión en la pared, la cual tiene un área de 7*6 mm² que responden a las distancias (X₂ - X₁) e (Y₂ - Y₁) respectivamente. La profundidad es de 7.7 mm, también cabe destacar que la discontinuidad es interceptada por la segunda pierna de haz ultrasónico y corresponde a 7 mm del espesor.

Pieza N°11

- Registro de parámetros.

Tabla N°7.24 Muestra parámetros de inspección.

Retardo: 00		Paso Ángulo: 1°		Rango: 60.00 mm	
Gan.: 19.1-2.9 dB		Supres.: 0		Modo: Pulso eco	
Velocidad: 3225 m/s		PRF: 920 Hz		Filtro: 1.5 - 8.5	
Cero: NA		Frec.: 5.00 MHZ		Rectif.: Completa	
Ángulo inicio: 40°		Energía: 100 V		Esp.: 10.0 mm	
Ángulo final: 70°		Amort.: 50 Ω			
Ángulo: 70 °		Emisor: Cuadrados			
Inicio: 30.64	Ancho: 2.00	Nivel: 60 %	Alarma: Off.		
1%80.00	1➡ 29.86	1↓ 9.13	1♥31.78	X ₂ -X ₁ 3.0	Y ₂ -Y ₁ 4.0
Unidad: mm					

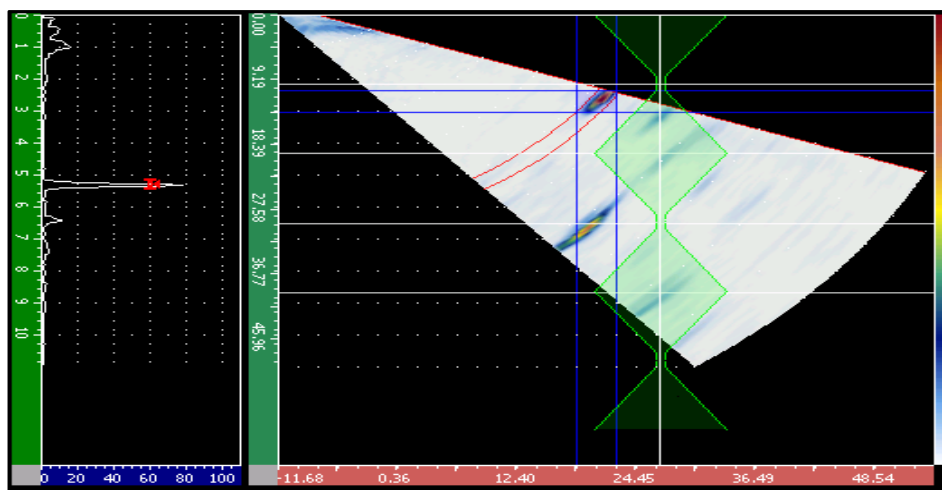



Figura N°7.23 Ilustra discontinuidad en modo PA.

La discontinuidad encontrada es una penetración incompleta en raíz de la soldadura, la cual tiene un área de $3 \times 4 \text{ mm}^2$ que responden a las distancias $(X_2 - X_1)$ e $(Y_2 - Y_1)$ respectivamente. La profundidad es de 9.13 mm, también cabe destacar que la discontinuidad es interceptada por la segunda pierna de haz ultrasónico y corresponde a 4 mm del espesor.

Pieza N°13

- Registro de parámetros.

Tabla N°7.25 Muestra parámetros de inspección.

Retardo: 00			Paso Ángulo: 1°			Rango: 60.00 mm		
Gan.: 25.5+5.8 dB			Supres.: 0			Modo: Pulso eco		
Velocidad: 3225 m/s			PRF: 920 Hz			Filtro: 1.5 - 8.5		
Cero: NA			Frec.: 5.00 MHZ			Rectif.: Completa		
Ángulo inicio: 40°			Energía: 100 V			Esp.: 10.0 mm		
Ángulo final: 70°			Amort.: 50 Ω					
Ángulo: 70 °			Emisor: Cuadrados					
Inicio: 39.7		Ancho: 3.20		Nivel: 60 %		Alarma: Off.		
1 80.00	1 39.76	1 5.53	1 42.31	X₁-X₂ 5.0	Y₁-Y₂ 5.9	Unidad: mm		

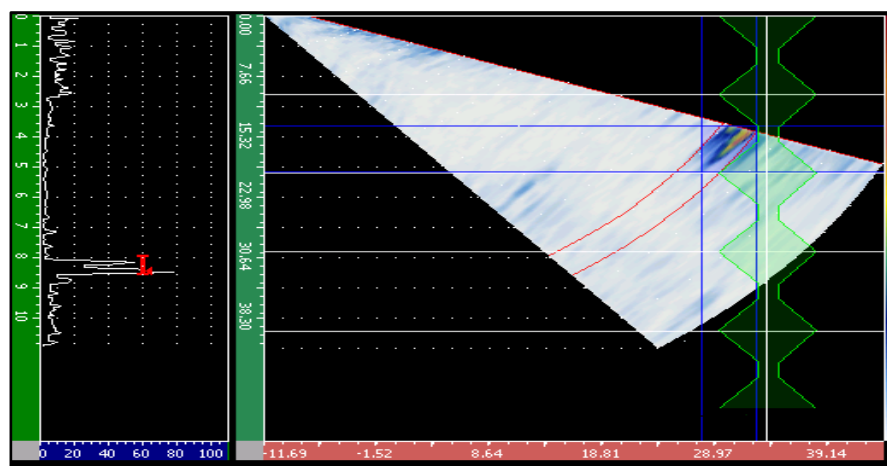


Figura N°7.24 Ilustra discontinuidad en modo PA.

La discontinuidad encontrada es una penetración incompleta en raíz de soldadura doble “V”, la cual tiene un área de $5 \times 5.9 \text{ mm}^2$ que responden a las distancias $(X_2 - X_1)$ e $(Y_2 - Y_1)$ respectivamente. La profundidad es de 5.53 mm, también cabe destacar que la discontinuidad es interceptada por la segunda pierna de haz ultrasónico y corresponde a 5.9 mm del espesor.

CONCLUSIÓN.

De la experiencia realizada se puede extraer una gran cantidad de información fundamental que permiten avanzar en la comprensión de las potencialidades del EPOCH 1000i y por ende el campo de aplicación de éste. En primer lugar como consecuencia del estudio previo a la inspección se deduce que el equipo tiene la capacidad de trabajar en función de diferentes normas tales como la ASME, AWS, JIS, etc. No obstante, dicha capacidad se hace concreta con la activación de códigos que entregan la opción de operar en base a herramientas software que cumplen la función de optimizar la inspección.

Por otra parte, cabe destacar que la inspección de las placas soldadas a tope mediante modo convencional UT no respondió cien por ciento a los parámetros que exige la norma AWS D1.1; ya que la inspección estuvo carente de herramientas necesarias para cumplir con ella. En este sentido podemos mencionar que el transductor utilizado no fue el indicado, como también la falta de un bloque de calibración (RC) que recomienda la norma AWS D1.1, que si bien no fue indispensable, para futuras inspecciones es necesario al igual que bloques de calibración para las curvas DAC/TVG. Sin embargo es preciso mencionar que el EPOCH 1000i posee una tecnología superior a los parámetros de la norma, es decir, que el equipo es capaz de responder satisfactoriamente aunque no cumpla los ciertos estándares de la norma (transductor, zapata, bloque de calibración); por lo tanto el factor de incidencia en el resultado final es marginal. Dejar explícito que al calibrar en modo phased array, palpador angular, se activa automáticamente la curva TVG, en la cual viene incluida la curva DAC; ésta herramienta permite utilizar la técnica de 6 decibeles como parámetro para clasificar las discontinuidades, pero, no se encuentra tipificada bajo un marco regulador como la AWS D1.1.

En relación al ensayo experimental se infiere que la técnica de los 6 decibels no es útil para medir la longitud de una porosidad distribuida en el cordón de soldadura ya que se pierde la señal del eco, también es importante enfatizar que existe un mínimo margen de error al obtener la longitud de las probetas mediante esta técnica, debido al factor humano, específicamente a la nula experiencia para realizar dicho análisis. En términos genéricos la inspección, procedimiento y posterior clasificación de las placas soldadas a tope respondió a la norma AWS D1.1, caracterizando los defectos en base a los criterios de aceptación de ésta.

Para finalizar cabe recalcar que el equipo de ultrasonido EPOCH 1000i debe ser considerado como un instrumento confiable para efectuar un control de calidad de procesos de soldadura, además de la importancia que adquiere para desarrollar futuros estudios, análisis, conocimientos y forjar cuadros, que nutridos con la teoría y formados en la práctica, adquieran las competencias necesarias para realizar optimas inspecciones conformes a los estándares, ya que la inspección siempre estará supeditada mayoritariamente al inspector, y por ende su habilidad para inspeccionar, evaluar y clasificar las discontinuidades.

BIBLIOGRAFIA.

- Nondestructive Evaluation and Quality Control, Metals Handbook® Ninth edition Volume 17, United States of America, 1989, 231p. (Ultrasonic inspection).
- Eduardo Gomez. Fundación Confemetal, 2006. Manual ultrasonido nivel II.
- Código ANSI/AWS D1.1 para estructuras soldadas de acero, sección 6, parte F, inspección por ultrasonido (UT) de soldaduras de ranura.
- Lepe Carrasco, Enrique. Ensayos no destructivos a los metales. Concepción, Universidad del Bio-.Blo.
- Irribarra T., Hugo. Comprobación de materiales por ultrasonido. Concepción, Universidad del Bio-Bio.
- Cabeza Viscarra, Walter. Evaluación no destructiva de materiales metálicos por ultrasonido. Concepción, Universidad del Bio-Bio. Bachillerato en Ciencias Naturales y Exactas. 2001. 30p. (CAPITULO III: El ultrasonido y sus aplicaciones a los materiales metálicos)
- Serie EPOCH™ 1000 Manual del usuario. Olympus NDT, 48 Woerd Avenue, Waltham, MA 02453, EEUU. 910-269-ES Revision A. Junio de 2009.