



# MANUAL DE ULTRASONIDO INDUSTRIAL NIVEL II

# CONTENIDO

<b>Introducción</b>	<b>1</b>
i. ¿Qué son las pruebas no destructivas?	1
ii. Antecedentes históricos	1
iii. Falla de materiales	2
iv. Clasificación de las Pruebas no Destructivas	5
v. Razones para el uso de PND	6
vi. Factores para la selección de las PND	6
vii. Calificación y certificación del personal de PND	7
<b>Capítulo I: Repaso de Nivel I</b>	<b>11</b>
i. Principios de ultrasonido	11
ii. Inspección por Ultrasonido	11
iii. Relación entre Velocidad, Longitud de Onda y Frecuencia	15
iv. Generación y recepción de vibraciones ultrasónicas	16
v. Inspección ultrasónica básica	17
vi. Formas de vibración ultrasónica (modos de onda)	21
vii. Refracción y conversión de modo	23
viii. Variables ultrasónicas	27
ix. Características del haz ultrasónico	29
<b>Capítulo II: Discontinuidades en los Materiales</b>	<b>35</b>
i. Clasificación de discontinuidades	35
<b>Capítulo III: Inspección de Soldaduras</b>	<b>69</b>
i. Uso de palpadores de haz angular	69
ii. Ubicación de las discontinuidades usando el palpador de haz angular	73
iii. Inspección de soldaduras por ultrasonido	75
<b>Capítulo IV: Documentos</b>	<b>109</b>
i. Códigos, normas y especificaciones	109
ii. Procedimientos de inspección	112
iii. Reporte de resultados	113

<b>Capítulo V: Criterios de Aceptación</b>	<b>115</b>
i. Códigos, normas y especificaciones	115
Código ASME, Sección VIII, División 1, Apéndice 12	116
Código AWS D1.1, Sección 6, Parte C, Párrafo 6.13	117
Estándar API 1104, Sección 9	121
<b>Capítulo VI: Anexos</b>	<b>123</b>
Código ASME, Sección V, Artículo 4	124
Código AWS D1.1, Sección 6, Parte F	139
Procedimiento para la inspección ultrasónica de placas de acero	162
<b>Capítulo VII: Fórmulas y Tablas</b>	<b>171</b>
Fórmulas	171
Propiedades acústicas	174

# INTRODUCCION

## i. ¿Qué son las pruebas no destructivas?

Las Pruebas no Destructivas son herramientas fundamentales y esenciales para el control de calidad de materiales de ingeniería, procesos de manufactura, confiabilidad de productos en servicio y mantenimiento de sistemas, cuya falla prematura puede ser costosa o desastrosa. Así como la mayoría de procedimientos complejos, no pueden ser definidas en pocas palabras, por lo cual se definen como: *“El empleo de propiedades físicas o químicas de materiales, para la evaluación indirecta de materiales sin dañar su utilidad futura”*.

Se identifican comúnmente con las siglas: *PND*; y se consideran sinónimos a: Ensayos no destructivos (*END*), inspecciones no destructivas y exámenes no destructivos.

## ii. Antecedentes históricos

El método de prueba no destructiva original, y más antiguo, es la inspección visual; una extensión de esta prueba son los líquidos penetrantes, el inicio de los cuales es considerado con la aplicación de la técnica del “aceite y el talco (blanqueador)”. A continuación se proporciona una serie de fechas relacionadas con acontecimientos históricos, descubrimientos, avances y aplicaciones, de algunas pruebas no destructivas.

- 1868 Primer intento de trabajar con los campos magnéticos
- 1879 Hughes establece un campo de prueba
- 1879 Hughes estudia las Corrientes Eddy
- 1895 Roentgen estudia el tubo de rayos catódicos
- 1895 Roentgen descubre los rayos “X”
- 1896 Becquerel descubre los rayos "Gamma"
- 1900 Inicio de los líquidos penetrantes en FFCC
- 1911 ASTM establece el comité de la técnica de MT
- 1928 Uso industrial de los campos magnéticos
- 1930 Theodore Zuschlag patenta las Corrientes Eddy
- 1931 Primer sistema industrial de Corrientes Eddy instalado
- 1941 Aparecen los líquidos fluorescentes
- 1945 Dr. Floy Firestone trabaja con Ultrasonido
- 1947 Dr. Elmer Sperry aplica el UT en la industria

### iii. Falla de materiales

Debemos aclarar la diferencia entre productos, de acuerdo con sus aplicaciones:

- Algunos productos son usados únicamente como decorativos, o tienen requisitos de resistencia a esfuerzos tan bajos que son normalmente sobre diseñados, estos materiales pueden requerir la inspección solamente para asegurar que mantienen su calidad de fabricación, como el color y acabado.
- Los productos o materiales que necesitan pruebas y evaluación cuidadosa son aquellos utilizados para aplicaciones en las cuales deben soportar cargas, temperatura, etc.; bajo estas condiciones la *falla* puede involucrar el sacar de operación y desechar el producto, reparaciones costosas, dañar otros productos y la pérdida de la vida humana.

Se define como *"Falla"* a: *"el hecho que un artículo de interés no pueda ser utilizado"*.

Aunque un artículo fabricado es un producto, el material de ese producto puede fallar; así que los tipos de falla del material y sus causas son de gran interés. Existen dos tipos generales de falla: una es fácil de reconocer y corresponde a la *"fractura o separación en dos o más partes"*; la segunda es menos fácil de reconocer y corresponde a la *"deformación permanente o cambio de forma y/o posición"*.

Es de gran importancia conocer el tipo de falla que se puede esperar, para que puedan responderse las siguientes cuestiones:

- ¿Para qué se realiza la inspección?
- ¿Qué método de inspección se debe utilizar?
- ¿Cómo se va a llevar a cabo la inspección?
- ¿Cómo se reduce el riesgo de falla?, y
- ¿Cómo se elimina la falla?

Si esperamos evitar la falla por medio del uso de pruebas no destructivas, estas deben ser seleccionadas, aplicadas y los resultados deben ser interpretados y evaluados con cuidado y basándose en el conocimiento válido de los mecanismos de falla y sus causas. El conocimiento de los materiales y sus propiedades es muy importante para cualquier persona involucrada con las pruebas no destructivas. El propósito del diseño y aplicación de las pruebas debe ser el control efectivo de los materiales y productos, con el fin de satisfacer un servicio sin que se presente la falla prematura o un daño.

La fuente de la falla puede ser:

- Una discontinuidad,
- Un material químicamente incorrecto, o
- Un material tratado de tal forma que sus propiedades no son adecuadas.

La detección de discontinuidades es considerada, normalmente, como el objetivo más importante para la aplicación de las pruebas no destructivas.

De hecho, la mayoría de pruebas está diseñada para permitir la detección de algún tipo de discontinuidad interior o exterior y, para ciertos casos, la determinación o medición de algunas características, puede ser de un solo material o grupos de materiales.

Para efectos de evaluación mediante Pruebas no Destructivas los términos irregularidad, imperfección, discontinuidad y falla son usados indiferentemente, como sinónimos, para identificar algo que está presente en el objeto, parte o ensamble y que es cuestionable su presencia.

A continuación se proporciona la definición (del documento E 1316 de ASTM) de algunos términos utilizados para efectuar la interpretación y evaluación de los resultados obtenidos al aplicar Pruebas no Destructivas.

### **Discontinuidad**

Una falta de continuidad o cohesión; una interrupción o variación en la estructura o configuración física normal de un material o componente.

Se considera como discontinuidad a cualquier cambio en la geometría, huecos, grietas, composición, estructura o propiedades. Las discontinuidades pueden ser intencionales o no intencionales. Algunas discontinuidades, como barrenos o formas de superficies, son intencionales en el diseño, normalmente estas no requieren ser inspeccionadas. Otras discontinuidades son inherentes en el material por su composición química o su estructura, estas discontinuidades pueden variar ampliamente en tamaño, distribución e intensidad, dependiendo del material, el tratamiento térmico, el proceso de fabricación, las condiciones y el medio ambiente al que están expuestos los materiales.

En general, existen dos clasificaciones de discontinuidades:

1. Por su forma:
  - Volumétricas – Descritas porque tienen tres dimensiones o volumen
  - Planas – Descritas porque son delgadas en una dimensión y grandes en las otras dos dimensiones

## 2. Por su ubicación:

- Superficiales – Descritas porque se encuentran abiertas a la superficie
- Internas – Descritas porque no interceptan la superficie

Otras clasificaciones de discontinuidades:

- Relevantes – Son aquellas que por alguna de sus características (longitud, diámetro, ubicación, forma, etc.) deben ser interpretadas, evaluadas y reportadas.
- No relevantes – Son aquellas que por sus características se interpretan pero no se evalúan, y que deberían ser registradas.
- Lineales – Son aquellas con una longitud mayor que tres veces su ancho.
- Redondas – Son aquellas de forma elíptica o circular que tienen una longitud igual o menor que tres veces su ancho.

### **Defecto**

Es una o más discontinuidades cuyo tamaño agregado, forma, orientación, localización o propiedades no cumple con un criterio de aceptación especificado y que es rechazada.

También puede definirse como una discontinuidad que excede los criterios de aceptación establecidos, o que podría generar que el material o equipo falle cuando sea puesto en servicio o durante su funcionamiento.

### **Indicación**

Es la respuesta o evidencia de una respuesta, que se obtiene al aplicar alguna Prueba no Destructiva.

Se clasifican en tres tipos:

- Indicaciones falsas – Una indicación que se interpreta como que ha sido producida por otra causa que no sea una discontinuidad. Se presentan normalmente por la aplicación incorrecta de la prueba.
- Indicaciones no relevantes – Una indicación que se produce por una condición o tipo de discontinuidad que no es rechazada. Son creadas normalmente por el acabado superficial o la configuración del material.
- Indicaciones verdaderas – Una indicación que se produce por una condición o tipo de discontinuidad que requiere evaluación. Son aquellas producidas por discontinuidades.

Al aplicar una prueba no destructiva los técnicos observan indicaciones, por lo que deben determinar cuales son producidas por discontinuidades.

#### iv. Clasificación de las Pruebas no Destructivas

La clasificación de las pruebas no destructivas se basa en la posición en donde se localizan las discontinuidades que pueden ser detectadas, por lo que se clasifican en:

1. Pruebas no destructivas superficiales.
2. Pruebas no destructivas volumétricas.
3. Pruebas no destructivas de hermeticidad.

##### 1. Pruebas no destructivas superficiales

Estas pruebas proporcionan información acerca de la sanidad superficial de los materiales inspeccionados. Los métodos de PND superficiales son:

- VT** – Inspección Visual
- PT** – Líquidos Penetrantes
- MT** – Partículas Magnéticas
- ET** – Electromagnetismo

En el caso de utilizar VT y PT se tiene la limitante para detectar únicamente discontinuidades superficiales (abiertas a la superficie); y con MT y ET se tiene la posibilidad de detectar tanto discontinuidades superficiales como sub-superficiales (las que se encuentran debajo de la superficie pero muy cercanas a ella).

##### 2. Pruebas no destructivas volumétricas

Estas pruebas proporcionan información acerca de la sanidad interna de los materiales inspeccionados. Los métodos de PND volumétricos son:

- RT** – Radiografía Industrial
- UT** – Ultrasonido Industrial
- AE** – Emisión Acústica

Estos métodos permiten la detección de discontinuidades internas y sub-superficiales, así como bajo ciertas condiciones, la detección de discontinuidades superficiales.

##### 3. Pruebas no destructivas de hermeticidad

Estas pruebas proporcionan información del grado en que pueden ser contenidos los fluidos en recipientes, sin que escapen a la atmósfera o queden fuera de control. Los métodos de PND de hermeticidad son:



- LT** – Pruebas de Fuga
- Pruebas por Cambio de Presión (Neumática o hidrostática).
  - Pruebas de Burbuja
  - Pruebas por Espectrómetro de Masas
  - Pruebas de Fuga con Rastreadores de Halógeno
- 

**v. Razones para el uso de PND**

Además de la detección y evaluación de discontinuidades, las PND son usadas para:

- La medición de dimensiones
  - Detectar fuga y su evaluación
  - Determinar localización y su evaluación
  - Caracterizar estructura o micro-estructura
  - Estimación de propiedades mecánicas y físicas
  - Identificar o separar materiales
  - Uniformidad en la producción
  - Ahorro en los costos de producción
  - Eliminar materia prima defectuosa
  - Mejoras en los sistemas de producción
  - Asegurar la calidad en el funcionamiento de sistemas en servicio, en plantas o diversos tipos de instalaciones, y prevenir la falla prematura durante el servicio
  - Diagnóstico después de la falla para determinar las razones de la misma.
- 

**vi. Factores para la selección de las PND**

Se considera que existen seis factores básicos involucrados en la selección de las PND

- Las razones para efectuar la PND
- 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

## vii. Calificación y certificación del personal de PND

Para aplicar las pruebas no destructivas se requiere:

- La calificación del método de inspección utilizado – Las PND deben llevarse a cabo de acuerdo con procedimientos escritos, que en ciertos casos deberían ser previamente calificados.
- La calificación del personal que realiza la inspección – Se considera que el éxito de cualquier prueba no destructiva es afectado *“principalmente por el personal que realiza, interpreta y/o evalúa los resultados de la inspección”*. Por esto, los técnicos que ejecutan las PND deben estar calificados y certificados.
- La administración del proceso de calificación y del personal para asegurar resultados consistentes – Actualmente existen dos programas aceptados para la calificación y certificación del personal que realiza PND, además de uno nacional.

Estos programas son:

- La Practica Recomendada SNT-TC-1A, editada por ASNT,
- La Norma ISO-9712, editada por ISO, y
- La Norma Mexicana NOM-B-482.

### **SNT-TC-1A**

Es una Práctica Recomendada que proporciona los lineamientos para el programa de calificación y certificación del personal de PND de una empresa. Es emitida por ASNT.

### **ASNT**

American Society For Nondestructive Testing (Sociedad Americana de Ensayos No Destructivos).

### **ISO 9712**

Es una Norma Internacional que establece un sistema para calificar y certificar, por medio de una agencia central nacional, el personal que realiza PND en la industria.

### **ISO**

International Organization for Standardization (Organización Internacional para Normalización).

## **Calificación**

Es el cumplimiento documentado de requisitos de: escolaridad, entrenamiento, experiencia y exámenes (teóricos, prácticos y físicos); establecidos en un programa escrito (procedimiento interno de la empresa, de acuerdo con SNT-TC-1A; o norma nacional, de acuerdo con ISO-9712).

El documento SNT-TC-1A considera que la empresa debe establecer un procedimiento o práctica escrita, para el control y administración del entrenamiento, exámenes y certificación del personal de PND.

La práctica o procedimiento escrito de la empresa debe describir la responsabilidad de cada nivel de certificación para determinar la aceptación de materiales o componentes de acuerdo con códigos, estándares, especificaciones y procedimientos aplicables. Además, debe describir los requisitos de entrenamiento, experiencia y exámenes para cada método y nivel de certificación.

La práctica escrita debe ser revisada y aprobada por el Nivel III en PND de la empresa, la cual debe mantenerse archivada.

Existen tres niveles básicos de calificación, los cuales pueden ser subdivididos por la empresa o el país para situaciones en las que se necesiten niveles adicionales para trabajos y responsabilidades específicas.

## **Niveles de Calificación**

### **Nivel I**

Es el individuo calificado para efectuar calibraciones específicas, para efectuar PND específicas, para realizar evaluaciones específicas para la aceptación o rechazo de materiales de acuerdo con instrucciones escritas, y para realizar el registro de resultados.

El personal Nivel I debe recibir la instrucción o supervisión necesaria de un individuo certificado como nivel III o su designado.

### **Nivel II**

Es el individuo calificado para ajustar y calibrar el equipo y para interpretar y evaluar los resultados de prueba con respecto a códigos, normas y especificaciones. Esta familiarizado con los alcances y limitaciones del método y puede tener la responsabilidad asignada del entrenamiento en el lugar de trabajo de los niveles I y aprendices. Es capaz de preparar instrucciones escritas y organizar y reportar los resultados de prueba.

### **Nivel III**

Es el individuo calificado para ser el responsable de establecer técnicas y procedimientos; interpretar códigos, normas y especificaciones para establecer el método de prueba y técnica a utilizarse para satisfacer los requisitos; debe tener respaldo práctico en tecnología de materiales y procesos de manufactura y estar familiarizado con métodos de PND comúnmente empleados; es responsable del entrenamiento y exámenes de niveles I y II para su calificación.

### **Capacitación (entrenamiento)**

Es el programa estructurado para proporcionar conocimientos teóricos y desarrollar habilidades prácticas en un individuo a fin de que realice una actividad definida de inspección.

### **Experiencia Práctica**

No se puede certificar personal que no tenga experiencia práctica en la aplicación de PND, por lo que:

- El técnico Nivel I: Debe adquirir experiencia como aprendiz.
- El técnico Nivel II: Debe trabajar durante un tiempo como nivel I.
- El técnico Nivel III: Debió ser aprendiz, nivel I y haber trabajado al menos uno o dos años como nivel II.

Esta experiencia debe demostrarse con documentos, que deben mantenerse en expedientes o archivos para su verificación.

### **Exámenes Físicos**

Tienen la finalidad de demostrar que el personal que realiza las PND es apto para observar adecuada y correctamente las indicaciones obtenidas.

Los exámenes que se requieren son:

- Agudeza visual lejana, o
- Agudeza visual cercana, y
- Discriminación cromática.

Para los exámenes de agudeza visual el técnico debe ser capaz de leer un tipo y tamaño de letra específicos a una cierta distancia; En el caso del examen de diferenciación de colores, debe ser capaz de distinguir y diferenciar los colores usados en el método en el cual será certificado.

## Exámenes

Los exámenes administrados para calificación de personal nivel I y II consisten de: un examen general, un específico y un práctico. De acuerdo con SNT-TC-1A, la calificación mínima aprobatoria, de cada examen, es de 70% y, además, el promedio simple mínimo de la calificación de los tres exámenes es de 80%.

## Certificación

La certificación es el testimonio escrito de la calificación. La certificación del personal de PND de todos los niveles es responsabilidad de la empresa contratante (de acuerdo con SNT-TC-1A) o de la agencia central (de acuerdo con ISO-9712), y debe basarse en la demostración satisfactoria de los requisitos de calificación.

El documento SNT-TC-1A recomienda contar con registros de certificación del personal, los cuales deben mantenerse archivados por la empresa durante el tiempo especificado en el procedimiento escrito de la empresa, y deberían incluir lo siguiente:

1. Nombre del individuo certificado.
2. Nivel de certificación y el método de PND.
3. Educación y el tiempo de experiencia del individuo certificado.
4. El establecimiento indicando el cumplimiento satisfactorio del entrenamiento, de acuerdo con los requisitos de la práctica escrita de la empresa.
5. Resultados de los exámenes de la vista para el periodo de certificación vigente.
6. Copias de los exámenes o evidencia del cumplimiento satisfactorio de los mismos.
7. Otras evidencias adecuadas de calificaciones satisfactorias, cuando tales calificaciones sean usadas para la exención del examen específico como se describa en la práctica escrita del empleador.
8. Calificación compuesta o evidencia adecuada de las calificaciones.
9. Firma del Nivel III que verifica la calificación del candidato para su certificación.
10. Fecha de certificación y / o re-certificación, y la fecha de asignación a PND.
11. Fecha en la que expira la certificación.
12. Firma de la autoridad certificadora del empleador.

La certificación tiene validez temporal únicamente. ISO y ASNT establecen un periodo de vigencia de la certificación de:

- Tres años para los niveles I y II.
- Cinco años para los niveles III.

Todo el personal de PND debe ser re-certificado, de acuerdo con SNT-TC-1A basándose en uno de los siguientes criterios:

- Evidencia de continuidad laboral satisfactoria en Pruebas no Destructivas.
- Reexaminación.

# CAPITULO UNO: REPASO DE NIVEL I

## i. Principios de ultrasonido

El sonido es la propagación de energía mecánica (vibraciones con frecuencias de 16 a 20,000 ciclos / segundo, que pueden ser percibidas por el oído humano) a través de sólidos, líquidos y gases. La facilidad con la cual viaja el sonido depende, sobre todo, de su frecuencia y la naturaleza del medio.

“Ultrasonido” es el nombre dado al estudio y aplicación de ondas sónicas que se transmiten a frecuencias mayores que las que pueden ser detectadas por el oído humano, arriba de 20,000 Hz (Hertz o ciclos por segundo). En las pruebas ultrasónicas por contacto, el rango de frecuencias comúnmente usado es de 2.25 a 10 MHz (Megahertz o millones de ciclos por segundo). En algunos casos particulares se emplean frecuencias debajo de este rango, y para métodos de inmersión, las frecuencias pueden ser de hasta 30 MHz.

A frecuencias mayores a 100,000 ciclos / segundo, y gracias a su energía, el ultrasonido forma un haz, similar a la luz, por lo que puede ser utilizado para rastrear el volumen de un material. Un haz ultrasónico cumple con algunas reglas físicas de óptica por lo que puede ser reflejado, refractado, difractado y absorbido.

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.

---

## ii. Inspección por ultrasonido

La inspección ultrasónica actualmente se realiza por el método básico en el cual:

*“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”.*

El principio físico en el que se basa la inspección por *ultrasonido* es el hecho que los materiales diferentes presentan diferentes *“Impedancias Acústicas”*.

## Sistema de inspección ultrasónica

Cuando se lleva a cabo una inspección por ultrasonido industrial, tanto para la detección de fallas como para la medición de espesores, se requiere del uso de un Sistema de Inspección Ultrasónica (figura No.1), que consiste de los componentes básicos siguientes:

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



**Figura No. 1: Sistema de Inspección Ultrasónica**

El diseño de los componentes y su arreglo dependen, en primer lugar, de las características específicas de propagación del ultrasonido que es utilizado para la detección y medición de características o propiedades de la pieza. Las características involucradas pueden incluir a:

1. La velocidad de propagación;
2. La geometría del haz;
3. La energía transferida;
4. Las pérdidas de energía.

## Antecedentes Históricos

La posibilidad de utilizar el ultrasonido para realizar pruebas no destructivas fue reconocida en 1930 en Alemania por Mulhauser, Trost y Pohlman, y en Rusia por Sokoloff, quienes investigaron varias técnicas empleando ondas continuas.

Los equipos detectores de fallas fueron originalmente desarrollados, basándose en el principio de la interceptación de la energía ultrasónica por discontinuidades grandes durante el paso del haz ultrasónico.

Posteriormente, esta técnica recibió el nombre de inspección “*a través*”. Este sistema presentaba ciertas limitaciones, principalmente, la necesidad del acceso en ambas superficies de la pieza inspeccionada para colocar un transductor en cada superficie.

No se encontró un método práctico de inspección hasta que Firestone (EUA) inventó un aparato empleando haces de ondas ultrasónicas pulsadas para obtener reflexiones de defectos pequeños, conocido como "Reflectoscopio Supersónico", que fue mejorado por el rápido crecimiento de la instrumentación electrónica. En el mismo periodo en Inglaterra, Sproule desarrolló equipos de inspección ultrasónica en forma independiente.

Como sucedió en la inspección radiográfica, al principio, los equipos fueron desarrollados para ser usados como herramientas de laboratorio y no como equipos de inspección.

Rápidamente se encontraron aplicaciones para la inspección por ultrasonido durante la producción de partes para la detección de problemas críticos de control de calidad.

Entre las más importantes aplicaciones iniciales del método destaca la inspección para la detección de discontinuidades internas en forjas para rotores de motores utilizados en la industria aeronáutica. Al mismo tiempo se realizaron investigaciones fundamentales y de aplicaciones.

En la universidad de Michigan, Firestone y su grupo de trabajo investigaron los mecanismos de operación de los transductores, el uso de ondas transversales, la aplicación de las ondas superficiales o de Rayleigh, el dispositivo Raybender para la inspección por haz angular con variación del ángulo, el empleo de la columna de retardo para la inspección en zonas cercanas a la superficie de entrada, un método de resonancia por pulsos para la medición de espesores, y varias técnicas empleando ondas de placa o de Lamb.

Otras aplicaciones importantes fueron: el desarrollo y empleo del medidor de espesores de resonancia por frecuencia modulada por Erwin; el mejoramiento de los sistemas de inspección por inmersión efectuado por Erdman; y varias técnicas ultrasónicas de visualización o graficado de discontinuidades elaboradas y aplicadas por Sproule, Erdman, Wild, Reid, Howry y otros.



El desarrollo reciente del método de inspección por ultrasonido esta relacionado, en primera instancia, con lo siguiente:

1. Alta velocidad en la aplicación de sistemas automatizados de inspección.
2. Instrumentos mejorados para obtener gran resolución en la detección de fallas.
3. Una mejor presentación de los datos.
4. Interpretación simple de los resultados.
5. Estudio avanzado de los cambios finos de las condiciones metalúrgicas.
6. Análisis detallado de los fenómenos acústicos involucrados.

Durante este período aquello relacionado directamente con la aplicación del método de inspección por ultrasonido ha contribuido para que llegue a ser utilizado en gran escala, y en el establecimiento de procedimientos y normas, particularmente en la industria aérea, eléctrica y en el campo de la energía nuclear.

El primer instrumento ultrasónico medidor de espesores comercial, que usaba los principios derivados del sonar, fue introducido al final de los años 40. En los años 70 fueron comunes los instrumentos portátiles pequeños utilizados para una amplia variedad de aplicaciones. Recientemente, los avances en la tecnología de microprocesadores ha dejado nuevos niveles de funcionalidad en instrumentos miniatura sofisticados y fáciles de usar.

## **Aplicaciones**

Ya que la inspección ultrasónica se basa en un fenómeno mecánico, se puede adaptar para que pueda determinarse la integridad estructural de los materiales de ingeniería.

Se utiliza en el control de calidad e inspección de materiales, en diferentes ramas de la industria.

Sus principales aplicaciones consisten en:

1. Detección y caracterización de discontinuidades;
2. Medición de espesores, extensión y grado de corrosión;
3. Determinación de características físicas, tales como: estructura metalúrgica, tamaño de grano y constantes elásticas;
4. Definir características de enlaces (uniones);
5. Evaluación de la influencia de variables de proceso en el material.

## **Ventajas**

Las principales ventajas de la inspección por ultrasonido son:

- Un gran poder de penetración, lo que permite la inspección de grandes espesores;
- Gran sensibilidad, lo que permite la detección de discontinuidades extremadamente pequeñas;

- Gran exactitud al determinar la posición, estimar el tamaño, caracterizar orientación y forma de las discontinuidades;
- Se necesita una sola superficie de acceso;
- La interpretación de los resultados es inmediata;
- No existe peligro o riesgo en la operación de los equipos;
- Los equipos son portátiles;
- Su aplicación no afecta en operaciones posteriores, y
- Los equipos actuales proporcionan la capacidad de almacenar información en memoria, la cual puede ser procesada digitalmente por una computadora para caracterizar la información almacenada.

### Limitaciones

Las limitaciones de la inspección por ultrasonido incluyen las siguientes:

- La operación del equipo y la interpretación de los resultados requiere técnicos experimentados;
- Se requiere gran conocimiento técnico para el desarrollo de los procedimientos de inspección;
- La inspección se torna difícil en superficies rugosas o partes de forma irregular, en piezas pequeñas o muy delgadas;
- Discontinuidades sub-superficiales pueden no ser detectadas;
- Es necesario el uso de un material acoplante, y
- Son necesarios patrones de referencia, para la calibración del equipo y caracterización de discontinuidades.

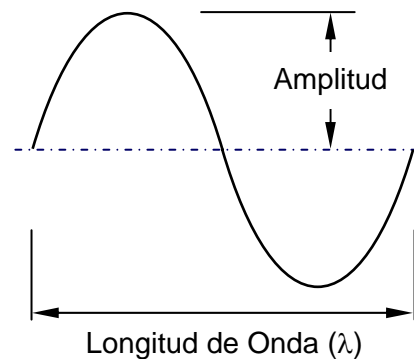
### iii. Relación entre Velocidad, Longitud de Onda y Frecuencia

La transmisión del ultrasonido se caracteriza por vibraciones periódicas representadas por un “*movimiento ondulatorio*”. La figura No. 2 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:

$$V = \lambda \times f$$

Donde:  $V$  = Velocidad acústica (pulgadas / segundo o milímetros / segundo)  
 $\lambda$  = Longitud de onda (pulgadas o milímetros)  
 $f$  = Frecuencia (ciclos / segundo o Hertz)

Figura No. 2: Ciclo de vibración



Ejemplos típicos del empleo de esta ecuación son los siguientes:

- a) ¿Cuál será la longitud de onda cuando se inspecciona aluminio cuya velocidad de propagación es de  $6.32 \times 10^6$  mm / seg y empleando una frecuencia de 5 MHz?

$$V = \lambda \times f$$

Si despejamos  $\lambda$  entonces:

$$\lambda = V / f = 6.32 \times 10^6 \text{ mm / seg} / 5 \times 10^6 \text{ ciclos / seg} = 1.264 \text{ mm}$$

- b) Si se considera que el tamaño equivalente de discontinuidad más pequeña que teóricamente puede ser detectado ( $\varnothing_c$ ) es aproximadamente la mitad de la longitud de onda, ¿cuál será el tamaño de la discontinuidad más pequeña que se detectaría empleando la frecuencia del ejemplo anterior y en el mismo material?

$$\varnothing_c = \lambda/2, \text{ por lo tanto si } \lambda = 1.264 \text{ mm, entonces } \varnothing_c = \lambda/2 = 1.264 \text{ mm} / 2 = 0.632 \text{ mm}$$

#### iv. Generación y recepción de vibraciones ultrasónicas

Las vibraciones ultrasónicas son generadas por la aplicación de pulsos eléctricos de alta frecuencia al elemento “transductor” (elemento o cristal piezoeléctrico), contenido en una unidad de rastreo (“palpador”). El elemento transductor transforma la energía eléctrica en energía ultrasónica (mecánica), como ilustra la figura No. 3. El elemento transductor también recibe la energía ultrasónica y la trasforma en energía eléctrica.

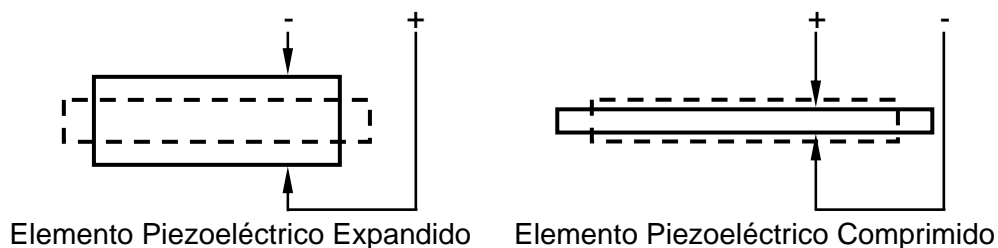
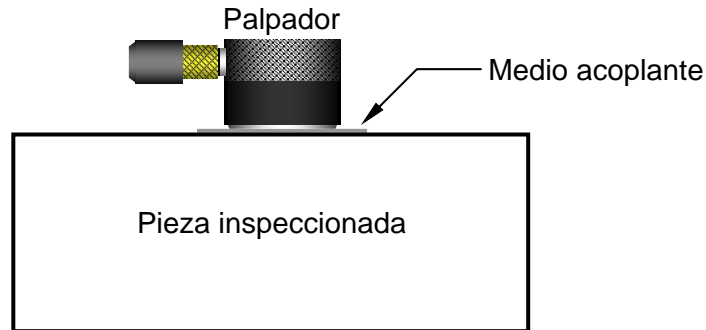


Figura No. 3: Voltaje alterno aplicado a un elemento piezoeléctrico

La energía ultrasónica es transmitida entre el palpador y la pieza de prueba a través de un “*medio acoplante*”, tal como aceite, gel, agua, etc., como se muestra en la figura No. 4. El propósito principal del acoplante es eliminar la interfase con aire, entre el transductor y la superficie de la pieza de inspección, ya que el aire es un pobre transmisor del ultrasonido.

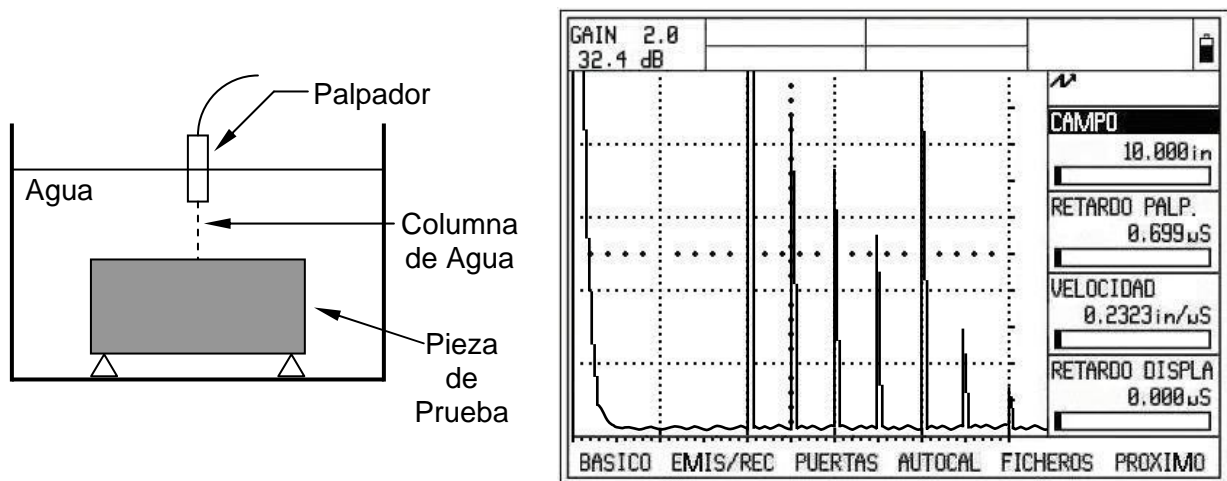


**Figura No. 4: Uso de un medio acoplante**

**v. Inspección ultrasónica básica**

**Métodos de acoplamiento (contacto e inmersión)**

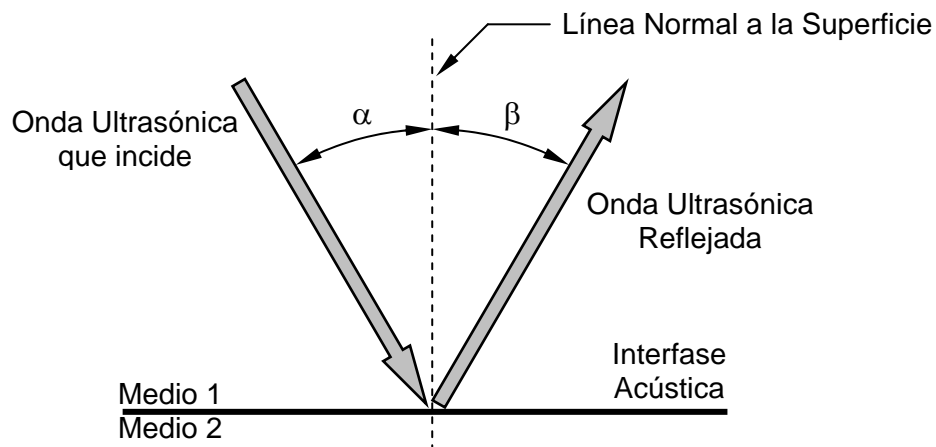
En el método de inspección ultrasónica por “*contacto*”, el palpador es directamente colocado sobre la superficie de la pieza inspeccionada, utilizando una capa delgada de acoplante, como gel, para transmitir el ultrasonido dentro de la pieza inspeccionada, como se observa en la figura No. 4. En el método de “*inmersión*”, la pieza de prueba o el palpador, o ambos, se encuentran sumergidos en el acoplante, usualmente agua, y el ultrasonido es transmitido a través del agua hasta la pieza, como muestra en la figura No. 5.



**Figura No. 5: Método de acoplamiento por inmersión**

## 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 No. 6.



$\alpha$  (Alfa) = Ángulo de incidencia  
 $\beta$  (Beta) = Ángulo de reflexión

**Figura No. 6: Reflexión ultrasónica en incidencia angular**

Entonces, la energía reflejada puede ser recibida por un transductor. Este transductor es normalmente el mismo transductor usado para generar el haz ultrasónico, pero puede ser un segundo transductor. El transductor convierte la energía ultrasónica recibida en energía eléctrica. El instrumento ultrasónico amplifica esta energía eléctrica y la presenta como una desviación vertical en un tubo de rayos catódicos (TRC), en una pantalla de cristal líquido o electro luminiscente, en los equipos más modernos. La forma común de presentar la información en pantalla se conoce como “*Barrido Tipo A*”.

## Métodos de presentación 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.

**Barrido Tipo “A”** – La presentación en “*Barrido A*” (A Scan) es el tipo de presentación más utilizada en el campo de las PND. 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 No. 7 muestra la presentación en Barrido Tipo A.

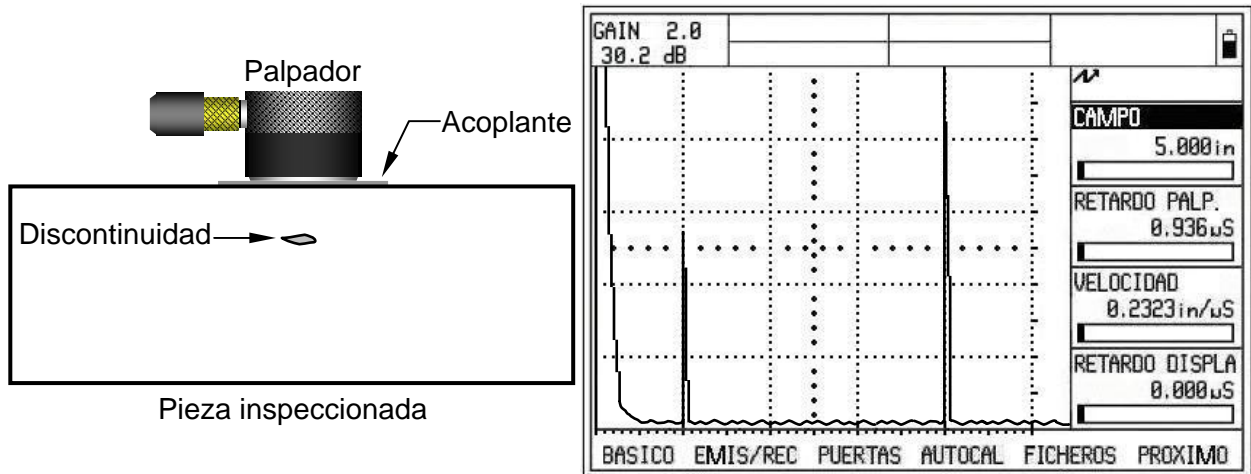


Figura No. 7: Barrido Tipo "A"

**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 No. 8. 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.

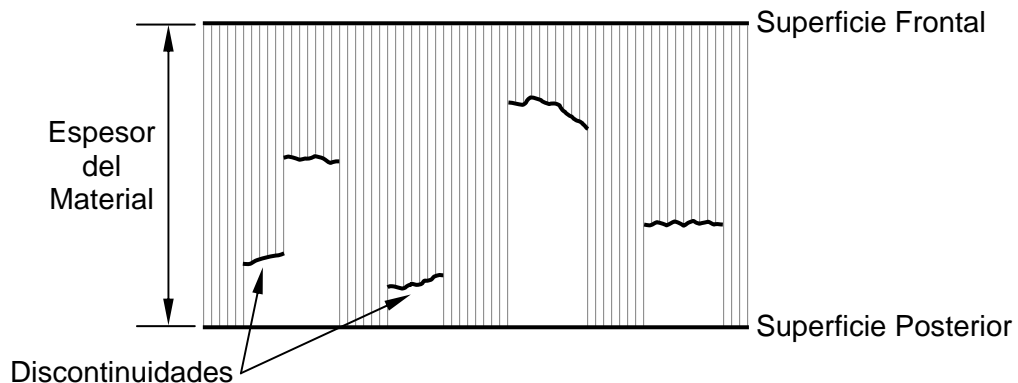
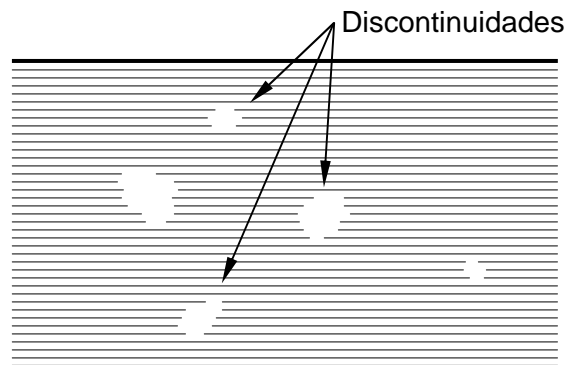


Figura No. 8: Barrido Tipo "B"

**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 No. 9. 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.

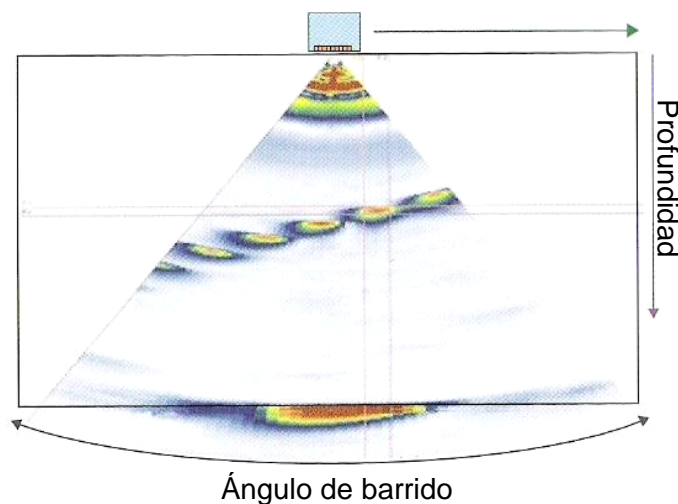
La inspección con presentación de barrido “C” es efectuada principalmente en conjunto con el método de inmersión y es poco usada en campo.



**Figura No. 9: Barrido Tipo “C”**

**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”.

**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 No. 10.



**Figura No. 10: Barrido Tipo “S”**

## vi. 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:

- Ondas Longitudinales o de Compresión;
- Ondas de Corte o Transversales;
- Ondas Superficiales o de Rayleigh; y
- 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.

### 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 No. 11. Esta forma de onda se propaga a través de sólidos, líquidos y gases.

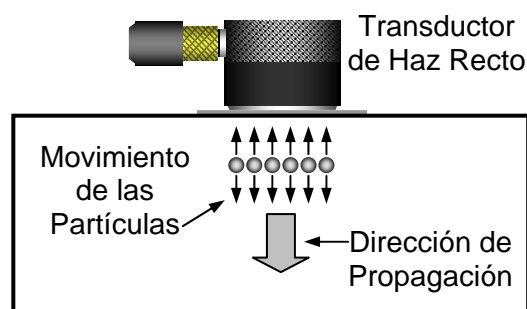


Figura No. 11: Ondas Longitudinales

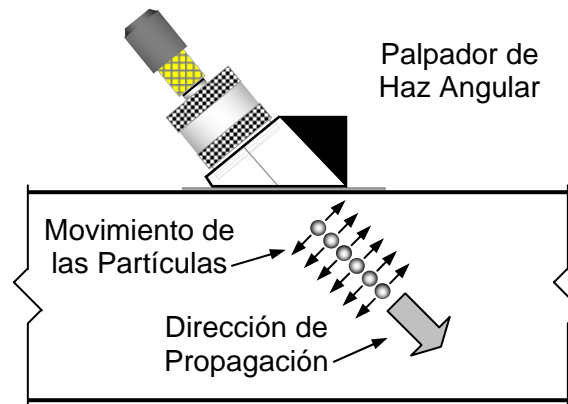
### Ondas de Corte

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 No. 12.

Las ondas de corte viajan a, aproximadamente, 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 interfase, 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  $90^\circ$ , con respecto a la superficie del material sujeto a inspección. Sólo se transmiten en sólidos.



**Figura No. 12: Ondas de Corte**

### 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 subsuperficiales localizadas hasta una profundidad de aproximadamente una longitud de onda.

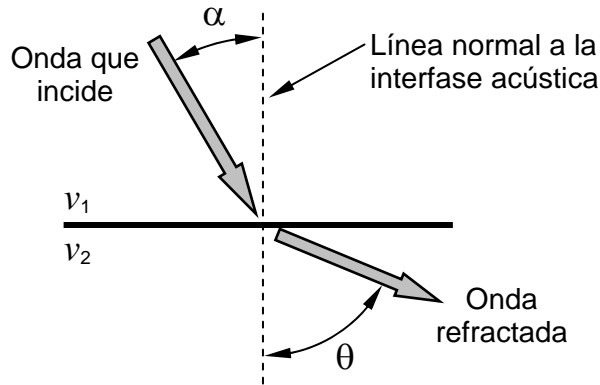
Las ondas superficiales sólo se transmiten en sólidos. El movimiento de las partículas es elíptico. La velocidad de propagación es aproximadamente el 90% de la velocidad de las ondas de corte en el mismo medio.

### Ondas de 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.

**vii. Refracción y conversión de modo**

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 interfase que separa los dos medios, ocurre el fenómeno conocido como “refracción”, ver la figura No. 13.



**Figura No. 13: Refracción**

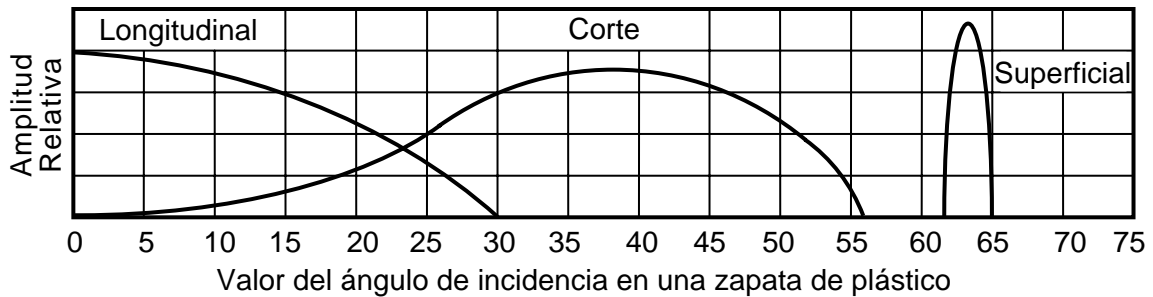
Los ángulos de las ondas de incidencia y refractadas cumplen con la “Ley de Snell”, la cual, como se utiliza en la inspección ultrasónica, se expresa como sigue:

$$\frac{\text{Sen } \alpha}{v_1} = \frac{\text{Sen } \theta}{v_2} \Rightarrow \frac{\text{Sen } \alpha}{\text{Sen } \theta} = \frac{v_1}{v_2}$$

- Donde:
- $\alpha$  = Ángulo entre la línea normal a la interfase acústica y la onda ultrasónica que incide, en el medio 1
  - $\theta$  = Ángulo entre la línea normal a la interfase 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

Cuando una onda longitudinal que incide es normal a la superficie de la pieza de prueba ( $\alpha = 0^\circ$ ), la onda ultrasónica longitudinal es transmitida en forma recta en la pieza de prueba y no ocurre la refracción. Cuando se gira el ángulo de incidencia ( $\alpha$  se incrementa), ocurre la “refracción” y la “conversión de modo”; dentro del material sujeto a inspección, la onda ultrasónica longitudinal que incide es transmitida como una onda longitudinal y una onda transversal, con una dirección e intensidad variables. Los ángulos de las ondas longitudinales y transversales refractadas son determinados por la Ley de Snell. La figura No. 14 muestra la energía relativa de las ondas longitudinales, transversales y superficiales en acero para diferentes ángulos de incidencia de ondas longitudinales en plástico. Las curvas mostradas fueron obtenidas usando zapatas de plástico sobre acero.

Cuando  $\theta$  alcanza un valor de  $90^\circ$  para la onda longitudinal refractada, el valor de  $\alpha$  es conocido como “*Primer Ángulo Crítico*”. A un ángulo de incidencia mayor al primer ángulo crítico no se tienen ondas longitudinales refractadas en el medio 2, solamente existirán ondas transversales refractadas.



**Figura No. 14: Conversión de modo**

Cuando  $\theta$  alcanza un valor de  $90^\circ$  para la onda transversal refractada, el valor de  $\alpha$  es conocido como “*Segundo Ángulo Crítico*”. A un ángulo de incidencia mayor al segundo ángulo crítico, en la pieza de prueba ya no se generarán ondas transversales en el medio 2. Si se emplea un ángulo de incidencia ligeramente mayor al segundo ángulo crítico ( $5^\circ$  a  $10^\circ$ ) se generarán ondas superficiales.

### Ejemplos de cálculos empelando la Ley de Snell

- a) Encontrar el primer ángulo crítico usando una zapata de plástico en aluminio.

$$\frac{\text{Sen } \alpha}{\text{Sen } \theta} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$\alpha = ? \text{ (Primer ángulo crítico)}$$

$$\theta = 90^\circ \text{ al primer ángulo crítico; Sen } 90^\circ = 1$$

$$v_1 = \text{Velocidad de la onda longitudinal en la zapata de plástico (Lucita)}$$

$$v_1 = 2.68 \times 10^6 \text{ mm/s}$$

$$v_2 = \text{Velocidad de la onda longitudinal en aluminio}$$

$$v_2 = 6.32 \times 10^6 \text{ mm/s}$$

$$\text{Sen } \alpha = (2.68 \times 10^6 \text{ mm/s} \times 1) / 6.32 \times 10^6 \text{ mm/s} = 0.424$$

$$\alpha = \text{Sen}^{-1} 0.424 = 25^\circ$$

- b) Encontrar el segundo ángulo crítico usando una zapata de plástico en aluminio.

$$\frac{\text{Sen } \alpha}{\text{Sen } \theta} = \frac{v_1}{v_2}$$

$\alpha = ?$  (Segundo ángulo crítico)

$\theta = 90^\circ$  al segundo ángulo crítico;  $\text{Sen } 90^\circ = 1$

$v_1 =$  Velocidad de la onda longitudinal en la zapata de plástico (Lucita)

$v_1 = 2.68 \times 10^6$  mm/s

$v_2 =$  Velocidad de la onda de corte en aluminio

$v_2 = 3.13 \times 10^6$  mm/s

$$\text{Sen } \alpha = (2.68 \times 10^6 \text{ mm/s} \times 1) / 3.13 \times 10^6 \text{ mm/s} = 0.8562$$

$$\alpha = \text{Sen}^{-1} 0.8562 = 58.9^\circ$$

- c) Encontrar el ángulo de incidencia en plástico para generar ondas superficiales en aluminio.

$$\frac{\text{Sen } \alpha}{\text{Sen } \theta} = \frac{v_1}{v_2}$$

$\alpha = ?$  (Ángulo de incidencia)

$\theta = 90^\circ$  para ondas superficiales;  $\text{Sen } 90^\circ = 1$

$v_1 =$  Velocidad de la onda longitudinal en la zapata de plástico (Lucita)

$v_1 = 2.68 \times 10^6$  mm/s

$v_2 =$  Velocidad de la onda superficial en aluminio = 90% de la velocidad de corte

$v_2 = 3.13 \times 10^6 \text{ mm/s} \times 0.9 = 2.82 \times 10^6$  mm/s

$$\text{Sen } \alpha = (2.68 \times 10^6 \text{ mm/s} \times 1) / 2.82 \times 10^6 \text{ mm/s} = 0.9503$$

$$\alpha = \text{Sen}^{-1} 0.9503 = 71.9^\circ$$

- d) Encontrar el ángulo de incidencia en plástico para generar ondas de corte a 45° en acero.

$$\frac{\text{Sen } \alpha}{\text{Sen } \theta} = \frac{v_1}{v_2}$$

$\alpha = ?$  (Ángulo de incidencia)

$\theta = 45^\circ$ ;  $\text{Sen } 45^\circ = 0.7071$

$v_1 =$  Velocidad de la onda longitudinal en la zapata de plástico (Lucita)

$v_1 = 2.68 \times 10^6$  mm/s

$v_2 =$  Velocidad de la onda de corte en acero

$v_2 = 3.24 \times 10^6$  mm/s

$$\text{Sen } \alpha = (2.68 \times 10^6 \text{ mm/s} \times 0.7071) / 3.24 \times 10^6 \text{ mm/s} = 0.5849$$

$$\alpha = \text{Sen}^{-1} 0.5849 = 35.8^\circ$$

- e) Si una zapata de plástico proporciona un ángulo de refracción de ondas de corte en acero a 45°, ¿cuál será el ángulo de refracción en aluminio?

$$\frac{\text{Sen } \alpha}{\text{Sen } \theta} = \frac{v_1}{v_2}$$

$\alpha = ?$  (Ángulo de refracción en aluminio)

$\theta = 45^\circ$  (ángulo de refracción en acero);  $\text{Sen } 45^\circ = 0.7071$

$v_1 =$  Velocidad de la onda de corte en aluminio

$v_1 = 3.13 \times 10^6$  mm/s

$v_2 =$  Velocidad de la onda de corte en acero

$v_2 = 3.24 \times 10^6$  mm/s

$$\text{Sen } \alpha = (3.13 \times 10^6 \text{ mm/s} \times 0.7071) / 3.24 \times 10^6 \text{ mm/s} = 0.6831$$

$$\alpha = \text{Sen}^{-1} 0.6831 = 43^\circ$$

Lo anterior aplica a los casos donde el espesor de la pieza es mayor de una longitud de onda, porque cuando el espesor es menor de una longitud de onda, se generan ondas de Lamb.

### viii. Variables ultrasónicas

Las variables que se tratan a continuación son afectadas principalmente por el sistema de inspección ultrasónica (el instrumento, el palpador, la zapata, el medio de acoplamiento, etc.), y también se tratan algunas variables en la pieza inspeccionada. Es importante que el técnico en ultrasonido conozca los efectos de estas variables en los resultados de la inspección.

#### 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 ( $\rho$ ) y la velocidad de propagación del sonido ( $v$ ), o:

$$Z = \rho v$$

Donde:  $Z$  = Impedancia acústica, gramos / cm<sup>2</sup>-segundo  
 $\rho$  = Densidad del material, gramos / cm<sup>3</sup>  
 $v$  = Velocidad de propagación, cm / 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 interfases acústicas. A mayor diferencia entre las impedancias acústicas de las interfases, mayor será el porcentaje de reflexión. Las siguientes fórmulas se utilizan para realizar el cálculo de la energía reflejada y transmitida:

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

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

Donde:  $R$  = 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.

A continuación se proporciona un ejemplo del empleo de las ecuaciones anteriores:

- a) ¿Cuál será el porcentaje teórico de reflexión y transmisión en una interfase agua-acero?

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

$Z_1$  = Impedancia acústica del agua =  $1.48 \times 10^6 \text{ Kg / m}^2 \text{ s}$

$Z_2$  = Impedancia acústica del acero =  $45.63 \times 10^6 \text{ Kg / m}^2 \text{ s}$

$$R = \left( \frac{45.63 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2 \text{ s} - 1.48 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2 \text{ s}}{45.63 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2 \text{ s} + 1.48 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2 \text{ s}} \right)^2 = \left( \frac{45.63 - 1.48}{45.63 + 1.48} \right)^2$$

$$R = 0.8782 \cong 0.88$$

$$\%R = 0.88 \times 100 = 88\%$$

$$T = 1 - 0.88 = 0.12$$

$$\%T = 0.12 \times 100 = 12\%$$

### 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".

### Ancho de banda de frecuencias

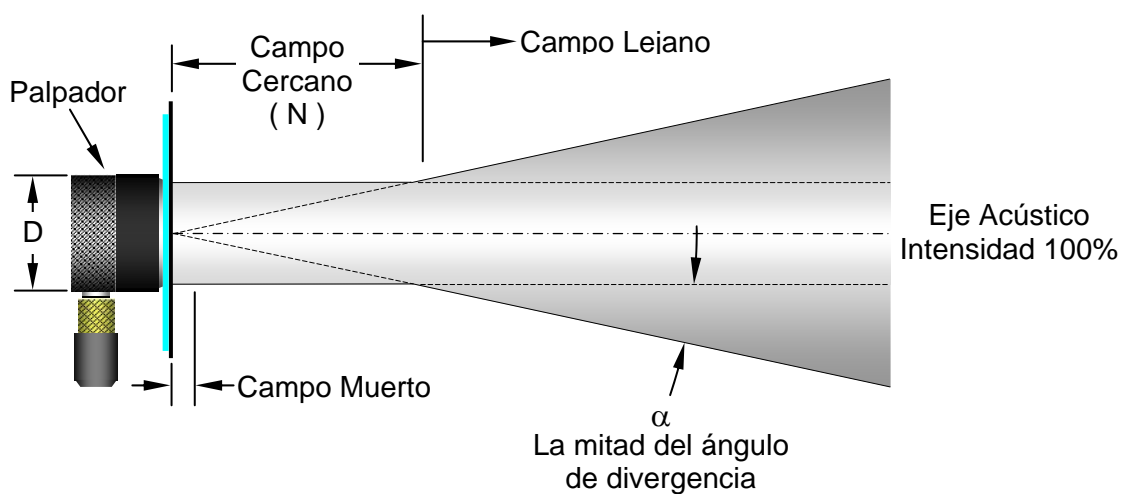
Lo descrito en el párrafo anterior sobre frecuencias se refiere a la frecuencia pico usada en la inspección. En todos los casos, el instrumento ultrasónico y el palpador producen una banda de energía ultrasónica que cubre un rango de frecuencias. El rango es expresado como ancho de banda.

Muchos procedimientos de inspección ultrasónica son sensibles a la frecuencia empleada y por lo tanto pueden ser afectados grandemente por las variaciones en el ancho de banda del sistema de inspección. Por ejemplo, ciertas inspecciones usan la pérdida de la reflexión de pared posterior como criterio de rechazo. La pérdida en la reflexión de pared posterior puede ser causada por la dispersión del sonido provocada por discontinuidades pequeñas por lo que es dependiente de la frecuencia pico y del ancho de banda de la inspección. Tanto el instrumento como el palpador afectan el ancho de banda. Por lo tanto, cuando se desarrolla un procedimiento con un instrumento y palpador en particular, es recomendable que se utilice el mismo modelo de instrumento y de palpador con respecto al fabricante, material del elemento transductor, material de amortiguamiento, tamaño y frecuencia, cuando se realiza una inspección.

Los instrumentos ultrasónicos son construidos de tal forma que emiten impulsos al palpador y miden la respuesta en diferentes maneras con respecto al ancho de banda. Sin considerar otros factores en este momento, una banda ancha significa una mejor resolución y una banda más angosta significa mayor sensibilidad. Los instrumentos ultrasónicos son diseñados de tal forma que, con respecto al ancho de banda, exista un compromiso entre una buena resolución y sensibilidad.

### ix. Características del haz ultrasónico

El haz ultrasónico no se comporta como un pistón, es decir, no tiene una proyección con lados rectos con intensidad uniforme desde la cara del transductor. El haz ultrasónico se esparce conforme se aleja de la cara del transductor y varía en intensidad. El perfil del haz ultrasónico conforme viaja en el material se ha dividido en diferentes zonas por sus características, figura No. 15.



**Figura No. 15: Haz ultrasónico**



## Zona muerta

En la inspección por contacto, existe un área frente a la cara del palpador en la que no se puede efectuar ningún tipo de inspección. No se puede observar la indicación producida por una discontinuidad porque el pulso inicial en la pantalla es demasiado grande. Si una discontinuidad estuviera cerca de la superficie, la energía reflejada regresaría al palpador mientras se encuentra todavía transmitiendo. La zona muerta o zona de no-inspección es inherente a todos los instrumentos ultrasónicos. En algunos equipos, la zona muerta no es demasiado obvia. Lo anterior es porque la longitud del pulso inicial puede ser disminuida electrónicamente. La longitud de la zona muerta puede ser estimada y medida en los equipos con presentación de Barrido Tipo "A", después de realizar la calibración en distancia, se mide la longitud desde el cero de la escala horizontal del equipo hasta que la inflexión del pulso inicial regresa a la línea de tiempo base. En el método de inmersión la zona muerta es la longitud del pulso reflejado en la interfase entre el agua y el material sujeto a inspección. Para minimizar la longitud de la zona muerta se emplean transductores con alto amortiguamiento, de banda ancha, que emiten pulso cortos.

## Campo cercano

Extendiéndose desde la cara del palpador existe un área que se caracteriza por las variaciones en la intensidad del haz ultrasónico.

Esta área se denomina campo cercano o zona de Fresnel. Debido a las variaciones en amplitud inherentes, esta zona no es recomendada para la inspección. En esta zona se puede detectar discontinuidades, medir espesores o conocer la profundidad a la que se encuentra una discontinuidad, pero para evaluar discontinuidades deben compararse contra indicaciones obtenidas de reflectores conocidos a diferentes profundidades dentro de zona y cuando su área es menor que la del transductor. Con diámetros de transductores y frecuencias más pequeñas se obtiene una longitud de campo cercano más corta. La longitud del campo cercano, como se observa en la figura No. 15, puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$N = \frac{D^2 f}{4 v} = \frac{D^2}{4 \lambda} = \frac{A}{\pi \lambda}$$

- Donde:
- N = Longitud del campo cercano
  - D = Diámetro del elemento transductor (pulgadas o milímetros)
  - $\lambda$  = Longitud de onda (pulgadas o milímetros)
  - f = Frecuencia (ciclos / segundo o Hertz)
  - v = Velocidad (pulgadas / segundo o milímetros / segundo)
  - A = Área del transductor (pulgadas o milímetros cuadrados)

En el caso de transductores no circulares el valor de “D” será aproximadamente:

$$D = \text{Lado} \times 1.125 \text{ (para transductores cuadrados)}$$

$$D \cong \text{Promedio de los lados} \times 1.1 \text{ (para transductores rectangulares)}$$

Sin embargo, siempre será mejor determinar la longitud del campo cercano en forma práctica.

A continuación se proporciona un ejemplo del empleo de las ecuaciones anteriores:

- a) ¿Cuál será la longitud del campo cercano cuando se inspecciona acero con un palpador de 3/4” de diámetro y frecuencia de 5 MHz?

$$N = \frac{D^2 f}{4 v}$$

N = ? (Longitud del campo cercano)

D = 3/4” = 0.750”; por lo tanto D<sup>2</sup> = 0.5625 pulgadas cuadradas

f = 5 MHz = 5 x 10<sup>6</sup> ciclos / segundo

v = 0.2330 x 10<sup>6</sup> pulgadas / segundo (Velocidad de la onda longitudinal en acero)

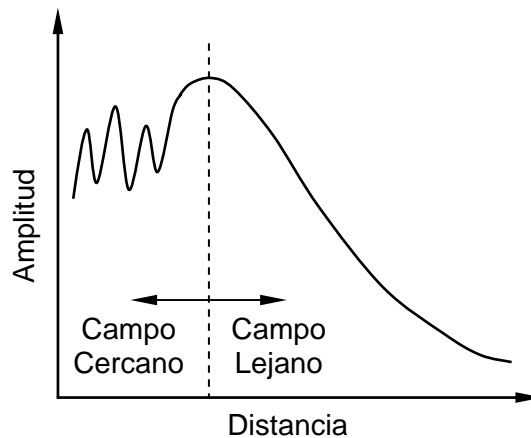
$$N = \frac{0.5625 \text{ pulgadas cuadradas} \times 5 \times 10^6 \text{ ciclos / segundo}}{4 \times 0.2330 \times 10^6 \text{ pulgadas / segundo}} = 3.02 \text{ pulgadas}$$

### Campo lejano

La zona que se encuentra después del campo cercano es llamada campo lejano, figura No. 15. En el campo lejano, o zona de Fraunhofer, la intensidad del haz ultrasónico decae de manera exponencial conforme se incrementa la distancia desde la cara del transductor.

### Distancia – amplitud

La figura No. 16 es un ejemplo de una curva de amplitud contra distancia. Note la curva irregular en el área del campo cercano. Lo importante que se debe recordar es que, cuando se inspecciona en el campo cercano, pueden ocurrir grandes variaciones en la amplitud de las indicaciones de discontinuidades de un mismo tamaño a diferentes profundidades. Siempre será mejor comparar las señales de discontinuidades con las señales de reflectores de los patrones de referencia, como por ejemplo, agujeros de fondo plano que se encuentren a la misma profundidad que la discontinuidad, o bien en una zona donde se pueda predecir el tamaño equivalente de la discontinuidad por medio de la amplitud; lo anterior puede realizarse solamente en el campo lejano.



**Figura No. 16: Curva de amplitud contra distancia**

### Divergencia del haz

En el campo cercano el haz ultrasónico se propaga en línea recta, desde la cara del palpador. En el campo lejano el sonido se esparce hacia fuera, como se muestra en la figura No. 15. A una frecuencia dada, entre mayor sea el diámetro del transductor, el haz será más recto; con transductores de menor diámetro, el haz tendrá una mayor divergencia. De la misma forma, con un mismo diámetro los transductores de mayor frecuencia, tendrán una menor divergencia.

La mitad del ángulo de divergencia ( $\alpha$ ) se calcula como sigue:

$$\text{Sen } \alpha = 1.22 \frac{\lambda}{D} = 1.22 \frac{v}{f D}$$

Donde:  $\alpha$  = La mitad del ángulo de divergencia (grados)

$D$  = Diámetro del elemento transductor (pulgadas o milímetros)

$\lambda$  = Longitud de onda (pulgadas o milímetros)

$f$  = Frecuencia (ciclos / segundo o Hertz)

$v$  = Velocidad (pulgadas / segundo o milímetros / segundo)

Ejemplo del empleo de las ecuaciones anteriores:

- a) Si se inspecciona aluminio con un transductor de 5 MHz y 0.250" de diámetro, ¿cuál será la mitad del ángulo de divergencia?

$$\text{Sen } \alpha = 1.22 \frac{v}{f D}$$

$\alpha = ?$  (La mitad del ángulo de divergencia en grados)

$D = 0.250$  pulgadas

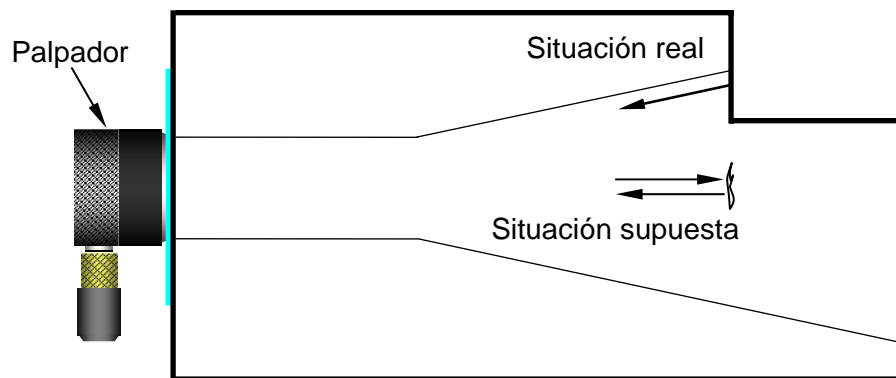
$f = 5 \text{ MHz} = 5 \times 10^6$  ciclos / segundo

$v = 0.249 \times 10^6$  pulgadas / segundo (Velocidad onda longitudinal en aluminio)

$$\text{Sen } \alpha = 1.22 \frac{0.249 \times 10^6 \text{ pulgadas / segundo}}{5 \times 10^6 \text{ ciclos / segundo} \times 0.250 \text{ pulgadas}} = 0.243$$

$$\alpha = \text{Sen}^{-1} 0.243 = 14^\circ$$

Es importante considerar la divergencia cuando se realizan inspecciones ya que, en ciertas aplicaciones, la parte del haz ultrasónico que ha sido divergencia puede reflejarse en las paredes o extremos del componente y ocasionar una confusión en las señales de la pantalla, como se observa en la figura No. 17.



**Figura No. 17: Efecto de la divergencia del haz**

### Lóbulos laterales

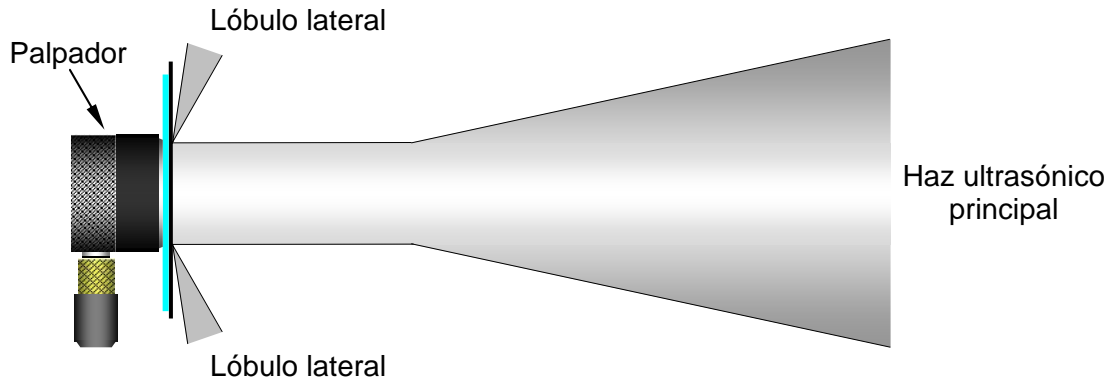
Todos los palpadores, aún cuando emiten ondas ultrasónicas rectas, generan una pequeña cantidad de energía conocida como "*lobular lateral*", la cual produce señales de baja amplitud en dirección lateral, como se muestra en la figura No. 19.

En superficies tersas, la energía lobular lateral, no se refleja o se refleja muy poco por lo que no interfiere con la inspección, pero en superficies rugosas produce una disminución del poder de resolución, debido a las indicaciones producidas por esta energía lateral y / o por el incremento en el tamaño del campo muerto.

### Haz ultrasónico enfocado o focal (focalizado)

Para algunas inspecciones, por inmersión o contacto, se puede utilizar un haz ultrasónico focalizado.

La focalización se produce con palpadores que contienen lentes acústicas, los cuales provocan que el haz tenga una convergencia hacia un punto. Esto produce una sensibilidad muy alta a la distancia del punto focal, por la concentración de la energía.



**Figura No. 18: Lóbulos laterales**

## CAPITULO DOS: DISCONTINUIDADES EN LOS MATERIALES II

Se puede decir que el uso de algunos productos o materiales es simplemente decorativo y por lo tanto su resistencia a los esfuerzos o condiciones de funcionamiento es simplemente inexistente, aunque puedan necesitar alguna inspección, la cual puede concretarse a determinar ciertas características, por ejemplo el color, el acabado, la estabilidad, etc. También, existe otro tipo de productos y materiales que requieren otros tipos de pruebas y evaluación, son aquellos que estarán o están sujetos a esfuerzos u otras condiciones, donde la presencia de una discontinuidad puede ser la causa de una costosa reparación, peligro para otros productos o estructuras, e inclusive para la vida humana.

Cuando la discontinuidad presente trata de ser detectada por Pruebas No Destructivas, estas deben ser seleccionadas, aplicadas e interpretadas con cuidado, y sobre la base de un conocimiento válido de los mecanismos de falla y sus causas. Cabe recordar que las Pruebas No Destructivas generalmente solo indican la presencia de la discontinuidad, por lo que le corresponde al personal técnico determinar el tipo específico de discontinuidad detectada. Es más que evidente, que el conocimiento de los materiales, sus propiedades y discontinuidades típicas, de acuerdo con su proceso de fabricación o condiciones de operación, ayudará notablemente a los técnicos al realizar una Prueba No Destructiva. Tomando en cuenta que la mayoría de las técnicas de inspección son recomendadas para un tipo de discontinuidad específica, el conocimiento de estas ayudará a seleccionar el método más adecuado y, además, facilitará su identificación. A continuación se describe una clasificación tradicional de discontinuidades, incluyendo los términos más comunes usados para identificarlas.

---

### i. Clasificación de discontinuidades

Muy pocos metales o aleaciones son encontrados en la naturaleza en una forma en la cual puedan ser utilizados. Normalmente, deben ser combinados con otros elementos para formar compuestos. Son usados algunos procesos de refinación para reducir o remover otros elementos e impurezas, antes que el metal pueda ser usado. En muchos casos, deben ser agregados elementos adicionales para que puedan desarrollarse ciertas propiedades deseables en el metal.

En todos los procesos de refinación, el metal se encuentra en forma de metal fundido, en esas condiciones, el metal debe ser cambiado a una forma útil. Los métodos usados en el formado de cualquier metal tienen un efecto directo sobre sus propiedades, por lo que saber como fue hecha la pieza y los cambios que pueden ocasionarse durante su fabricación, ayudan al técnico a realizar mejor su trabajo.

Existen diferentes formas para clasificar discontinuidades, particularmente, una de ellas relacionada con su origen y descripción, la cual se describe a continuación.

## 1. Discontinuidades Inherentes.

Las discontinuidades inherentes son aquellas asociadas y formadas normalmente con la solidificación del metal, durante la fabricación de metal cuando es fundido y vaciado.

## 2. Discontinuidades de Proceso

Las discontinuidades de proceso se pueden subdividir en:

### a) Discontinuidades de Proceso Primario

Son aquellas discontinuidades que están relacionadas con los procesos de formado primario tales como rolado, extruído, forjado y fundido.

### b) Discontinuidades de Proceso Secundario

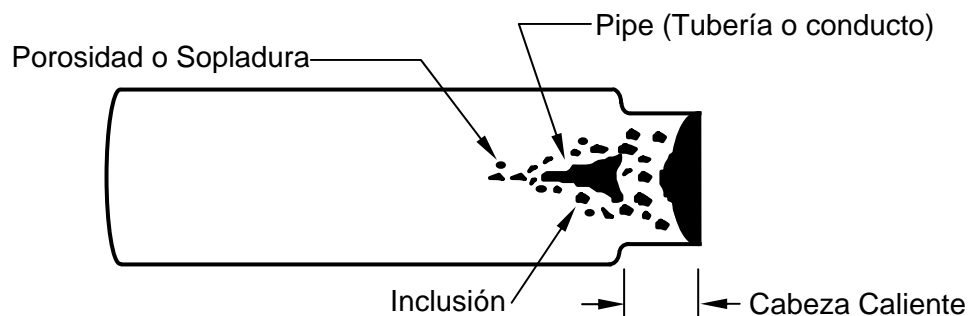
Son aquellas discontinuidades que están relacionadas con las operaciones de acabado final de los materiales, tales como operaciones de maquinado, tratamiento térmico, recubrimiento y soldado.

## 3. Discontinuidades de Servicio

Las discontinuidades de servicio son aquellas que están relacionadas con las condiciones actuales de servicio. Algunas veces estas discontinuidades son producidas por otro tipo de discontinuidades presentes en el material, las cuales provocan concentración de esfuerzos. También, pueden ser originadas debido a un mal diseño de la parte, donde los esfuerzos a los que el material es sometido son mayores a los esfuerzos que puede resistir.

## 1. Discontinuidades Inherentes

Después que el acero ha sido refinado, y encontrándose como metal fundido, se vierte dentro de un molde para producir su primer forma en estado sólido, un lingote. La figura No. 19 ilustra algunas de las discontinuidades inherentes encontradas comúnmente en lingotes.



**Figura No. 19: Discontinuidades inherentes**

A continuación se describen algunas discontinuidades inherentes:

### **a) Inclusiones**

#### **Inclusiones no metálicas**

Son partículas de material no metálico, por ejemplo escoria, óxido, sulfuros, etc. Estas partículas quedan atrapadas en el metal fundido durante la solidificación y se encuentran presentes en el lingote. Estas discontinuidades pueden ser de cualquier forma y encontrarse localizadas en la superficial o internamente.

Origen:

- Desprendimiento de material refractario
- Escoriación inadecuada del metal líquido

#### **Inclusiones metálicas**

Generalmente, son partículas metálicas de diferente densidad o material que permanecen en estado sólido y que quedan atrapadas en el metal fundido, las cuales pueden aparecer en grandes cantidades esparcidas a través del lingote, pudiendo ser superficiales o internas.

En la obtención del lingote, una causa que puede originar la inclusión metálica es usar materia prima con impurezas. Las inclusiones metálicas pueden aparecer en materiales ferrosos y no ferrosos.

### **b) Porosidad o sopladura**

Pueden aparecer como áreas deprimidas en la superficie de la pieza fundida o del lingote. También pueden presentarse como cavidades subsuperficiales de forma redonda y alargada, se pueden encontrar desde la superficie hasta el centro del lingote, individuales o aisladas en pequeños grupos.

Origen:

Debido a la humedad excesiva del molde o lingotera, la temperatura extrema del metal hace que esta humedad se evapore rápidamente, originando que las presiones de este vapor y de los demás componentes excedan las presiones del metal en alguna parte de la pieza durante la solidificación, lo cual origina cavidades lineales cuando escapan: La porosidad es formada por gas, el cual es insoluble en el metal fundido y es atrapado cuando el metal se ha solidificado. La porosidad no fusionada, se atribuye a la porosidad que está en el lingote; Durante operaciones de conformado es aplanada y forma lo que podríamos llamar fisuras.



### c) Tubería (Pipe)

Es una discontinuidad originada por las contracciones internas durante el proceso de solidificación y enfriamiento; la contracción que sufre el metal durante la solidificación y enfriamiento es a consecuencia de lo siguiente:

1. El metal líquido se contrae cuando se enfría, de estado líquido a sólido.
2. Durante la solidificación la mayoría de los metales se contraen de 3% a 7% en volumen, a excepción del bismuto el cual se expande.
3. Durante el enfriamiento en el estado sólido.

Origen:

Al ser vaciado el metal en la lingotera, inicia el proceso de solidificación y enfriamiento al descender la temperatura. El flujo del calor es del interior al exterior de la lingotera y se realiza a través de las paredes y el fondo; debido a que las partes más frías son las paredes, es ahí donde se inicia la solidificación por capas.

En una lingotera, al enfriarse de afuera hacia adentro, la parte superior del lingote mostrará una depresión cóncava conocida como "rechupe primario". La parte superior del lingote es cubierta con óxidos y escoria, así como partículas de baja densidad. A esta zona se le conoce como "cabeza caliente", la cual es cortada después que el lingote se ha enfriado. Para compensar la pérdida de este material se coloca en la parte superior de la lingotera una línea de ladrillos refractarios.

La acción aislante de la línea de refractarios asegura un enfriamiento lento en esa zona, comparada con el resto del lingote. Considerado un tipo de lingotera con su parte superior angosta, en ella se lleva a cabo el mismo patrón de solidificación y enfriamiento. Así como se forma el rechupe primario, y si no se toman las precauciones debidas, al solidificar la parte de arriba dejará un pequeño volumen líquido en forma cónica, el cual al solidificarse se contraerá y eventualmente se formará una cavidad denominada rechupe secundario.

Las paredes de este tipo de rechupe están libres de óxido, de tal forma que en procesos subsecuentes (forma o laminado) se soldarán, eliminándose la discontinuidad; Sin embargo, si esta pieza es sometida a un temple existirá la posibilidad de que la discontinuidad sea abierta.

Para evitar que el volumen líquido de forma cónica quede aislado, debe emplearse un sistema de enfriamiento mediante un inserto (enfriador) que forma parte de la lingotera para que proporcione una velocidad de enfriamiento igual al resto del material, o bien teniendo cuidado en el diseño de los sistemas de alimentación.

## d) Segregaciones

Es la distribución no uniforme de elementos durante el proceso de solidificación, como puede ser el magnesio, fósforo, níquel, cromo, etc. Generalmente, el azufre se combina con los demás elementos para formar la segregación. La segregación toma lugar en diferentes formas, como resultado del proceso de solidificación del lingote. Mientras mayor sea el tamaño del lingote es más difícil controlar la solidificación y mayor es la formación de segregaciones. El movimiento relativo que tenga el metal líquido en la lingotera hasta la solidificación, es un factor que también promueve la segregación, por ejemplo los aceros calmados, en los cuales hay menor movimiento del metal líquido, muestran menor evidencia de segregación que los aceros semi-calmados y los efervescentes.

Existen varios tipos de segregaciones, que son:

1. Segregación en A
2. Segregación en V
3. Segregación en la esquina de la lingotera
4. Segregación de sopladuras subsuperficiales

### **Segregación en A**

La segregación tiende a situarse hacia el centro de la parte superior del lingote y es menos pronunciada hacia la parte inferior, es una cadena de azufre microscópico asociado con carbono, magnesio, fósforo, níquel, cromo, etc. El metal que solidifica primero es el más puro debido a su punto de fusión más alto, eventualmente, el metal líquido más impuro, el que contiene más elementos de aleación, es atrapado a medida que progresa la solidificación y enfriamiento, llevándose a cabo la segregación.

Este tipo de segregación, generalmente está asociado con inclusiones no metálicas, las cuales se encuentran en estado líquido a la temperatura del acero y quedan atrapadas durante la solidificación. También es asociada con cavidades por contracción, causadas por el aislamiento del volumen segregado desde el metal líquido, las cavidades son muy pequeñas y pueden ser fácilmente eliminadas con una pequeña reducción de forja.

La segregación A es generalmente el sitio donde se produce la fisura por hidrógeno.

### **Segregación en V**

Ocurre a lo largo del lingote y es el resultado de una solidificación diferencial, es decir, debido a las contracciones y el gradiente de temperatura. Está generalmente asociada con el rechupe secundario y toma su nombre por la forma de la letra "V" que adopta y, al igual que la anterior, se forma por ser una de las regiones que solidifica al final y puesto que también contiene un mayor grado de concentración de elementos de aleación que el resto del material.

## **Segregación en la esquina del lingote**

Como su nombre lo indica, generalmente ocurre en la esquina, al inicio y en la parte inferior del lingote.

En la mayoría de los casos, es asociada con una grieta, esto se debe a que el líquido con mayor contenido de elementos de aleación e impurezas es atrapado en la junta (precisamente donde crecen los cristales columnares), y crece hacia el interior, desde las caras adyacentes de la lingotera. Otra teoría se basa en el efecto de la presión ferrostática, ejercida en la capa que solidifica primero, que al oponer resistencia da inicio a una grieta o un desgarre, el cual ya no puede ser llenado con metal líquido siendo este el caso en que la grieta es asociada con la segregación. Dos hechos dan soporte a esta teoría: La velocidad elevada de vaciado y el vaciado a alta temperatura, de tal forma que la capa que solidifica primero debe soportar el peso del metal líquido como si fuera vaciado lentamente.

## **Segregación de sopladuras subsuperficiales**

Son pequeños volúmenes de material segregado, los cuales ocurren en regiones subsuperficiales del acero calmado. La segregación se forma por las reacciones de gas localizado en el material líquido causando sopladuras, las cuales, se llenan más tarde con metal líquido. Normalmente, este tipo de segregación es asociado con inclusiones de óxido y se localiza en la región superior del lingote, pero puede ocurrir en cualquier otra región y a lo largo del lingote.

Las causas pueden ser: el estado de desoxidación del metal líquido durante la carga (a menor presencia de gases, menor será la formación); el molde debe estar lo más seco posible para evitar reacciones.

## **2. Discontinuidades de proceso**

### **a) De proceso primario**

Después del refinado del metal y la obtención del lingote, el siguiente paso es darle forma al metal para que pueda ser utilizado. Todos los métodos de formado de un metal pueden ser clasificados como “conformado” o “fundición”. Todos los metales, ferrosos o no ferrosos, son formados por medio de una o ambas formas.

En el conformado, el lingote es “rolado” para darle forma. El lingote se pasa entre rodillos planos o con forma, lo cual se puede llevar a cabo “en caliente” o “en frío”. Con los procesos primarios de rolado del metal se pueden producir tres formas básicas, planas y de dos dimensiones: productos identificados como planchones, de forma rectangular; tochos (lingotes prelaminaados) y billets, los cuales tienen secciones transversales cuadradas. Todos son destinados a trabajos de deformación posterior por rolado, forjado o extrusión.

En la fundición, el metal refinado fundido se vierte en moldes para producir artículos útiles. Se puede llevar a cabo utilizando técnicas diferentes. Se obtienen productos de casi cualquier metal. El proceso requiere un patrón o modelo (fabricado de madera, metal o cera, y que tenga la forma del objeto deseado) y un molde fabricado con ese patrón (fabricado de arena, cerámica, metal, etc., para que resista el calor del metal fundido).

### ➤ **Discontinuidades de rolado**

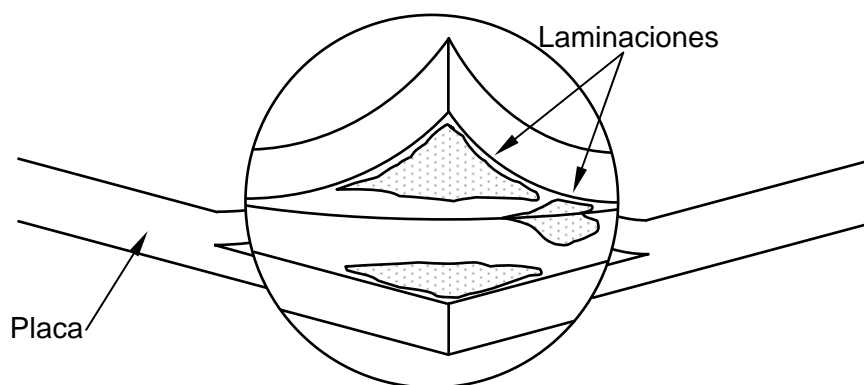
A los planchones, que pueden tener espesores de hasta 10", se les aplica una segunda operación de rolado con el fin de extenderlos, en longitud y ancho, y para reducir su espesor, hasta 100 veces, con lo cual se obtienen productos planos. Con espesores mayores a 0.25" son llamadas "placas" y con espesores más delgados son llamadas "hojas" o "láminas".

### **Discontinuidades en placas**

#### **a) Laminaciones**

Son discontinuidades producidas durante los procesos de conformado (laminación o rolado), producto de rechupes (contracciones), porosidad, inclusiones y segregaciones, presentes en el planchón original, los cuales se aplanan y se alargan. Son extremadamente delgadas y alineadas paralelamente con la superficie de trabajo del material y en la dirección del conformado. Pueden ser superficiales o internas.

Las laminaciones que ocurren en el centro del espesor de la placa, como se ilustra en la figura No. 20, son de alto riesgo, particularmente en piezas cortadas de placas que son subsecuentemente soldadas para formar ensambles de grandes estructuras.



**Figura No. 20: Laminaciones**

#### **b) Inclusiones no metálicas**

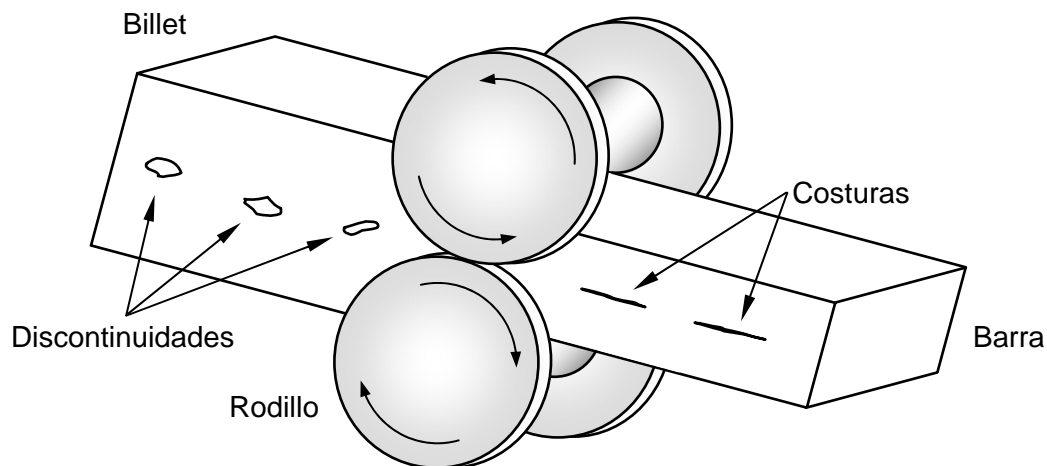
Son impurezas presentes en el lingote original, que no lograron ser eliminadas. Durante el rolado son alargadas y forman cordones. Son relativamente pequeñas y aplanadas.

## Discontinuidades en barras

También mediante el rolado se obtiene una variedad de productos conocidos como “barras”. El material en forma de barra puede tener diferentes configuraciones en su sección transversal, la cual puede ser cuadrada, rectangular, redonda, etc. Una de las discontinuidades más comunes en productos en forma de barra son:

### a) Costura (Seam)

Las costuras son discontinuidades superficiales en forma de líneas intermitentes o continuas, paralelas al eje y al grano del material, la figura No. 21 muestra este tipo de discontinuidad. Varían ampliamente en su profundidad, pueden ser muy apretadas (finas) que hasta se encuentran soldadas en ciertos puntos. Pueden originarse por paquetes de gas atrapado o prácticas inadecuadas de rolado que pueden producir grietas o desgarros superficiales y que no estaban presentes en el lingote original.



**Figura No. 21: Costuras**

### ➤ De forjado

Las discontinuidades de forja ocurren cuando el metal es martillado o presionado para darle forma; son el resultado de un ajuste, disposición o control inadecuado del proceso.

Es necesario un control adecuado en el calentamiento para efectuar el forjado, para prevenir cascarilla excesiva, decarburación, sobrecalentamiento o quemadas. La cascarilla en exceso, que se origina en los contornos del metal y por pérdidas del mismo, puede resultar en huecos sobre la superficie, originados por la cascarilla desprendida durante el martillado. Los calentamientos severos causan quemadas, esto se debe a que algunos constituyentes químicos del material pueden ser de bajo punto de fusión. Esta acción de fusión algunas veces reduce las propiedades mecánicas del metal y el daño es irreparable.

En muchos casos, las discontinuidades que pueden ocurrir durante el forjado son las mismas o, al menos similares como aquellas que ocurren durante el trabajo en caliente de lingotes o billets.

Las discontinuidades internas aparecen como grietas o desgarres, y pueden resultar del forjado con un martillo muy ligero o al continuar forjando después que el metal se ha enfriado por debajo de la temperatura de forjado segura.

Se puede producir cierto número de discontinuidades superficiales, muchas veces causadas por el movimiento de metal sobre la superficie sin que se suelde o funda.

Otras discontinuidades en acero forjado pueden ser producidas por un diseño o mantenimiento inadecuado de los dados o matrices, estas pueden ser grietas y roturas internas.

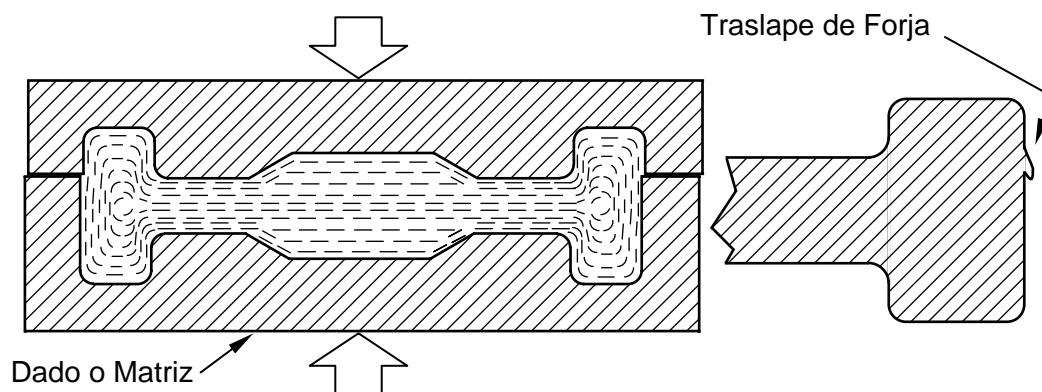
Si el material se mueve anormalmente durante el forjado, las discontinuidades pueden ser formadas sin alguna evidencia en la superficie.

Algunas de las discontinuidades producidas en el proceso de forjado son:

**a) Traslape (Laps)**

Los traslapes de forja generalmente ocurren en forjas cerradas, aunque no son exclusivos de ellas. Son la unión de dos superficies adyacentes, generados cuando se presenta un llenado incompleto de metal y la falta de fusión entre las superficies, o porque parte del metal se desliza o dobla sobre la misma superficie de la pieza, usualmente cuando una parte del metal forjado es apretado y queda fuera de entre los dos dados.

Su apariencia es la de líneas onduladas, no muy apretadas o adheridas a la superficie y generalmente penetran a la pieza con un ángulo pequeño, ver figura No. 22.



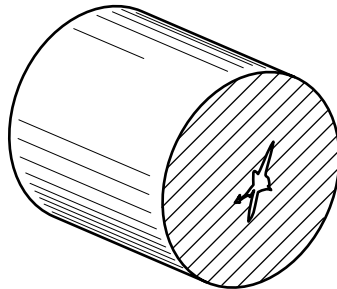
**Figura No. 22: Traslape de forja**

### b) Estallido, reventón o reventada de forja (Bursts)

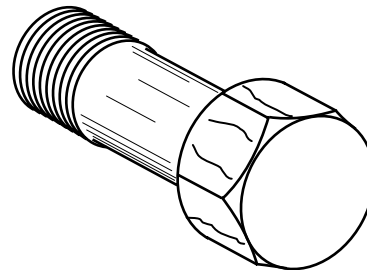
Los reventones o reventadas de forja son rupturas del material, un estallido. Las reventadas pueden ser internas, externas (abiertas a la superficie) o ambas, como se ilustra en la figura No. 23. Se les identifica también como grietas.

Generalmente son producidas por técnicas de forjado inadecuadas y por temperaturas de forja inapropiadas, el trabajo excesivo o el movimiento del metal durante el forjado y por el empleo de bajas o muy altas temperaturas durante el proceso de forjado.

Su apariencia es la de cavidades alargadas rectas o líneas delgadas, con tamaños irregulares y pueden ser muy abiertas o cerradas, siguiendo una dirección paralela al grano.



Estallido interno



Reventadas o grietas superficiales

**Figura No. 23: Reventones de forja**

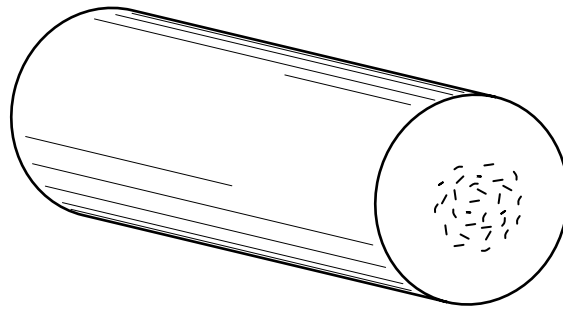
### c) Copos (fisuras por hidrógeno) (Flakes)

Los copos son fisuras internas extremadamente delgadas y generalmente se encuentran alineadas con el grano; también son conocidas como "grietecilla capilar o filiforme de cromo" (como es el caso de una superficie decapada y fracturada que muestra fisuras externas como áreas pequeñas, brillantes y plateadas) o como grietas capilares finas.

Generalmente se encuentran en forjas de acero de gran espesor, lingotes y barras, ver figura No. 24.

Las causas que originan este tipo de discontinuidad son:

- a) Las tensiones localizadas, producidas por la transformación efectuada.
- b) Disminución de la solubilidad del hidrógeno durante el enfriamiento después del trabajo en caliente. El hidrógeno puede provenir de la humedad del medio ambiente, de la lingotera y de la caliza, que es fuertemente higroscópica, o también por la presencia de hidrógeno en el material.



**Figura No. 24: Copos**

El material con alto contenido de hidrógeno disuelto presenta fragilidad, reducción de la resistencia de la pieza forjada, haciéndola apta para que una grieta se propague cuando ésta se origine por impacto, fatiga o esfuerzo por corrosión. Este tipo de discontinuidad se presenta en materiales ferrosos.

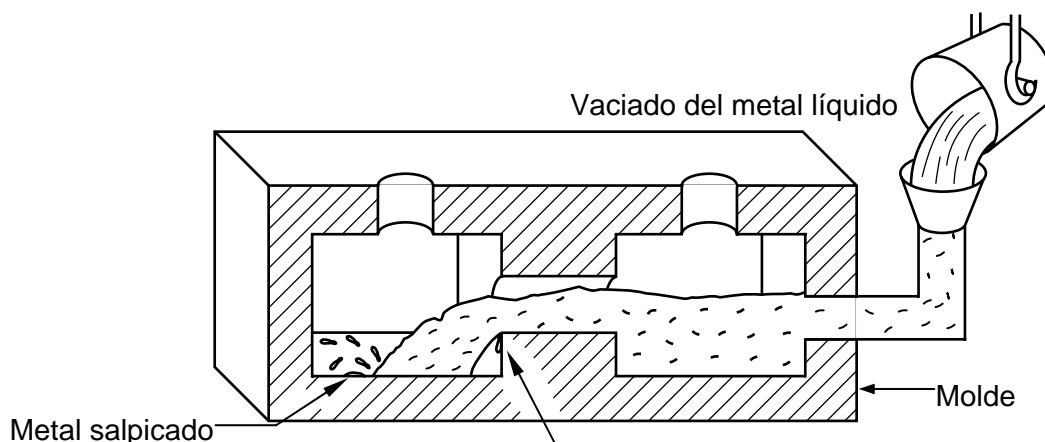
➤ **De fundición**

Las discontinuidades de fundición son causadas normalmente por variables propias del proceso, por ejemplo alimentación inapropiada, vaciado a velocidad excesiva, temperatura inadecuada, gases atrapados y humedad. Las discontinuidades más comunes que son originadas en piezas fabricadas por fundición son:

**a) Traslape en frío**

Es una discontinuidad que puede ser superficial o subsuperficial. Generalmente, es una depresión con apariencia tersa y se asemeja a un traslape de forja.

Es producto de una falta de fusión que ocurre en el encuentro entre dos corrientes de metal que vienen en direcciones diferentes. Las causas pueden ser: un vaciado interrumpido en moldes con varias bocas de alimentación, salpicado dentro del molde o cualquier otra causa que origine la solidificación de una superficie antes de que otro metal fluya sobre ella, ver figura No. 25.



**Figura No. 25: Traslape en frío**



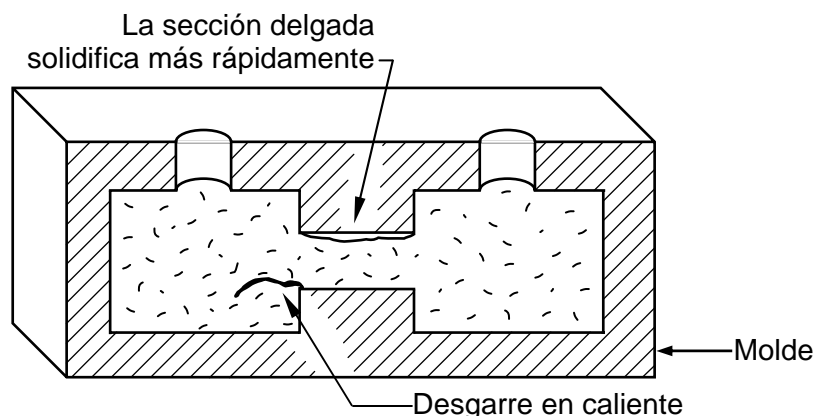
### b) Desgarre en caliente (Hot tear)

Es importante recordar que la contracción es inevitable. Si existe algo que se opone a la contracción entonces se desarrolla un esfuerzo, el cual puede conducir al agrietamiento.

Los desgarres en caliente (o grieta por contracción) pueden ser internos o cercanos a la superficie, se producen debido a las diferentes velocidades de enfriamiento y solidificación que ocasionan diferentes contracciones en algunas zonas de piezas con geometría complicada, donde se encuentran secciones gruesas y delgadas.

Cuando se inicia la solidificación, el metal es débil en sus propiedades mecánicas y se contrae, si la velocidad de solidificación y enfriamiento no es uniforme, se puede producir una grieta en la transición entre una sección gruesa y una delgada, como se muestra en la figura No. 26.

Lo mismo sucede en el caso que un corazón (que sirve para formar cavidades o huecos internos en una pieza) tenga un índice de colapso bastante alto, ello origina un esfuerzo que se opone a la contracción libre del metal y por lo tanto da origen a los desgarres en caliente.

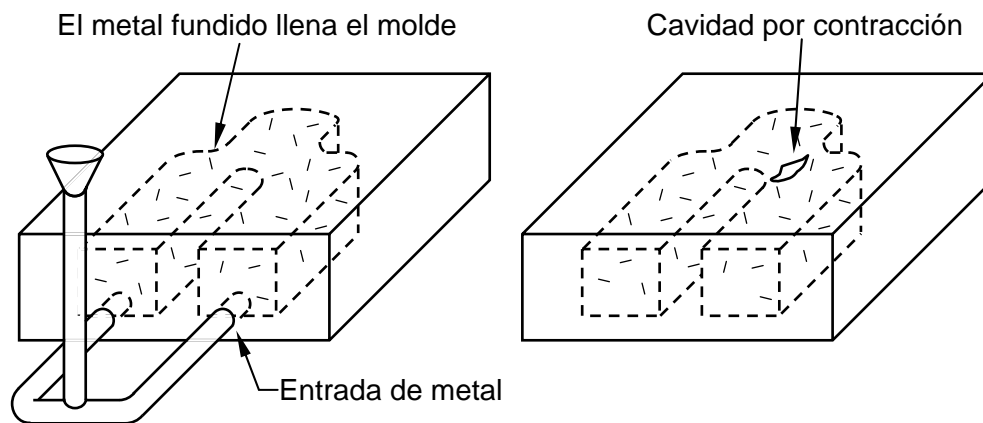


**Figura No. 26: Desgarre en caliente**

Los desgarres en caliente aparecen como grietas dentadas o en casos severos como una grieta de tipo ramificada o un grupo de grietas. Son las discontinuidades más severas de la familia de las contracciones.

### c) Cavidades por contracción

Son huecos que se presentan en una pieza fundida, causados por la falta de una fuente suplementaria para compensar la contracción volumétrica que ocurre durante la solidificación. La superficie de la cavidad puede ser ligeramente en forma dentada (rasgada) o puede ser ligeramente suave dependiendo de la composición del metal fundido. La figura No. 27 ilustra la cavidad por contracción.



**Figura No. 27: Cavidad por contracción**

Las cavidades por contracción pueden ser subsuperficiales o internas.

#### **d) Micro contracciones**

Normalmente son muchos hoyos superficiales y pequeños que aparecen en la entrada o boca de alimentación de la fundición. Las micro contracciones también pueden ocurrir cuando el metal fundido fluye desde una sección estrecha hacia el interior de una sección grande, dentro del molde. Ocurren con frecuencia en fundiciones de magnesio.

#### **e) Porosidad**

Ocurre cuando el gas que se ha formado, generalmente cuando el metal fundido es vaciado en el molde, queda atrapado durante la solidificación. El gas puede iniciar desde el metal fundido (aire atrapado por la turbulencia del proceso de vaciado) o el gas desprendido desde el material del molde.

#### **f) Contracciones**

Resultan de la contracción localizada del metal de la fundición durante la solidificación y el enfriamiento. Son huecos pequeños, de mayor tamaño que las micro contracciones, cuyas formas pueden ser muy diferentes, por ejemplo: existe un tipo de contracción conocida como "esponjosa", que es un sistema de áreas interconectadas pequeñas de contracciones, de forma semejante a una esponja. Otro tipo de contracciones, tiene gran semejanza a un árbol con tronco y muchas ramificaciones.

#### **g) Inclusiones de arena y de escoria**

Existen varias discontinuidades del tipo inclusión encontrada en piezas fundidas. Las inclusiones de arena son pedazos de arena que se desprende del molde de arena. Las inclusiones de escoria son impurezas introducidas en el molde junto con el metal fundido; también pueden ser el resultado del óxido o las impurezas que no fueron removidas de la superficie antes de la solidificación del metal.

## b) De proceso secundario

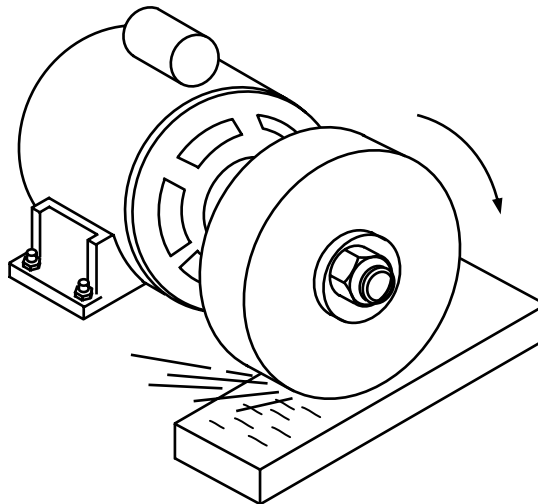
Estas discontinuidades se desarrollan en las operaciones de acabado final tales como maquinado, tratamiento térmico, esmerilado o rectificado y soldadura.

### ➤ De maquinado y esmerilado

El maquinado o esmerilado de superficies endurecidas frecuentemente produce grietas de tipo térmico. Las grietas son causadas por los esfuerzos que se producen con el excesivo calentamiento local entre la herramienta o la rueda y la superficie del metal, lo cual, puede ser debido a la fricción que se produce entre la herramienta y la superficie, al poco enfriamiento de la superficie, a una profundidad de corte en exceso o demasiada velocidad en el avance del corte.

Sus características principales pueden ser resumidas de la siguiente manera:

- Superficiales y poco profundas.
- Similares a las de tratamiento térmico (aunque no siempre).
- Ocurren en grupos, generalmente en ángulos rectos a la dirección de esmerilado, figura No. 28, aunque en algunos casos pueden aparecer como redes.



**Figura No. 28: Grietas por esmerilado**

### ➤ De tratamiento térmico.

Las grietas por tratamiento térmico son casi siempre causadas por la concentración de esfuerzos durante el calentamiento y enfriamiento desigual entre secciones delgadas y gruesas. Pueden ocurrir durante los ciclos de calentamiento o enfriamiento. Son normalmente profundas, no tienen dirección específica y empiezan normalmente en esquinas agudas, las cuales actúan como puntos de concentración de esfuerzos.

## ➤ De soldadura.

La soldadura es un procedimiento de unión o junta, en el cual los cambios de forma son menores en características y locales en cuanto a los efectos. La soldadura puede ser definida como: *“la unión permanente de superficies metálicas estableciendo el enlace de átomo a átomo entre las superficies”*.

Si bien, la forma de los componentes individuales no cambia, la soldadura terminada, o ensamble de partes, constituye una estructura unificada que funcionalmente tiene las propiedades de una parte sólida. En algunos casos, particularmente con soldadura por punteo, es puramente un procedimiento de ensamble y compite con sujetadores mecánicos, como el remachado y el atornillado. En otros casos, el objetivo de la soldadura es proporcionar una unión que tenga la misma estructura, resistencia y otras propiedades como las del metal base, para que el área soldada sea indetectable.

La mayoría de los procesos de soldadura consisten en unir dos piezas de metal para satisfacer una especificación, dibujo o cualquier otro medio en el que se establezca un requisito. En la industria, están disponibles sobre cuarenta procesos de soldadura diferentes, dentro de los que se incluye a: la soldadura con arco, con gas, de resistencia, etc. Sin importar el proceso, existen tres variables comunes:

- Una fuente de calor.
- Una fuente de protección.
- Una fuente de elementos químicos.

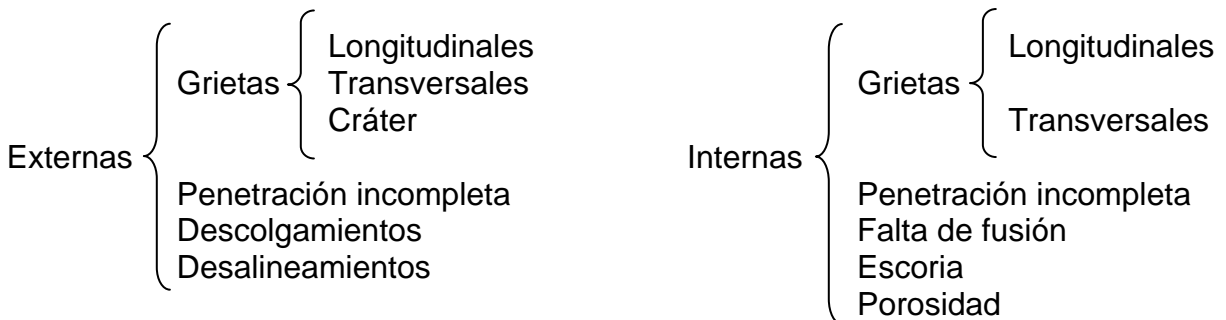
El control de estas variables es esencial y cuando alguna de ellas, por cualquier razón, se vuelve inestable se puede esperar que se presente una variedad de discontinuidades en la soldadura.

Las discontinuidades que se producen en soldadura, y que el técnico en ultrasonido debe poner en evidencia, pueden ser de índole diversa. Algunas son inherentes 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.).

Las discontinuidades de soldadura pueden ser clasificadas de varias formas, una de estas considera cuatro clases generales de discontinuidades, las cuales pueden ser subdivididas, como se indica a continuación:

- 1 Discontinuidades dimensionales
  - a. Tamaño de la soldadura
  - b. Perfil de la soldadura
  - c. Distorsión
  
- 2 Discontinuidades estructurales
  - a. Grietas
  - b. Penetración incompleta
  - c. Fusión incompleta
  - d. Porosidad
  - e. Inclusiones de escoria
  - f. Socavado
  - g. Quemada
  
- 3 Propiedades del metal soldado
  - a. Propiedades químicas
  - b. Propiedades mecánicas
  
- 4 Discontinuidades del metal base
  - a. Laminaciones
  - b. Desgarres laminares

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



Evidentemente las discontinuidades que debe buscar y detectar el técnico en ultrasonido son las internas. No obstante, no quiere decir que deben ignorarse las externas sino, muy al contrario, tener en cuenta la posibilidad de su existencia pues muchas veces su presencia puede dar origen a confusiones o errores de interpretación.

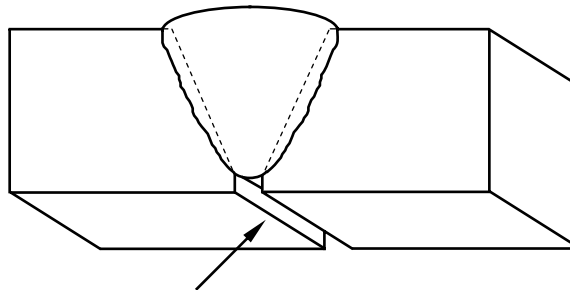
### Discontinuidades externas

#### a) Penetración incompleta

La penetración incompleta o inadecuada es la falta de metal de soldadura para que penetre la raíz adecuada o completamente, dejando presentes las aristas de la cara de raíz, como se muestra en la figura No. 29.

Ocurre cuando no se alcanza la temperatura de fusión del metal base debido a diferentes razones, por ejemplo por una preparación inadecuada o mal diseño de la junta, electrodos de grandes dimensiones (diámetro), velocidad de aplicación excesiva y corriente utilizada baja.

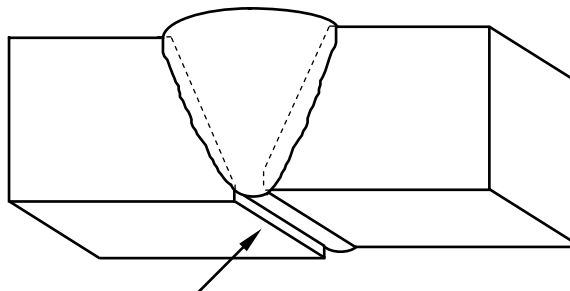
De acuerdo con AWS, penetración incompleta es un término no estándar. Sin embargo, es el que mejor se refiere a la fusión incompleta que ocurre en la raíz de la soldadura y el que mejor describe su naturaleza y localización. También conocida como falta de penetración.



**Figura No. 29: Penetración incompleta**

**b) Desalineamiento con penetración incompleta**

Esta discontinuidad ocurre cuando los elementos que serán unidos no se encuentran alineados y el relleno en el paso de raíz o fondeo es insuficiente, junto con la falta de fusión de una de las caras de raíz, como se ilustra en la figura No. 30.



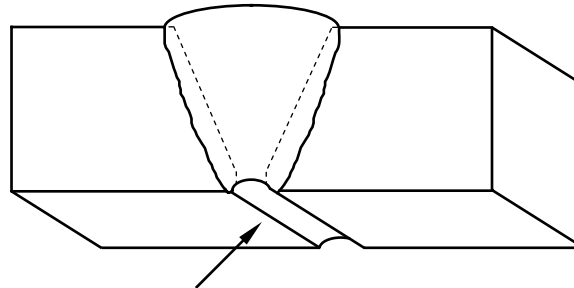
**Figura No. 30: Desalineamiento con penetración incompleta**

**c) Concavidad en la raíz (llenado bajo en la raíz)**

Es una condición en la raíz de la soldadura, en la cual el metal fundido del charco de soldadura es jalado hacia dentro de la junta durante la solidificación. El paso de raíz funde adecuadamente ambas caras de raíz, pero al centro del cordón de raíz se presenta una depresión o cavidad, que penetra más allá de la superficie adyacente del metal base, debida a la contracción del metal, ver figura No. 31.

La causa principal por la que se produce es la técnica empleada por el soldador.

Al soldar, las velocidades excesivas de viaje no permiten que el metal de aporte sea fundido y depositado para llenar la zona soldada hasta el nivel de la superficie del metal base.

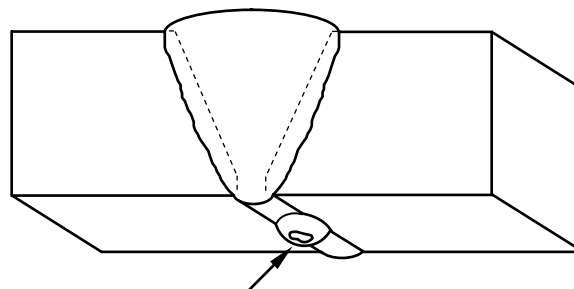


**Figura No. 31: Concavidad en la raíz**

#### d) Quemada

Es una depresión severa o hueco abierto, en forma de cráter, que se extiende a través de la raíz de la soldadura, causada por sobrecalentamiento local en el primero o segundo paso de soldadura. Cuando esta área está siendo fundida, el metal corre fuera de la junta, dejando un hueco en la parte inferior, el metal fundido simplemente se hunde y forma una depresión. En otras palabras, se debe a una penetración excesiva en la raíz de la soldadura por la cual se ha perdido parte del metal, como se muestra en la figura No. 32, generalmente no es alargada.

De acuerdo con AWS, quemada es un término no estándar cuando es usado para el refuerzo o penetración excesiva o un hueco a través de la raíz de la soldadura.

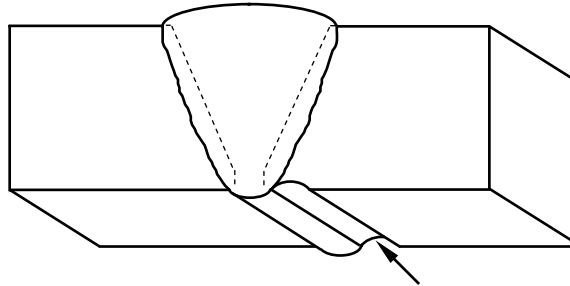


**Figura No. 32: Quemada**

#### e) Socavado interno (Undercut)

Es cuando el metal base se funde en la unión entre el metal de soldadura y el metal base, y el metal depositado es insuficiente para llenar adecuadamente la depresión resultante. Aparece como una ranura o cavidad fundida en el metal base, directamente adyacente y a lo largo de cualquiera de los bordes del cordón de raíz, figura No. 33. Esta condición, si es excesiva, puede afectar seriamente por fatiga la vida de la soldadura.

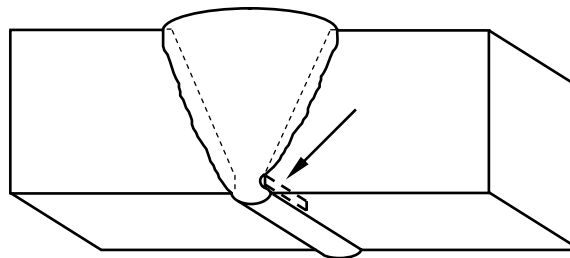
El socavado es normalmente el resultado de una técnica inadecuada para soldar. Específicamente si la velocidad de viaje al soldar es excesiva y también puede resultar cuando la temperatura para soldar es demasiado alta.



**Figura No. 33: Socavado interno**

**f) Fusión incompleta en el paso de raíz**

Es una discontinuidad de soldadura en la cual no ocurre la fusión entre el metal de soldadura y una de las caras de raíz, en el paso de raíz o fondeo. Presente en juntas a tope con ranura en "V" sencilla, como se ilustra en la figura No. 34.



**Figura No. 34: Fusión incompleta en el paso de raíz**

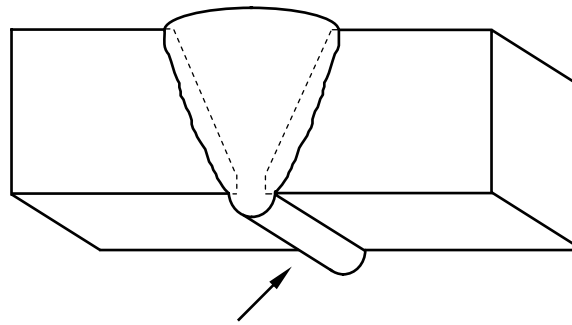
**g) Refuerzo excesivo de raíz (penetración excesiva)**

Es el exceso de metal de soldadura de aporte depositado en el cordón de raíz, más común en juntas diseñadas con una abertura de raíz. El refuerzo excesivo es indeseable porque más que reforzar la soldadura tiende a aumentar la sección del material y con ello producir configuraciones del tipo de muescas o ranuras que provocan el incremento de esfuerzos, con lo que se reduce drásticamente la resistencia a la fatiga de la junta.

Se puede extender a lo largo del cordón de raíz, como muestra la figura No. 35, o en zonas aisladas.

Resulta cuando la velocidad de viaje al soldar es demasiado lenta o cuando la manipulación del electrodo es inadecuada, siendo la técnica actual para soldar la causa predominante.



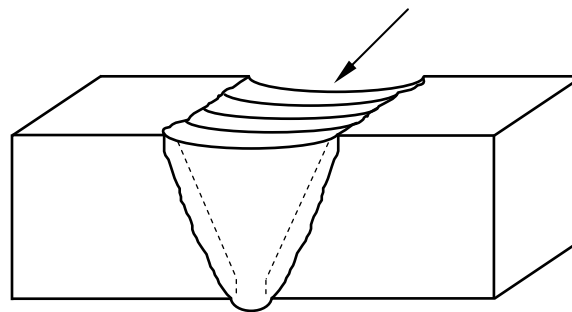


**Figura No. 35: Refuerzo excesivo de raíz**

#### **h) Relleno insuficiente (llenado bajo en la cara o corona baja) (Underfill)**

El llenado bajo es una depresión en la parte superior o cara de la soldadura, lo que corresponde a una pérdida de material en la sección transversal de la soldadura, la cual tiene un espesor menor que el metal base. Se debe a que no hay suficiente metal depositado para llenar adecuadamente la junta soldada, ver la figura No. 36. Se extiende a través de la cara de la soldadura. Esta condición puede debilitar seriamente la soldadura.

La causa principal del llenado bajo es la técnica para soldar. La velocidad excesiva de viaje no permite que el metal de aporte sea fundido y depositado para llenar la zona soldada al mismo nivel de la superficie del metal base.

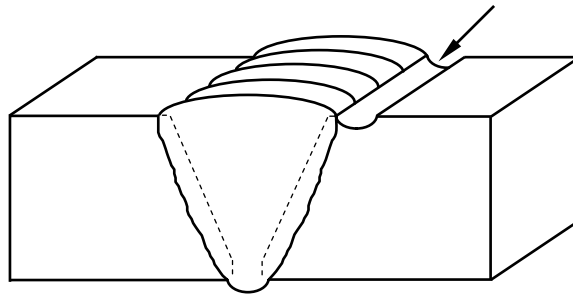


**Figura No. 36: Llenado insuficiente**

#### **i) Socavado externo (Undercut)**

Es cuando el metal base se funde en la unión entre el metal de soldadura y el metal base, y el metal depositado es insuficiente para llenar adecuadamente la depresión resultante. Aparece como una ranura o cavidad fundida en el metal base directamente adyacente y a lo largo de cualquiera de los bordes de la cara de la soldadura, la figura No. 37 ilustra la apariencia típica de un socavado externo. Esta condición en exceso puede afectar seriamente la vida de la soldadura debido a la fatiga.

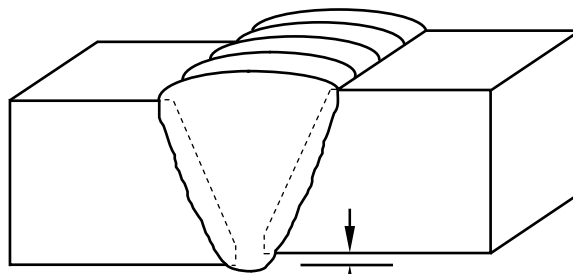
El socavado es normalmente el resultado de una técnica inadecuada para soldar. Específicamente, si la velocidad de viaje al soldar es excesiva y, también, puede resultar cuando la temperatura para soldar es demasiado alta.



**Figura No. 37: Socavado externo**

**j) Desalineamiento (High-Low)**

Desalineamiento, o en el caso de soldaduras en cascos o cubiertas y tubería conocido como “High-Low”, es la condición donde los miembros o elementos que serán soldados no se encuentran nivelados, como se muestra en la figura No. 38.

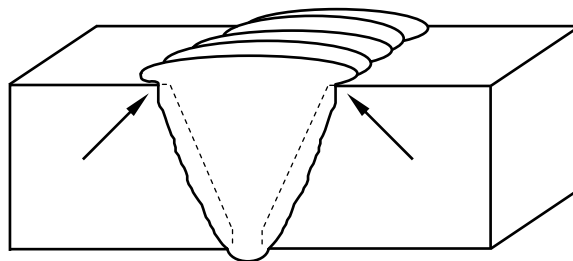


**Figura No. 38: Desalineamiento (High-Low)**

**k) Traslape (solape) (Overlap)**

Es la condición donde existe un saliente de metal soldado, sin que se encuentre fusionado, más allá del dedo o cara de la soldadura.

Aparece como si el metal soldado desbordara la junta y se extiende sobre la superficie del metal base adyacente, como se ilustra en la figura No. 39. Es considerada una discontinuidad significativa ya que puede producir un efecto de muesca o ranura, lo cual resulta en concentración de esfuerzos cuando la soldadura es colocada bajo cargas durante el servicio.

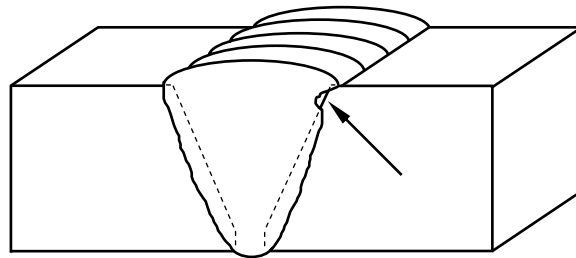


**Figura No. 39: Traslape**

El traslape se debe normalmente a una técnica inadecuada para soldar. Esto es, si la velocidad de viaje al soldar es demasiado lenta, la cantidad de metal de aporte fundido es mayor que la requerida para llenar la junta.

### l) Fusión incompleta en los pasos finales o de cubierta

Esta discontinuidad resulta porque no se produce la fusión, sobre el bisel, entre el metal de soldadura y el metal base en el último o últimos pasos de relleno de la soldadura, la figura No. 40 muestra esta discontinuidad.



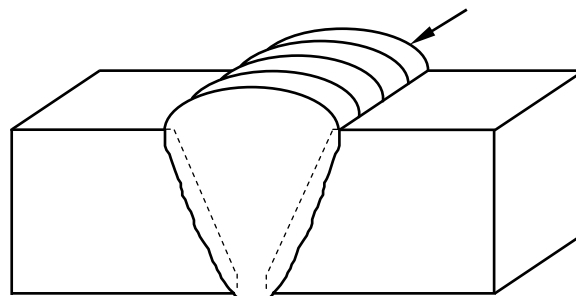
**Figura No. 40: Fusión incompleta en los pasos finales o de cubierta**

### m) Refuerzo excesivo de cara

Es similar a la convexidad en soldaduras de filete, excepto que describe la condición que solamente puede estar presente en una soldadura de ranura. Es el exceso de metal de soldadura depositado, más que la cantidad requerida para llenar una junta, formando un contorno altamente convexo del lado de la junta desde el cual se ha soldado. El problema asociado con esta discontinuidad es con las muescas agudas que son creadas en lugar del hecho de haber más metal soldado que el que es necesario.

A mayor cantidad de refuerzo de la soldadura, son más severas las muescas. Como en el caso del refuerzo excesivo de raíz, con el incremento en la cantidad de refuerzo hay un incremento de esfuerzos y la reducción drástica de la resistencia a la fatiga de la junta soldada. Se puede extender a lo largo de la soldadura o en zonas aisladas, como muestra la figura No. 41.

El refuerzo excesivo de cara resulta por las mismas razones que para el refuerzo excesivo de raíz, siendo la técnica actual para soldar la causa predominante.



**Figura No. 41: Refuerzo excesivo de cara**

## Discontinuidades internas

### a) Inclusión de escoria

Las inclusiones de escoria son óxidos, escoria y otros materiales sólidos no metálicos (como los usados para proteger el metal fundido) que son atrapados en el metal soldado, entre el metal de aporte y el metal base o entre los cordones de la soldadura, en los pasos de relleno. Generalmente son de forma irregular, ligeramente alargadas, agrupadas o aisladas y distribuidas al azar en cualquier parte de la soldadura. La figura No. 42 ilustra esta discontinuidad.

Puede producirse solamente cuando el proceso que está siendo utilizado emplea algún tipo de flujo de protección. Es causada principalmente por una técnica inapropiada para soldar, como manejo inadecuado del electrodo y una limpieza insuficiente entre pasos.

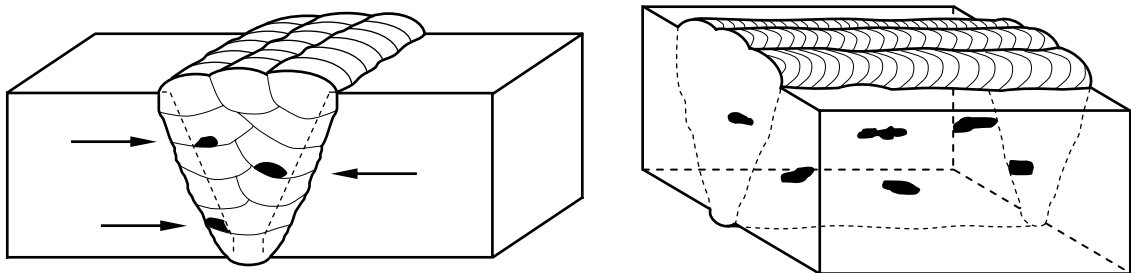


Figura No. 42: Inclusión de escoria

### b) Línea de escoria

Las líneas de escoria son del mismo tipo que las inclusiones de escoria, con la única diferencia en cuanto a su forma, son alargadas. Siguen líneas rectas en la dirección de la soldadura y pueden encontrarse localizadas a lo largo de los bordes del paso de raíz siguiendo el valle dejado por cada lado de la ranura soldada entre el paso de raíz y el paso caliente. En ocasiones se presenta entre pasos, la escoria queda atrapada a lo largo de los bordes de un cordón de soldadura convexo formando cordones debajo del siguiente paso de soldadura. Pueden presentarse en líneas continuas o intermitentes, sencillas o paralelas, ver la figura No. 43.

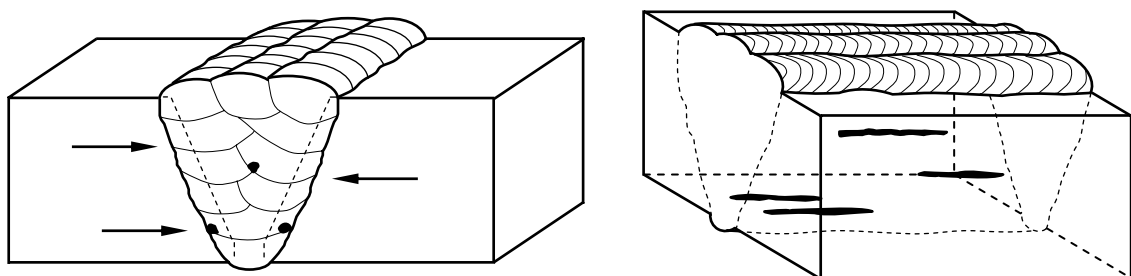


Figura No. 43: Líneas de escoria

Se produce solamente cuando el proceso utilizado emplea algún tipo de flujo de protección. Es causada principalmente por una limpieza insuficiente entre pasos.

### c) Fusión incompleta

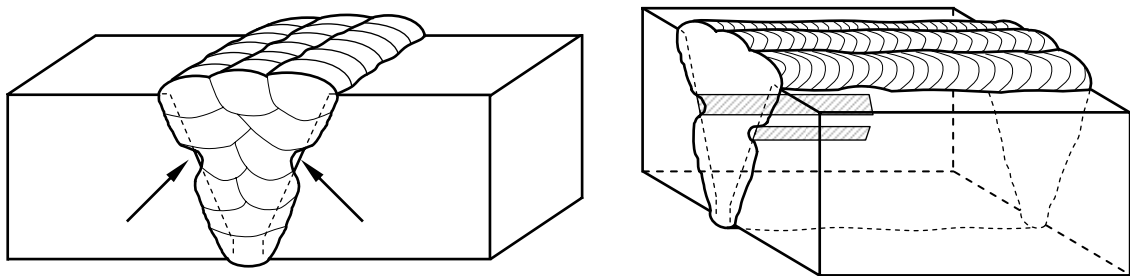
Se describe como la condición donde la soldadura no está completamente fusionada con el metal base o con los pasos adyacentes de soldadura. Es la falla del metal fundido de soldadura para fluir y fusionar el metal adyacente.

Debido a su forma lineal y la característica de sus bordes relativamente agudos, la fusión incompleta corresponde a una discontinuidad significativa de la soldadura.

También es conocida como falta de fusión, fusión inadecuada y solape o soldeo en frío. Puede ocurrir en diferentes posiciones dentro de la soldadura. Normalmente es alargada y orientada en dirección de la soldadura, paralela al eje de la soldadura. Puede presentarse en líneas alargadas continuas o intermitentes, sencillas o paralelas, como se muestra en la figura No. 44.

La fusión incompleta puede resultar de un número de condiciones o problemas, aunque probablemente la causa más común de esta discontinuidad es el manejo inadecuado del electrodo de soldadura por el soldador.

Algunos procesos son más propensos a este problema porque no existe el calor concentrado suficiente para fundir y fusionar adecuadamente los metales. En otras situaciones, la configuración de la junta soldada puede limitar la cantidad de fusión que puede ser alcanzada, por ejemplo un ángulo de ranura insuficiente y porque las caras de raíz sean excesivas. La fusión incompleta se asocia con las inclusiones de escoria, por ello, la presencia de escoria debido a limpieza insuficiente puede evitar que ocurra la fusión. Finalmente, la contaminación extrema, incluyendo cáscara y capas de óxido.

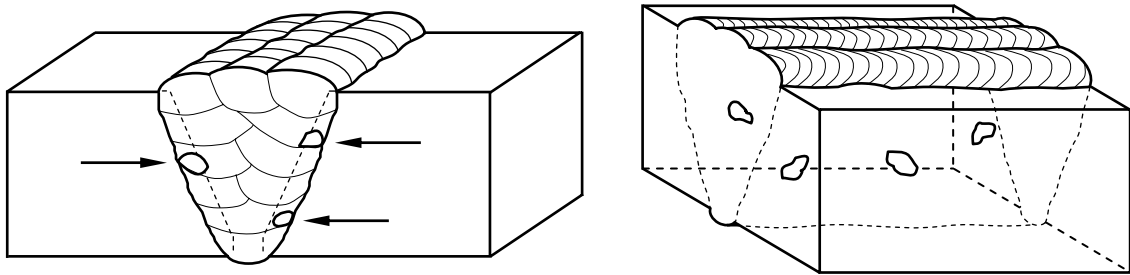


**Figura No. 44: Fusión incompleta**

### d) Inclusión de tungsteno

Estas inclusiones están asociadas con el proceso GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), el cual utiliza un electrodo de tungsteno para producir un arco y el calor para la soldadura. Son pedazos pequeños de tungsteno entre los cordones de la soldadura. Pueden ser partículas muy finas o de gran tamaño, de forma irregular, agrupadas o aisladas y localizadas en cualquier parte de la soldadura, ver figura No. 45.

Ocurre cuando el electrodo de tungsteno hace contacto con el charco fundido, con lo que se corta el arco y el metal fundido puede solidificarse alrededor de la punta del electrodo. También resulta cuando la corriente utilizada es en exceso con respecto a la recomendada para el diámetro particular del electrodo, por lo que el electrodo se funde y se pueden depositar pedazos del mismo en el metal soldado. Otra razón es que el electrodo no consumible de tungsteno toque el metal de soldadura fundido o el de trabajo y se funda, depositando partículas de tungsteno que quedan atrapadas dentro del metal soldado.



**Figura No. 45: Inclusión de tungsteno**

#### e) Grietas

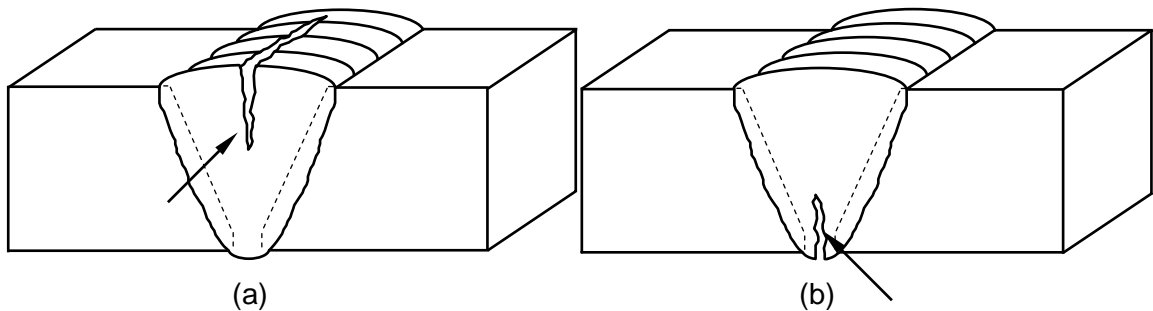
La grieta generalmente es considerada como la discontinuidad más crítica, esto se debe al hecho de que las grietas son caracterizadas como lineales y porque presentan condiciones de extremos o puntas muy agudas por lo que existe la tendencia para que la grieta crezca o se propague, si son aplicados esfuerzos adicionales. Inician cuando las cargas o esfuerzos aplicados a un miembro exceden su resistencia a la tensión, esto es, existe una condición de sobrecarga. También, la presencia de muescas, ranuras, discontinuidades y cambios agudos de dimensiones pueden causar la concentración de esfuerzos, por lo que las grietas comúnmente son asociadas con tales elevadores de esfuerzos.

Las grietas pueden ser clasificadas en diferentes formas:

1. Por la forma de indicar cuándo ocurren las grietas. Por lo que pueden ser clasificadas como grietas calientes y frías, tomando como base la temperatura a la cual ocurren.
  - a) Grietas calientes: Ocurren durante la solidificación del metal a altas temperaturas. Se considera que su propagación es inter-granular, esto es que la grieta ocurre entre granos individuales.
  - b) Grietas frías: Ocurren después que el metal se ha solidificado y enfriado a temperatura ambiente. Aquellas que resultan de condiciones de servicio o por hidrógeno atrapado también pueden ser consideradas como grietas frías. La propagación de estas grietas puede ser inter-granular o trans-granular, esto es entre o a través de granos individuales.

2. Por la forma de describir su dirección con respecto al eje longitudinal de la soldadura. Se identifican como grietas longitudinales y transversales.
- a) Grietas longitudinales: Son aquellas que corren paralelas al eje de la soldadura, normalmente están confinadas al centro de la soldadura, como ilustra la figura No. 46.

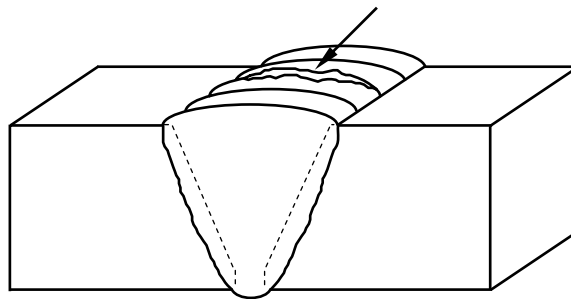
Una grieta longitudinal puede ser la extensión de una grieta que inicia en la primer capa de soldadura, la cual, si no es removida, tiende a propagarse subsecuentemente hacia las capas superiores hasta alcanzar la superficie. Las grietas longitudinales pueden resultar de esfuerzos transversales de contracción o esfuerzos asociados con las condiciones de servicio.



**Figura No. 46: Grieta longitudinal**

- b) Grietas transversales: Estas grietas son perpendiculares al eje de la soldadura, en algunos casos entran al metal base, ver la figura No. 47.

Las grietas transversales son generalmente causadas por esfuerzos longitudinales de contracción de la soldadura que actúan sobre la propia soldadura o sobre el metal base de baja ductilidad.



**Figura No. 47: Grieta transversal**

3. Por la localización física exacta con respecto a las diferentes partes de la soldadura. Esta descripción incluye: garganta, raíz, dedo, cráter, debajo de cordón, zona afectada por el calor y grietas en el metal base.

- a) Grietas de garganta: Así son llamadas porque se extienden a lo largo de la garganta de la soldadura o en el espacio más corto a través de la sección transversal de la soldadura, en soldaduras de filete.

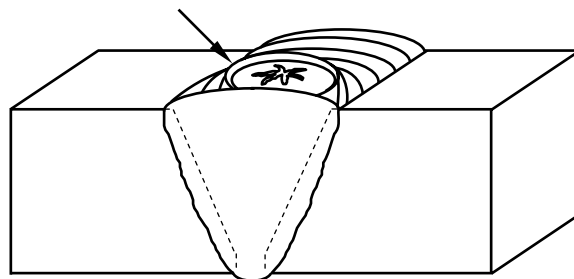
También son grietas longitudinales y pueden llegar a la cara de la soldadura por lo que pueden llegar a ser observadas visualmente.

- b) Grietas de raíz: Su propagación puede ser en el metal de soldadura o en el metal base, la figura No. 46(b) muestra una grieta de raíz. Inician en la raíz de la soldadura o en la superficie de la raíz de la soldadura. También son grietas longitudinales.

Así como las grietas de garganta se relacionan con los esfuerzos de contracción de la soldadura, las grietas de raíz muchas veces resultan cuando las juntas se ajustan o preparan inadecuadamente, por ejemplo aberturas de raíz grandes pueden resultar en una concentración de esfuerzos para producir las grietas de raíz.

- c) Grietas de dedo: Son grietas del metal base las cuales se propagan desde los dedos de la soldadura. Las configuraciones de soldadura que presentan refuerzo o convexidad pueden proporcionar concentradores de esfuerzos en los dedos de la soldadura, esto combinado con la baja ductilidad de la micro estructura de la zona afectada por el calor incrementa la susceptibilidad de la soldadura a las grietas de dedo. Pueden ocurrir por los esfuerzos transversales de contracción de la soldadura o por esfuerzos de servicio debido a la fatiga.

- d) Grietas de cráter: Se generan en los puntos de terminación de los pasos o cordones individuales de soldadura, donde se interrumpe el arco. Si la técnica utilizada por el soldador al terminar el arco no suministra el llenado completo del charco de soldadura fundida, el resultado puede ser un cráter en esa ubicación. Ésta área combinada con los esfuerzos de contracción de la soldadura durante la solidificación del charco fundido, puede causar una grieta de cráter o redes de grietas que irradian desde el centro del cráter, como se muestra en la figura No. 48. Cuando hay un arreglo radial es comúnmente referido como grieta de estrella.



**Figura No. 48: Grieta cráter**



Las grietas de cráter pueden ser extremadamente peligrosas porque tienen la tendencia a ser puntos de inicio de otras grietas y son consideradas como serias por la mayoría de normas.

- e) Grietas debajo de cordón / zona afectada por el calor: Aunque están relacionadas con la operación de soldadura, estas grietas se localizan directamente adyacentes a la línea de fusión de la soldadura, en la zona afectada por el calor en el metal base. Corren directamente paralelas a la línea de fusión.

Son un tipo de grietas particularmente peligrosas porque pueden no propagarse hasta varias horas después que la soldadura ha sido terminada, por lo que para aquellos materiales que son más susceptibles a este tipo de grietas, la inspección final debería realizarse de 48 a 72 horas después que la soldadura se ha enfriado a la temperatura ambiente. Resultan por la presencia de hidrógeno en la zona de la soldadura, el cual puede estar presente en el material de aporte, en el metal base, en la atmósfera circundante o por contaminación superficial.

También, debido a que la zona afectada por el calor es típicamente menos dúctil que el metal de soldadura y el metal base, el agrietamiento puede ocurrir sin la presencia de hidrógeno. En situaciones de alta restricción, los esfuerzos de contracción pueden ser suficientes para producir agrietamiento en la zona afectada por el calor, especialmente en el caso de materiales frágiles.

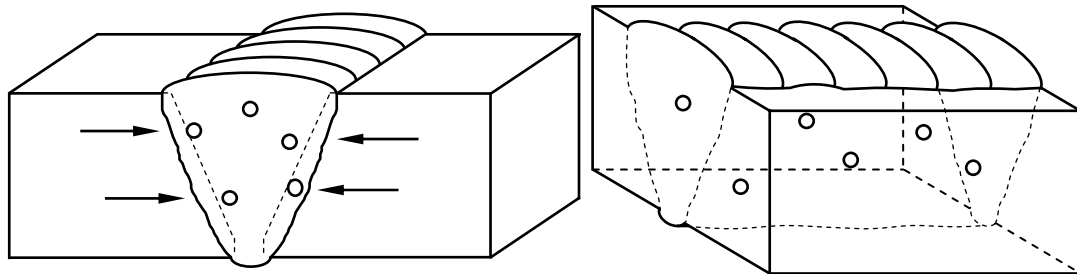
- f) Grietas en el metal base: Este tipo de grietas puede o no ser asociado con la soldadura. Con mucha frecuencia, son asociadas con elevadores de esfuerzos, los cuales resultan en el agrietamiento una vez que la pieza ha sido puesta en servicio.

## **f) 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.

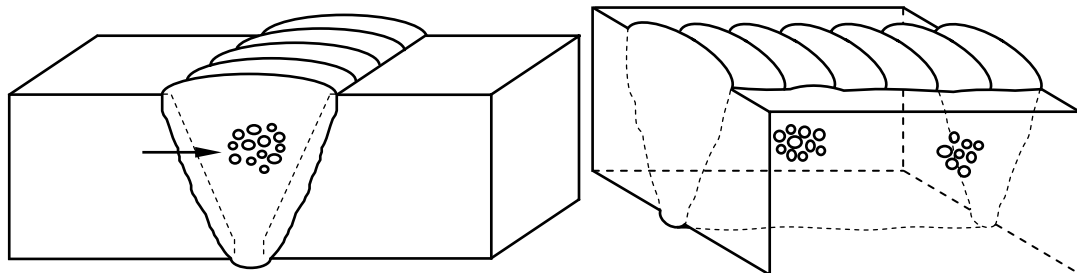
Así como para las grietas, existen diferentes formas de nombrar un tipo específico de porosidad. En general, se refieren a la localización relativa de varios poros o la forma específica de los poros individuales. Tales identificaciones son:

- a) Porosidad aislada: Como su nombre lo dice corresponde a un poro individual, que puede ser redondeado o alargado, y que puede quedar atrapado y localizado en cualquier lugar en la soldadura.
- b) Porosidad uniformemente dispersa: Se refiere a poros numerosos que pueden aparecer dispersos a través de la soldadura sin ningún patrón en particular, como se ilustra en la figura No. 49.



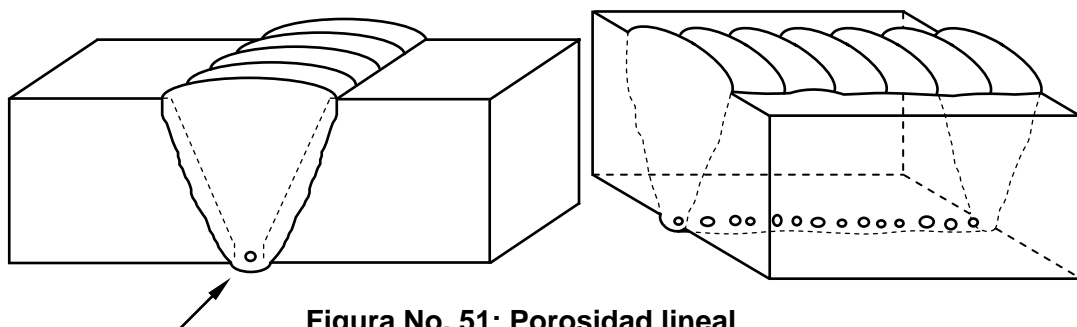
**Figura No. 49: Porosidad uniformemente dispersa**

- c) Porosidad agrupada: Se refiere a un patrón específico de varios poros; describe un número de poros agrupados en un área pequeña separada por cierta longitud de metal soldado libre de porosidad. La figura No. 50 muestra la porosidad agrupada.



**Figura No. 50: Porosidad agrupada**

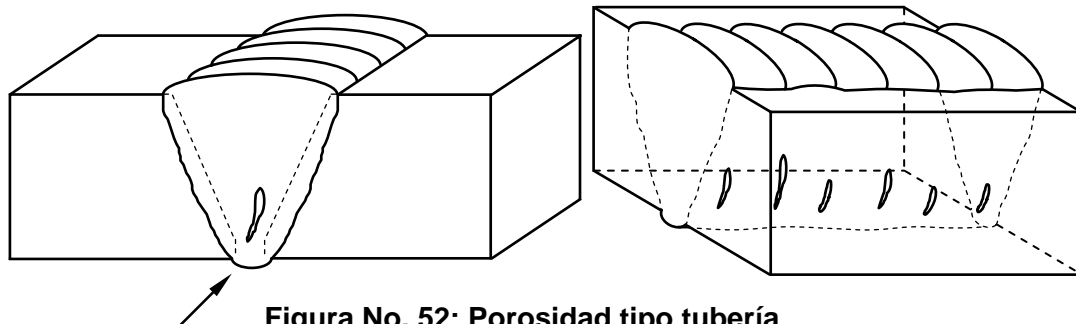
- d) Porosidad lineal: Se refiere a otro patrón específico de varios poros; Porosidad lineal o alineada describe un número de poros agrupados en una línea recta y paralela al eje de la soldadura. Generalmente se encuentran en la capa de raíz, como se ilustra en la figura No. 51.



**Figura No. 51: Porosidad lineal**

- e) Porosidad tipo tubería: En los tipos anteriores de porosidad, los poros son usualmente de forma esférica, sin embargo, con este otro tipo los poros son alargados, ver figura No. 52. Por esta razón, son referidos como porosidad alargada, tipo túnel o agujeros de gusano.

Este tipo de porosidad representa la condición más riesgosa si la función principal de la soldadura es contener un líquido o gas.



**Figura No. 52: Porosidad tipo tubería**

La porosidad es normalmente causada por la presencia de contaminantes o humedad en la zona soldada, la cual se evapora debido al calor de la soldadura formando gases. Esta contaminación o humedad puede provenir de varias fuentes como el electrodo, el metal base, el gas de protección o la atmósfera circundante. También, algunas variaciones en la técnica para soldar pueden provocar porosidad.

### 3. Discontinuidades de servicio

La falla mecánica es siempre el resultado de un esfuerzo arriba de un valor crítico, para cada material, que provoque deformación o fractura. Tales esfuerzos excesivos son establecidos por una variedad de factores tales como la combinación de defectos del material, cargas excesivas, tipos de cargas inadecuadas o errores de diseño.

En general, los productos y estructuras pueden estar sujetas a una variedad de condiciones de servicio, por ejemplo: las cargas aplicadas pueden ser estáticas (estacionarias o fijas) o dinámicas (variables); el medio ambiente puede contribuir con corrosión, vibración, temperatura y presiones por arriba o debajo de las condiciones normales; el producto podría, inclusive, estar sujeto a abuso.

Bajo ciertas condiciones, las discontinuidades que se cree no son de riesgo pueden cambiar y convertirse en defectos serios que puedan causar una falla desastrosa. Esto ocurre debido a condiciones de servicio y puede ser por los efectos de fatiga o corrosión, especialmente cuando son acompañadas por cargas cíclicas. Una pequeña discontinuidad que es inherente al material puede desarrollarse hasta convertirse en una grieta de concentración de esfuerzos que, bajo ciertas cargas variables, se propaga con el paso del tiempo hasta que ya no exista suficiente material sólido para soportar la carga y, como consecuencia, se produce la falla total por fractura.

Las discontinuidades de servicio son consideradas como las más importantes y críticas.

Los materiales que pueden presentar defectos, debido a las condiciones de funcionamiento u operación, son considerados extremadamente críticos y demandan atención estrecha.

Son consideradas discontinuidades de servicio a:

#### a) Grietas por fatiga

Normalmente inician en la superficie del material y se encuentran abiertas, progresando generalmente en ángulos rectos con respecto a la dirección de los esfuerzos principales de operación. Inician en puntos considerados como de alta concentración de esfuerzos, ver figura No. 53, tales como barrenos en el material, ranuras en la superficie, discontinuidades existentes en la pieza antes de ponerla en servicio, particularmente aquellas discontinuidades sobre o cercanas a la superficie, y discontinuidades causadas por ataque de corrosión en los bordes de grano que pueden ser fuentes de grietas por fatiga.

Las grietas por fatiga son causadas por cargas cíclicas repetidas, tales como dobléz o flexión, o por esfuerzos de vibración.

La falla por fatiga es más común de lo que podría pensarse. Se estima que en el equipo que cuenta con partes en movimiento o que se encuentran sujetas a vibración, el 90% de las fallas incluye a la fatiga de alguna forma.

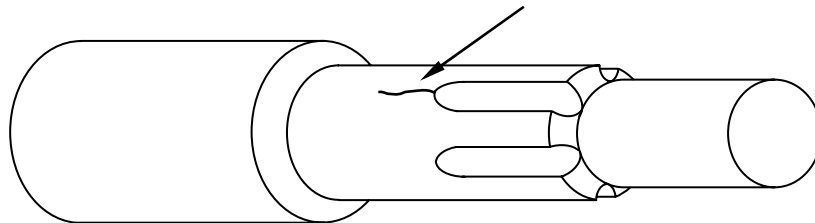


Figura No. 53: Grieta por fatiga

#### b) Corrosión

En general, la corrosión es el deterioro de metales debido a la acción química de algún medio circundante o contrayente, el cual puede ser un líquido, gas o la combinación de ambos. En algún grado, la corrosión puede producirse sobre todos los metales, pero su efecto varía ampliamente dependiendo de la combinación del metal y el agente corrosivo.

El término corrosión es utilizado para describir una acción considerada normalmente en detrimento del material, pero el principio es utilizado actualmente como beneficio en algunos casos.

La corrosión ataca metales por acción química directa, por electrólisis (acción electroquímica) o comúnmente por una combinación de ambas.

### **I. Acción química directa**

Teóricamente todos los fenómenos de corrosión son electromecánicos, ya que toma lugar una transferencia de electrones, pero el término acción química directa es usado para describir aquellas reacciones donde los ánodos y cátodos acoplados que existen en un electrolito no son identificables.

### **II. Reacción electrolítica (electroquímica)**

La corrosión de tipo electroquímica también involucra cambios químicos pero además involucra el flujo de una corriente eléctrica entre dos electrodos, un ánodo (positivo, donde se dejan electrones y son descargados iones negativos) y un cátodo (negativo, donde entran electrones y son formados iones negativos). Para completar el circuito puede existir un contacto eléctrico además del flujo de electrones a través del electrolito. El sistema es análogo a un sistema de plating en el cual el ánodo suministra el metal a ser depositado. El ánodo eventualmente se desgasta.

### **Velocidad de corrosión**

La velocidad de corrosión depende de varios factores:

- El metal o metales de un sistema de corrosión.
  - 1) Su posición en las series electroquímicas. En la posición más alta, es mayor su tendencia a la corrosión. En sistemas con múltiples metales, la parte más alejada, tiene la mayor acción electromecánica.
  - 2) La presencia de esfuerzos residuales.
- El electrolito presente.
  - 1) Su concentración. Con una alta concentración usualmente se incrementa la corrosión.
  - 2) Contenido de oxígeno. El oxígeno es particularmente perjudicial en la corrosión del hierro.
  - 3) Acidez. En general, con un contenido más alto de ácido, más alta la velocidad de corrosión.
  - 4) Temperatura. Con el incremento de temperatura normalmente se acelera la corrosión.

- 5) **Movimiento.** La velocidad de un flujo de electrolito puede mover productos de corrosión para exponer al ataque a metal nuevo. El movimiento del electrolito también evita la formación de celdas de corrosión, lo que reduce la corrosión.
  - 6) **Corrientes eléctricas.** Corrientes localizadas por fugas, tierra o corrientes Eddy normalmente aceleran la corrosión.
- **Corrosión atmosférica.** La corrosión atmosférica normalmente es producto de la humedad, pero aunque pueda estar presente humedad, el agua pura tiene un efecto relativamente pequeño. La combinación de humedad con impurezas, especialmente sales de cloro o azufre, aceleran grandemente la corrosión atmosférica.

### Tipos de corrosión

- a) **Corrosión General.** La corrosión general es el tipo más común de corrosión, se presenta en forma relativamente uniforme sobre la superficie total del metal expuesto.

Todas las otras formas son referidas como “corrosión localizada”.

- b) **Picaduras (Pitting).** Las picaduras son un tipo de corrosión localizada la cual corresponde a huecos que se extienden o desarrollan hacia dentro del metal. Esta corrosión es más seria que la corrosión ligera general ya que las picaduras pueden reducir la resistencia del material y porque también son núcleos para las grietas por fatiga. En algunos materiales la cantidad y profundidad de las picaduras puede incrementarse con el tiempo. El acero con corrosión uniforme expuesto a la atmósfera puede, con el paso del tiempo, desarrollar picaduras.
- c) **Corrosión ínter cristalina.** Es un tipo serio de corrosión, creado cuando el ataque es contra los bordes de grano.

De las variedades de corrosión ínter cristalina, el **agrietamiento por esfuerzos de corrosión** (Stress Corrosion Cracking - SCC), es un tipo de corrosión que sigue los bordes de grano, desde la superficie del metal, desarrollando una discontinuidad de tipo grieta. Es una acción compuesta por esfuerzos y un ambiente corrosivo, lo que resulta en una reducción significativa en la ductilidad de un material. Es de gran interés por sus efectos sobre un gran número de aleaciones comunes de varios metales, utilizados en medios químicamente agresivos. Tales grietas pueden causar la falla del material sometido a cargas estáticas, debido a la reducción de la resistencia a la carga de la sección transversal.

Los esfuerzos involucrados pueden ser residuales o aplicados, o ambos, en presencia de iones específicos o ambientes peculiares para cada metal o aleación. Los esfuerzos residuales normalmente se encuentran con facilidad en componentes soldados y formados en frío.

En el caso de cargas dinámicas, son fuentes de inicio de las grietas y falla por fatiga. En aceros de alta resistencia y aceros inoxidable martensíticos es usualmente íter-granular, y en aceros inoxidable austeníticos es normalmente trans-granular.

Para el control del agrietamiento por esfuerzos de corrosión es necesario considerar cuatro requisitos para que se presente: una aleación susceptible; un medio agresivo y corrosivo; esfuerzos aplicados o residuales; y el tiempo.

## CAPITULO TRES: INSPECCIÓN DE SOLDADURAS

### III

La inspección de soldaduras por medio del uso de Pruebas No Destructivas tiene dos funciones:

- El control de calidad, lo que involucra el monitoreo del soldador y de la funcionalidad del equipo, así como, la calidad de los consumibles y del material base utilizados.
- La aceptación o rechazo de una soldadura, con base en su capacidad propuesta y su capacidad bajo las condiciones de servicio impuestas sobre la estructura.

El método adecuado de inspección puede ser diferente para cada función. Existe un número de factores que influyen en la selección de la Prueba No Destructiva adecuada para la inspección de soldaduras estructurales, estos factores puede incluir a: las características de las discontinuidades, los requisitos de mecánica de fractura, el análisis de esfuerzos, los materiales de ingeniería, el acceso a la zona de inspección, la geometría de la estructura (plana, curva, gruesa, delgada, etc.), la condición de la superficie, la etapa de la inspección (fabricación, servicio), el medio ambiente (hostil, bajo el agua, etc.), el tiempo de inspección disponible, etc. En general, es necesario ejercer un juicio de ingeniería para que pueda establecerse un orden de importancia de estos factores y determinar la técnica de inspección óptima.

Si un método de inspección es considerado como la opción viable, entonces con él las discontinuidades deben ser detectadas, identificadas, localizadas y dimensionadas exactamente, y debe ser establecida su orientación, lo cual puede llevar a considerar que se limita la inspección a una técnica volumétrica. Inclusive, existen Códigos y estándares que proporcionan guías para cada método, basados en sus capacidades y limitaciones.

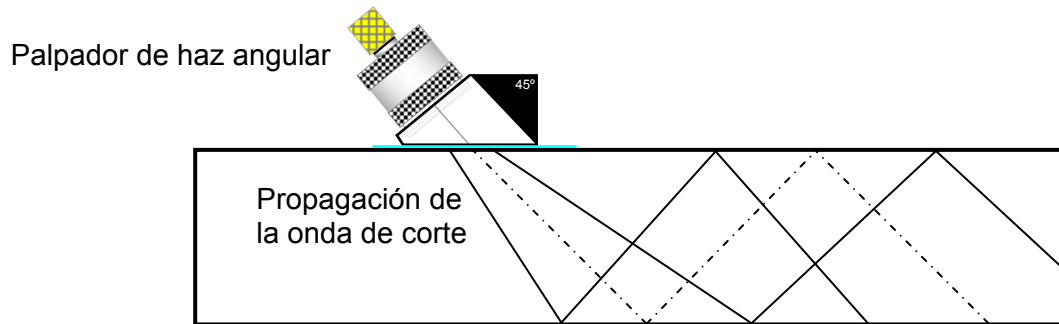
Aquí entonces, la inspección ultrasónica contribuye de forma significativa, proporcionando detalles de la condición interna de la soldadura. Además, la inspección ultrasónica es útil en el desarrollo de técnicas de soldadura y también muchos documentos requieren que la inspección ultrasónica sea empleada en algún grado en la inspección final.

---

### i. Uso de palpadores de haz angular

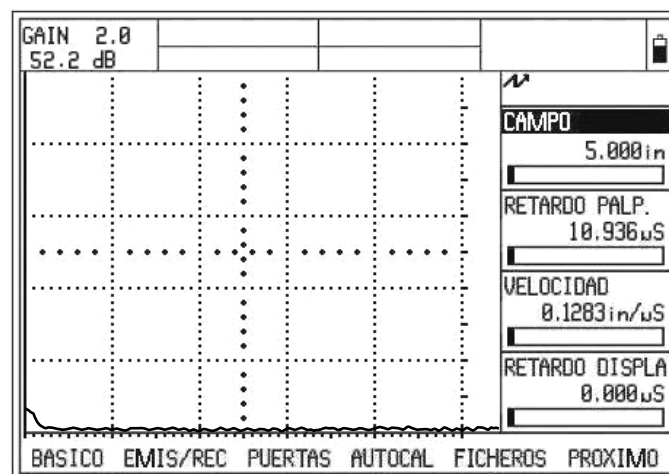
Cuando un palpador de haz angular, que esté conectado a un equipo de ultrasonido, se acopla sobre la superficie de una placa, el haz de ondas longitudinales emitido por el cristal del palpador se refracta al atravesar la interfase, convirtiéndose en un haz de ondas de corte. Éste haz se propaga en “zig-zag” a través de la placa como se ilustra en la figura No. 54.





**Figura No. 54: Propagación del haz de ondas de corte**

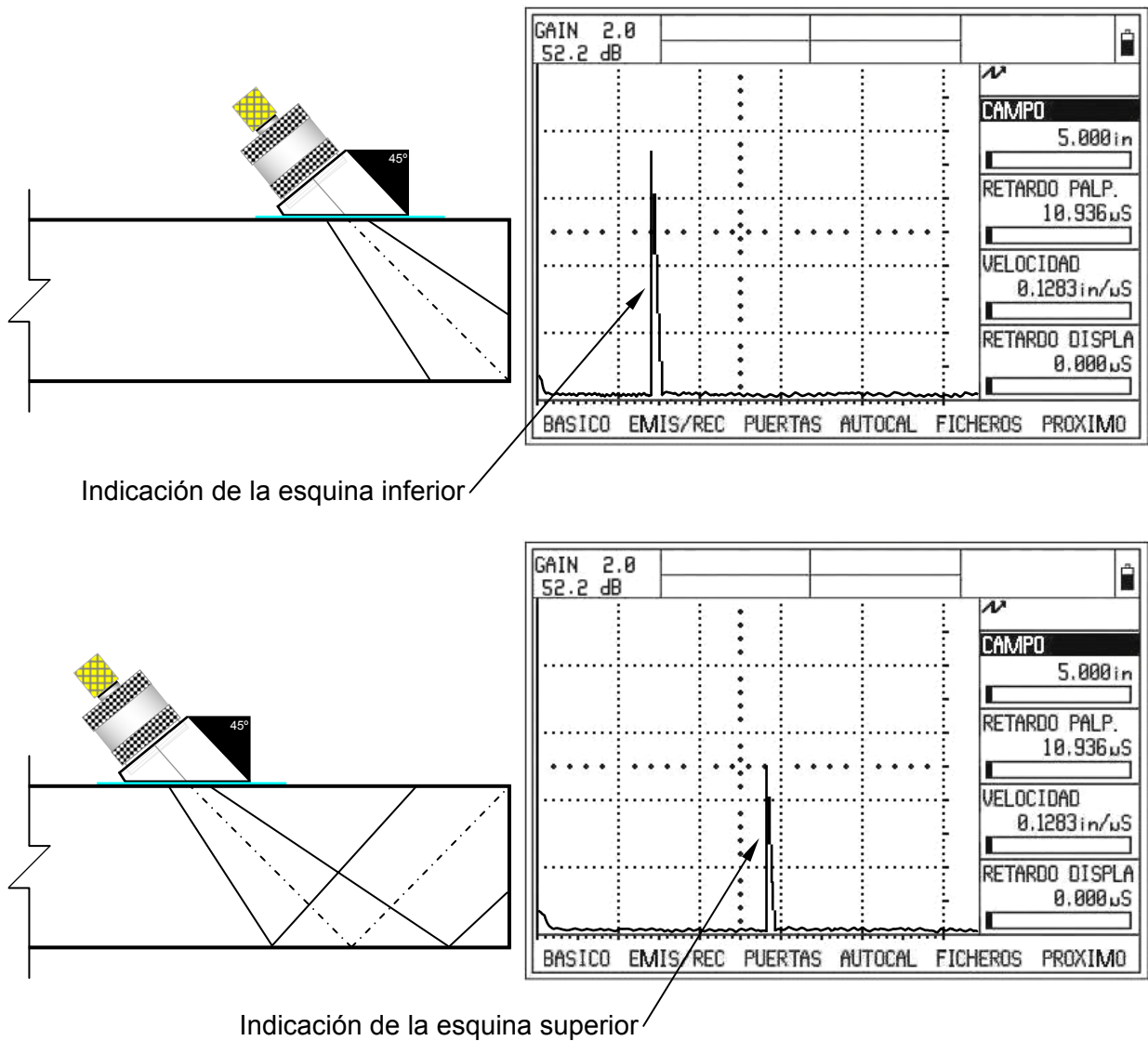
Si en su camino el haz de ondas de corte no encuentra ningún reflector con orientación favorable, continuará su propagación a través de la placa y en la pantalla no habrá ninguna indicación, como se ilustra en la figura No. 55.



**Figura No. 55: Pantalla del instrumento ultrasónico**

Imaginemos ahora que el haz de ondas de corte incide en el borde de la placa, figura No. 56. En éste caso, aparecerá un eco en la pantalla y, siempre que el rango elegido en el equipo sea el adecuado, la reflexión se producirá bien cuando el haz incida en la esquina inferior o bien cuando incida en la esquina superior.

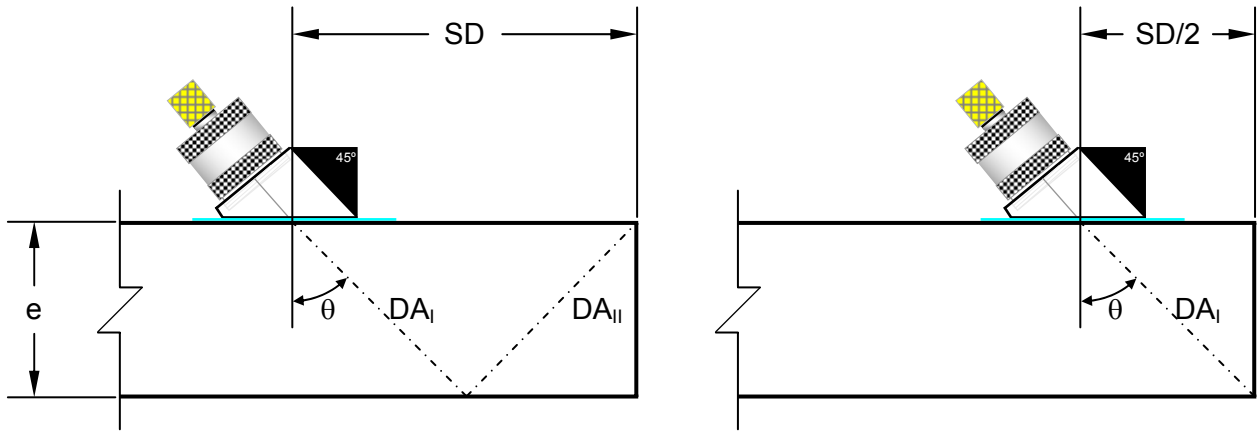
El eco de máxima altura corresponderá a la reflexión de la parte central del haz en la esquina inferior de la pieza, al producirse la primera reflexión. A continuación, los ecos sucesivos, debidos a reflexiones en las esquinas, serán lógicamente de menor amplitud a medida que el palpador vaya alejándose del borde de la placa, puesto que el haz, al tener que recorrer mayor camino, sufrirá una atenuación consiguiente mayor.



**Figura No. 56: Incidencia del haz en el borde de la placa**

De lo anterior se deduce que se pueden obtener las reflexiones correspondientes a las esquinas inferior y superior, del borde de la placa, sin más que situar el palpador de forma que el haz incida primeramente en la esquina inferior y después en la esquina superior (después de haber sufrido una reflexión en la superficie inferior de la placa). La reflexión en la esquina inferior del borde de la placa se produce a una distancia que identificaremos como  $SD/2$ , entre el punto de salida del haz del palpador y el borde de la placa, y la reflexión en la esquina superior se produce a una distancia  $SD$ , veamos ahora la figura No. 57.

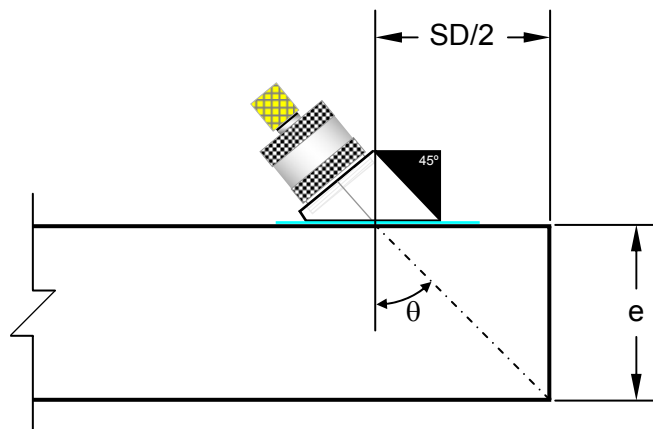
Como se puede observar en el lado izquierdo de la figura No. 57, por la forma en “V” del recorrido del haz ultrasónico hasta completar la  $SD$ , se le da el nombre de “*Trayectoria en V*”.



**Figura No. 57: Distancia de salto (SD) y de medio salto (SD/2)**

La distancia recorrida por el haz ultrasónico hasta la superficie inferior de la placa ( $DA_I$ ) se conoce como la “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.

Con base en la figura No. 57 se puede deducir que el haz barre toda la sección transversal de la placa al desplazar el palpador entre las distancias SD y SD/2. A la distancia SD se le denomina “Distancia de Salto”, o distancia brinco (por su nombre en Inglés: Skip Distance) y a SD/2, “Distancia de Medio Salto”. Conociendo el ángulo de refracción del haz ultrasónico ( $\theta$ ), marcado en el palpador, y el espesor se pueden calcular las distancias SD y SD/2, figura No. 58.



**Figura No. 58: Distancia de medio salto**

En efecto, de la figura anterior se deduce que:

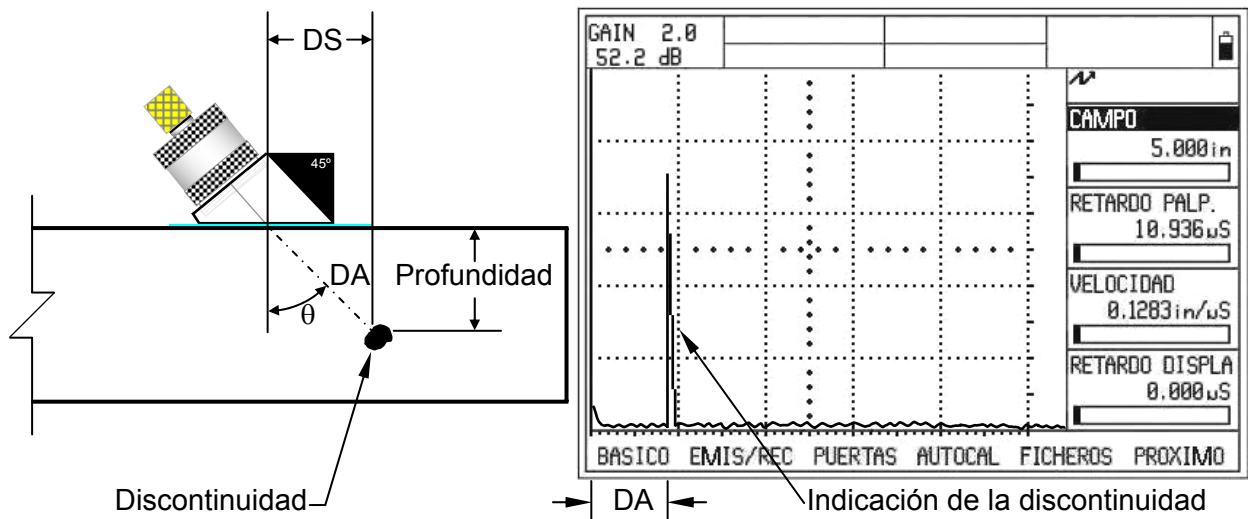
$$\text{tg } \theta = \frac{SD/2}{e}$$

Por lo que despejando:  $\frac{SD}{2} = e \text{ tg } \theta \Rightarrow SD = 2e \text{ tg } \theta = e 2\text{tg } \theta$

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

## ii. 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 No. 59. 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.



**Figura No. 59: Detección de una discontinuidad**

Ahora bien, recurriendo a expresiones trigonométricas sencillas tendremos que:

$$\operatorname{Sen} \theta = \frac{DS}{DA}$$

$$\operatorname{Cos} \theta = \frac{\text{Profundidad}}{DA}$$

Por lo tanto:

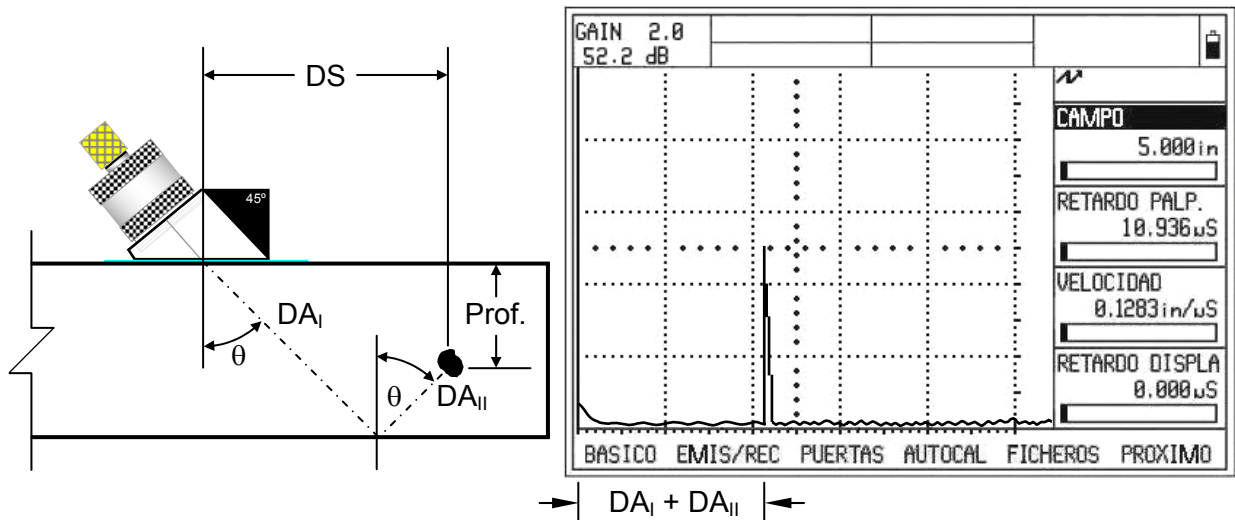
$$DS = DA \times \operatorname{Sen} \theta \quad \text{y}$$

$$\text{Profundidad} = DA \times \operatorname{Cos} \theta$$

Donde:        DS = Distancia superficial  
                   DA = Distancia angular  
                    $\theta$  = Ángulo de refracción

Como el ángulo  $\theta$  es conocido, puesto que es el ángulo de entrada del haz, recurriendo a las expresiones anteriores, podremos determinar la distancia superficial a la cual se encuentra la discontinuidad, medida sobre la superficie de la placa, así como la profundidad.

Consideremos ahora que la discontinuidad se localiza después de una reflexión del haz en la superficie inferior de la placa, figura No. 60; observando en la pantalla del equipo veremos que la distancia angular a la que aparece la discontinuidad es lógicamente mayor.



**Figura No. 60: Detección de una discontinuidad con segunda pierna**

Considerando las expresiones anteriores, ahora tendremos que:

**DS = DA x Sen  $\theta$**  (la misma que para la Primera Pierna), y

**Profundidad = 2e (DA<sub>I</sub> + DA<sub>II</sub>) Cos  $\theta$**  por lo tanto: **Profundidad = 2e – (DA<sub>T</sub> x Cos  $\theta$ )**

- Donde:
- DS = Distancia superficial
  - DA = Distancia angular (DA<sub>T</sub>)
  - DA<sub>T</sub> = Distancia angular total (DA<sub>I</sub> + DA<sub>II</sub>)
  - $\theta$  = Ángulo 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.

### iii. Inspección de soldaduras por ultrasonido

Antes de abordar la inspección de un determinado cordón de soldadura, todo técnico en ultrasonido debe conocer cierta información. El conocimiento acerca de estas cuestiones puede suponerle al técnico una gran ayuda para realizar el examen.

Veamos a continuación cuál es esta información y como puede influir en el control ultrasónico su conocimiento:

1. Material a inspeccionar. Conocer el 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 podría determinar la frecuencia a emplear.
2. Espesor de placa. Saber cual es el espesor de la placa es siempre muy importante, pues, aparte de ayudar en la elección del ángulo a emplear, sirve para conocer las distancias de brinco y de medio brinco entre las cuales ha de desplazar el palpador durante la ejecución de la inspección.
3. Preparación de las uniones del cordón. Conocer la preparación de la unión ayuda, de manera considerable a la hora de interpretar las discontinuidades. Así, por ejemplo, si el cordón lleva preparación en "X" y la posible falta de penetración que pudiera tener este cordón, se encuentra en el centro del mismo, es decir, entre las pasadas de la raíz de uno y otro lado.
4. Procedimiento de soldadura utilizado. El conocimiento de qué procedimiento de soldadura se ha empleado es de gran importancia para determinar cuales son las discontinuidades que, con mayor seguridad, se pueden encontrar.

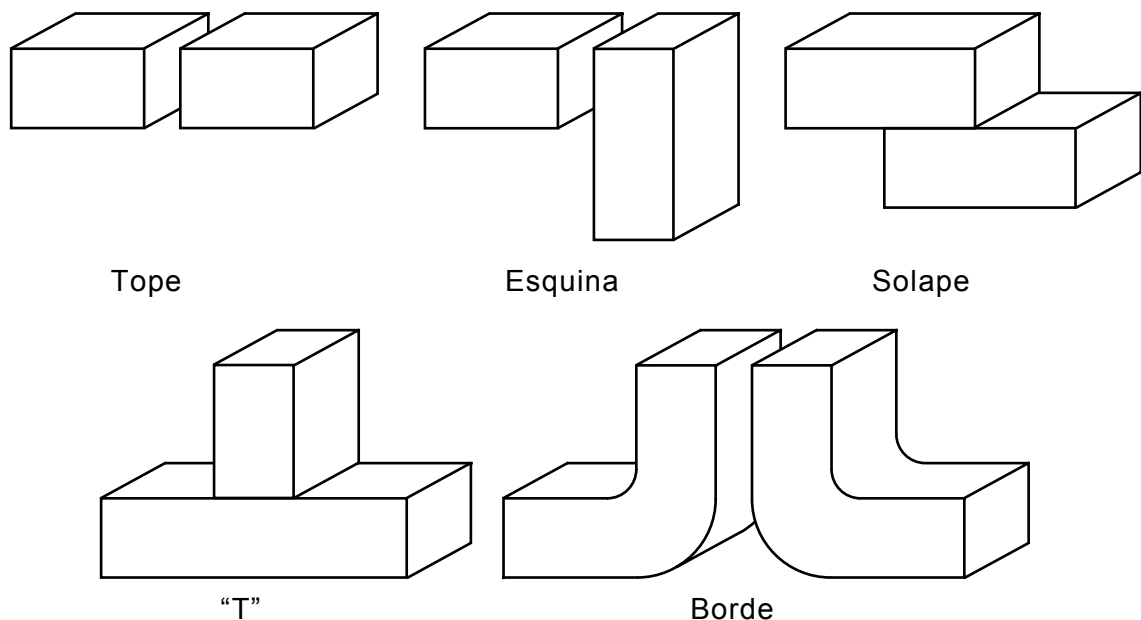
Así, el cordón se ha soldado con el procedimiento CO<sub>2</sub> se sabe de antemano que no va a encontrar inclusiones de escoria, pues el electrodo va protegido con gas y debe, en cambio, tener en cuenta que en este tipo de soldadura las discontinuidades más frecuentes son porosidad y faltas de fusión entre otras.

5. Si la soldadura ha sufrido algún tratamiento térmico o no. A veces, en ciertos tipos de cordones, es necesario realizar tratamientos térmicos posteriores a la soldadura. Estos tratamientos pueden originar cambios en la estructura de grano del cordón, lo cual puede influir sobre la elección de la frecuencia del palpador.
6. Existencia de respaldo de soporte en la raíz del cordón. Por último, en la raíz de algunos cordones, se sujeta con soportes de respaldo (por ejemplo en ciertas uniones de tubos). El técnico debe esperar, casi con seguridad, ecos debidos a reflexiones en los mencionados respaldos, lo que ha de tener en cuenta a la hora de dilucidar si un eco procedente de la raíz, es de una discontinuidad real, o bien de dichos respaldos.

## 1. Tipos de juntas y preparación

Como se mencionó anteriormente, con el fin de inspeccionar una unión soldada por ultrasonido, puede ser muy importante conocer la preparación de la junta, la forma y su perfil, esto es su sección transversal.

La figura No. 61 ilustra las cinco juntas básicas usadas en la industria:



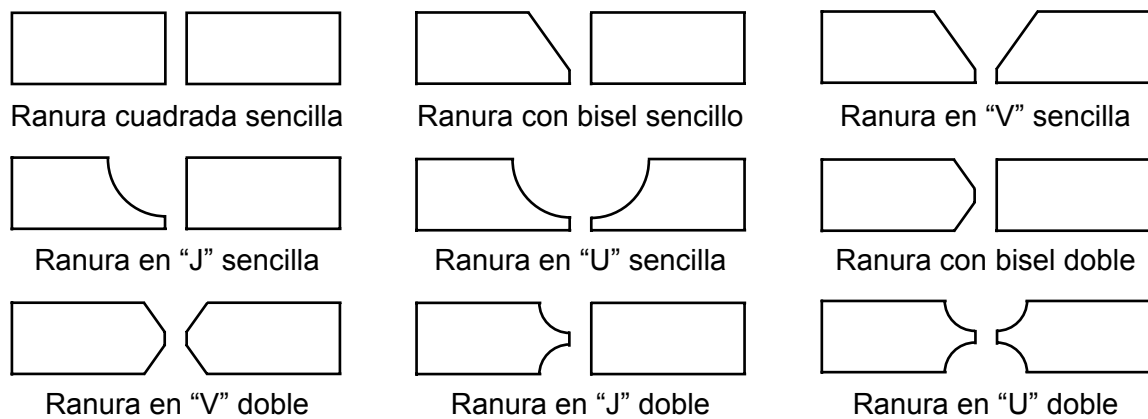
**Figura No. 61: Tipos de juntas**

Las juntas a tope, esquina y en "T" son probablemente las más inspeccionadas por ultrasonido, y de ellas, el tipo más común de junta inspeccionada es la junta a tope.

## 2. Tipos de ranuras

El tipo básico de ensamble soldado es la junta a tope cuadrada, en la cual, las caras con corte cuadrado original se acercan entre sí. Cuando se deja un espacio entre las caras, que es la forma más común del ensamble, al espacio se le conoce como "ranura".

La figura No. 62, muestra diferentes tipos de ensambles con diferentes tipos de ranuras, que pueden ser usadas en la preparación de una junta a tope con penetración completa. 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 la soldadura.



**Figura No. 62: Tipos de ranuras en juntas a tope**

Las ranuras pueden ser simétricas o asimétricas. En algunos tipos de ranura existen zonas planas en la parte inferior de la junta, a la que se conoce como “raíz”; esta configuración es común ya que proporciona estabilidad a la esquina inferior. Además, si la esquina fuera en forma de “V” podría resultar en penetración excesiva. Esta zona en la raíz actúa como una junta con ranura cuadrada. Cuando se requiere una serie de pasos para completar la junta, el primer paso está involucrado y puede ser muy crítico.

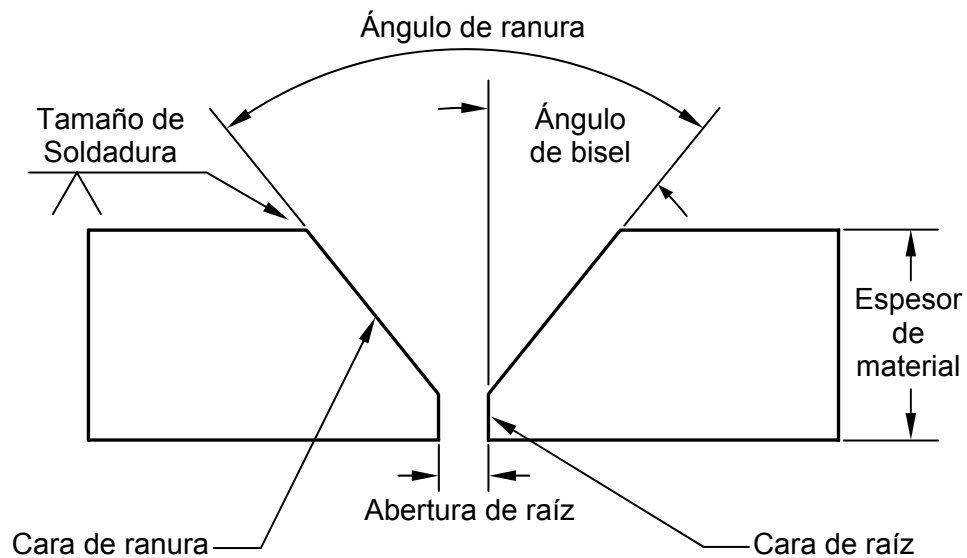
El tipo de ranura seleccionada lo determina el ingeniero de diseño. Algunos de los factores de ingeniería considerados para determinar el diseño son: el espesor de la sección, el esfuerzo requerido, el proceso de soldadura que será usado, el aspecto económico, la habilidad de los soldadores y la configuración de la parte soldada.

Por ejemplo, las ranuras cuadradas pueden ser usadas en secciones delgadas o cuando se fabrican costuras largas, como en tubería con soldadura automática. En ocasiones, se utilizan placas de respaldo debido a la ubicación de la junta o porque se suelda con un proceso que no deja una raíz limpia. La forma de la ranura es una necesidad para las juntas en materiales gruesos, donde se requiere el acceso para mantener el arco y para permitir que el metal sea depositado bajo condiciones controladas. La ranura en “V” doble se usa en secciones gruesas para reducir la cantidad de soldadura aplicada y la distorsión.

### 3. Nomenclatura de una ranura

En la figura No. 63 se pueden observar los componentes de una junta preparada para soldar. Todos los códigos, estándares y especificaciones establecen las tolerancias específicas para estos componentes. Estos parámetros son parte del procedimiento de soldadura utilizado, y la preparación normalmente es inspeccionada antes de aplicar la soldadura. Esta información debe estar disponible para realizar la inspección ultrasónica.





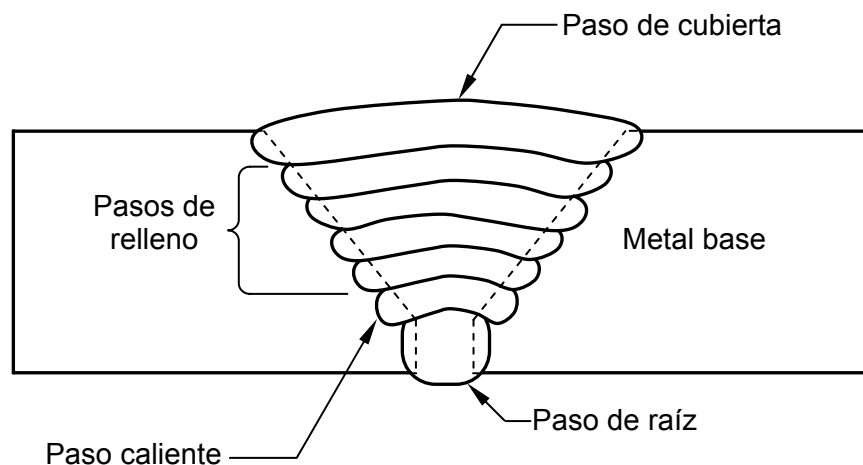
**Figura No. 63: Nomenclatura de una ranura**

A continuación se definen los términos utilizados:

- Ángulo de ranura:** El ángulo total incluido entre las caras de ranura de los miembros que están siendo unidos.
- Ángulo del bisel:** El ángulo formado entre la cara de ranura de un miembro que está siendo unido y un plano perpendicular a la superficie del miembro.
- Cara de ranura:** La superficie de un miembro incluida en la ranura.
- Cara de raíz:** La cara de ranura adyacente a la raíz de la junta.
- Abertura de raíz:** La separación entre los miembros que serán unidos en la raíz de la junta.
- Espesor de material:** Espesor del material que está siendo soldado.
- Tamaño de la soldadura:** Este símbolo de soldadura describe el tipo de preparación de la junta y el refuerzo, como también el tamaño de la soldadura.

#### **4. Capas de una soldadura**

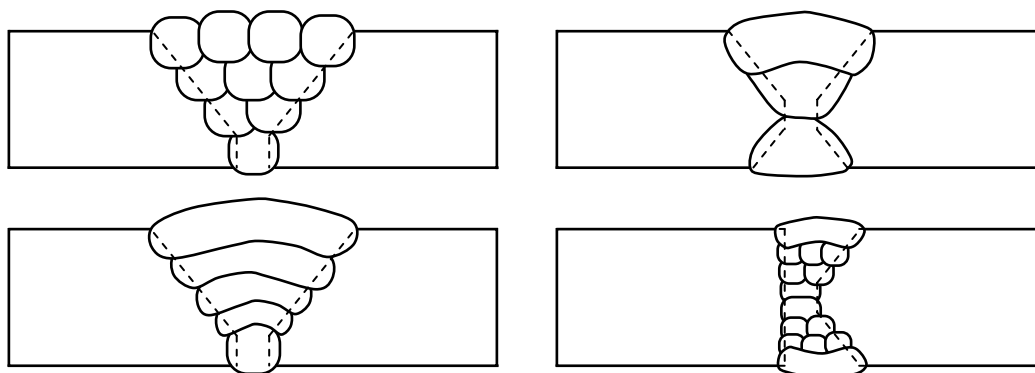
En la figura No. 64 se ilustran las diferentes capas de soldadura, en una soldadura a tope de penetración completa, y a continuación se definen:



**Figura No. 64: Capas de una soldadura**

- Paso de raíz:** El paso inicial de una soldadura que une dos secciones de material.
- Paso caliente:** El segundo y en ocasiones el tercer paso de soldadura en una junta. Usado para reforzar el paso de raíz.
- Pasos de relleno:** Estos pasos rellenan la mayoría de la junta preparada remanente.
- Paso de cubierta:** La capa final y de acabado o cara de la soldadura, algunas veces llamada “cubierta” o “corona”.
- Metal de origen:** Las secciones actuales que están siendo soldadas, algunas veces llamado “material o metal base”.

La figura No. 65 muestra ejemplos de secuencias de soldadura que pueden ser usadas en juntas de dos secciones. Estos ejemplos ilustran por qué el técnico debe estar enterado de la preparación y secuencia de la soldadura, para llevar a cabo adecuadamente la interpretación de las discontinuidades por su ubicación.

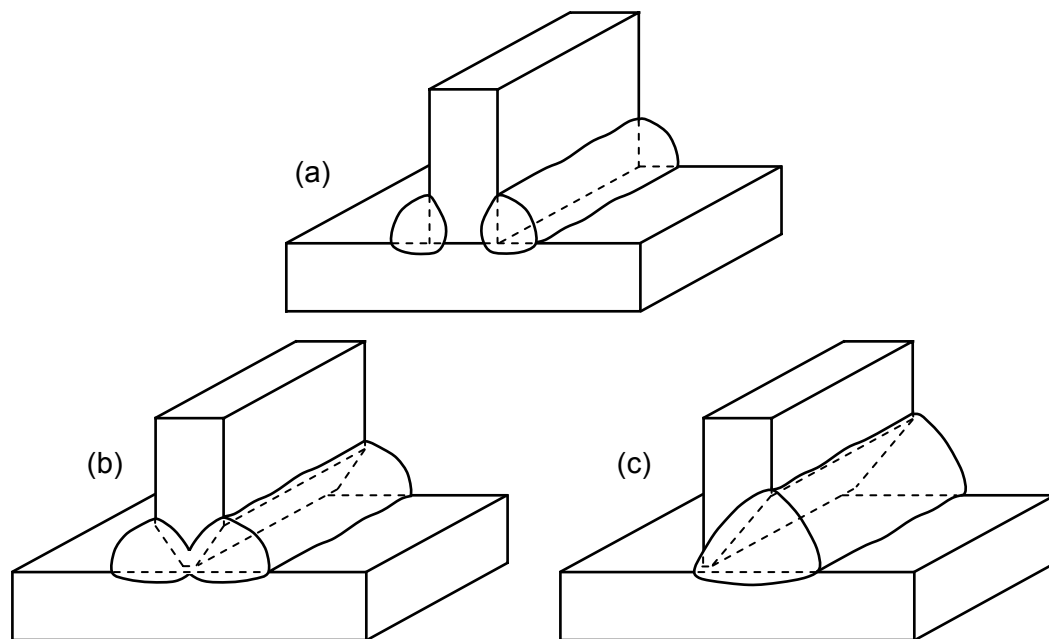


**Figura No. 65: Secuencias de soldadura**

## 5. Otras juntas y soldaduras

Existen otras juntas de geometría compleja en las que no es tan adecuado aplicar la inspección ultrasónica como en las juntas a tope.

La junta en “T”, por ejemplo, puede ser ensamblada con una o dos soldaduras de filete, como se ilustra en la figura No. 66a, que es la soldadura más comúnmente usada con la junta en “T”. Es el ensamble más económico ya que no requiere alguna preparación especial.

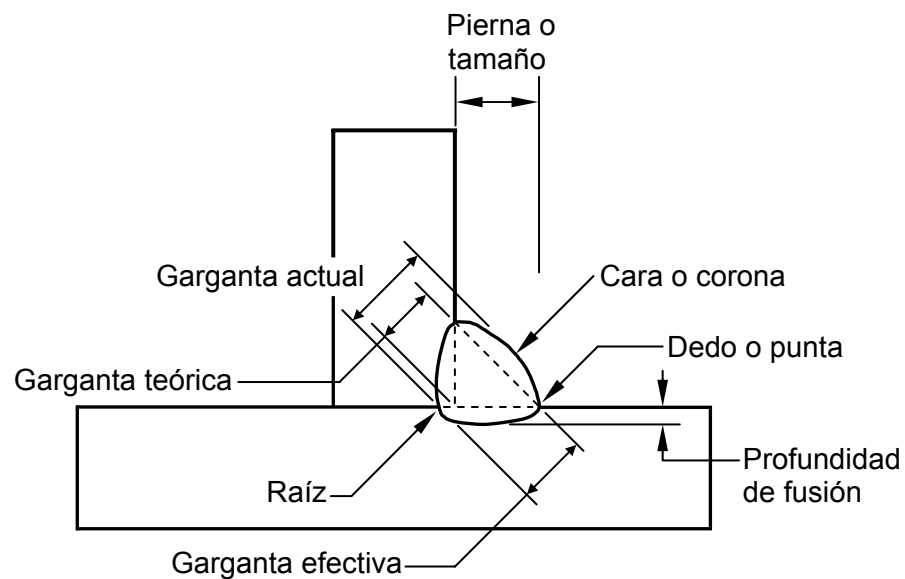


**Figura No. 66: Juntas en “T”**

La junta en “T” con soldaduras de filete no es fácil de inspeccionar. La razón es que existe una zona en la interfase original de la junta que no es alcanzada por el material de la soldadura, por lo que este espacio corresponde prácticamente a una penetración incompleta.

Modelos más refinados de la junta en “T” son mostrados en la figura No. 66b y 66c, los cuales corresponden a juntas con preparación y son algunas opciones disponibles para el diseño, aunque pueden ser usadas otras formas de preparación, como las ilustradas anteriormente. Se puede esperar que juntas como estas soporten cargas dinámicas en servicio, como en el caso de puentes.

En la figura No. 67 siguiente, pueden mostrarse los componentes de una soldadura de filete.

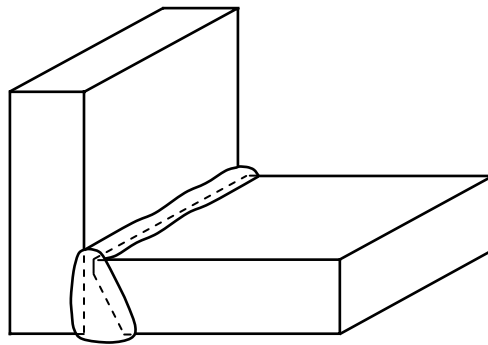


**Figura No. 67: Soldadura de filete**

A continuación se definen los términos utilizados para identificar los componentes de una soldadura de filete:

- Pierna o tamaño:** La distancia desde la cara de fusión al dedo o punta de la soldadura.
- Cara o corona:** La superficie expuesta.
- Garganta actual:** La distancia más corta entre la raíz de la soldadura a la cara o corona.
- Garganta efectiva:** La distancia mínima, menos cualquier convexidad, entre la raíz de la soldadura a la cara o corona.
- Garganta teórica:** La distancia perpendicular desde el inicio de la junta a la hipotenusa del triángulo rectángulo más grande que pueda ser contenido en la sección transversal de la soldadura.
- Dedo o punta:** La unión entre la cara de la soldadura y el metal base.
- Profundidad de fusión:** La distancia a la que penetra la soldadura dentro del metal base.
- Raíz:** El punto más profundo en la penetración.

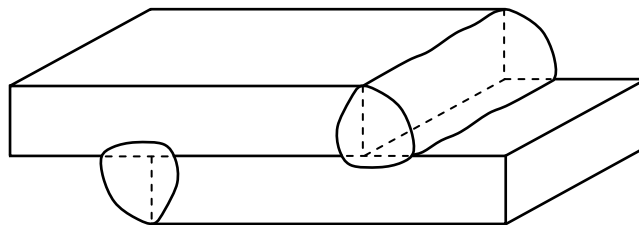
Otra junta fundamental es la junta en esquina, la cual puede ser unida por varios tipos de soldadura. En la figura No. 68 es mostrada una junta en esquina soldada con penetración completa, con una ranura preparada con bisel sencillo.



**Figura No. 68: Junta en esquina**

Para servicio estático, por ejemplo en edificios que no estén sujetos a cargas variables, puede ser usado un filete sencillo en la esquina interna.

Una cuarta junta compleja es la de solape. Esta junta normalmente es ensamblada con un par de soldaduras de filete como muestra la figura No. 69, es una junta natural de filete. No existen puntos para cortar como preparación para cualquier forma de ranura.



**Figura No. 69: Junta de solape con doble soldadura de filete**

## 6. Posiciones para soldar

Existen seis posiciones reconocidas para soldar. Discontinuidades asociadas con la gravedad, la fluidez y la habilidad del soldador pueden ocurrir en al menos cuatro de estas posiciones: plana 1, horizontal 2, vertical 3 y sobre cabeza 4. Las cuatro son posiciones básicas y aplican para soldaduras de ranura y filete. La letra “G”, que se coloca después del número de posición indica que corresponde a ranura (“groove” en Inglés). En soldaduras de filete la designación de la posición es del 1F al 4F.

## 7. Inspección de juntas soldadas a tope

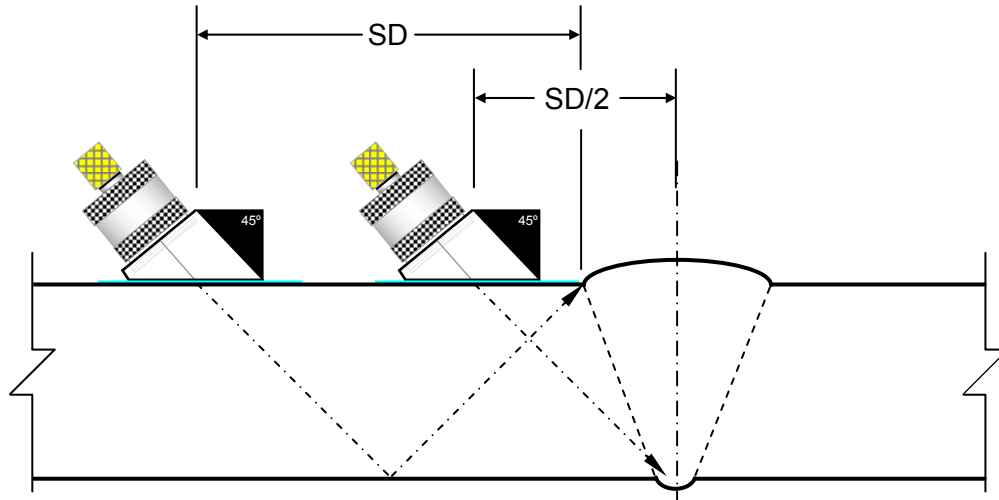
Obviamente, las inspecciones de juntas soldadas con palpador de haz recto son raramente posibles. Aún en la inspección de juntas en las que se ha maquinado el refuerzo de cara es de poca utilidad, particularmente para la detección de grietas o discontinuidades cerca de la superficie. Puede aplicarse, por ejemplo, en juntas de bridas a tubería o conexiones, con el palpador colocado en el borde de la pieza, pero, en espesores delgados de pared, puede esperarse interferencia producida por las paredes, debido a la generación de ondas transversales y la reducción de la sensibilidad para discontinuidades cercanas a una de las dos superficies.

Para juntas soldadas de placas, piezas planas o tubería, se considera utilizar principalmente ondas de corte, siendo usadas las reflexiones entre las dos superficies de la placa. En algunos casos, un haz ancho podría cubrir una junta en una pasada del palpador; sin embargo, en otros casos es necesario desplazar el palpador en ángulos rectos a la junta para que sea cubierta sucesivamente la sección transversal completa.

Supongamos que se va a inspeccionar un cordón de soldadura mediante ultrasonido, por medio de un palpador angular. De la figura No. 70, para poder barrer toda la sección transversal del cordón, será necesario 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.

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  $SD/2$ . Ahora bien, se explicó anteriormente que cada palpador cuenta con el factor  $2tg \theta$  para cada ángulo de entrada, de forma que con solo conocer el espesor de la placa se pueden determinar las mencionadas distancias. La distancia de salto y de medio salto, varía considerablemente en función de los ángulos de entrada.



**Figura No. 70: Inspección de un cordón de soldadura con palpador de haz angular**

En un principio, parece lógico pensar que para evitar desplazamientos considerables del palpador sobre la superficie de la placa y, por consiguiente, facilitar la tarea del técnico, deberían elegirse siempre ángulos de entrada pequeños, ya que entonces los desplazamientos del palpador serían menores; Sin embargo, para realizar la inspección de la soldadura no es factible emplear siempre palpadores con ángulo pequeño. Ocurre que, como el punto de salida del haz se encuentra aproximadamente en el centro del palpador, muchas veces resulta imposible realizar la inspección cuando la distancia de medio salto es muy pequeña, pues el palpador tropieza con el refuerzo del cordón.

Por el contrario, si para una placa de un espesor grueso se elige un ángulo de entrada grande, supongamos de 80 grados, las distancias de salto y de medio salto serían considerables, así que, habría que desplazar el palpador a mayores distancias hacia adelante y hacia atrás para poder barrer toda la sección transversal del cordón, lo que resultaría bastante molesto para el técnico. Además, ocurre que el ultrasonido ha de recorrer trayectos muy grandes hasta llegar al cordón, lo cual produce atenuación, consiguientemente considerable, debido a lo cual, para poder detectar posibles discontinuidades en el cordón, deberíamos amplificar al máximo o bien aumentar la potencia de emisión, lo que trae consigo una pérdida en el poder de resolución.

En este estado de cosas, parece lógico pensar que se deben emplear palpadores con ángulo de entrada elevado para espesores medios y finos, y ángulos de entrada bajos para soldaduras de grandes espesores.

Algunos documentos de inspección ultrasónica detallan los ángulos que deben ser usados, dependiendo básicamente del espesor del material inspeccionado y del tipo de junta, por ejemplo el Código AWS D1.1 y la Práctica Estándar de ASTM No. E 164 del Volumen 03.03. La siguiente tabla recomienda el ángulo de uso de cada palpador angular en función del espesor de la placa:

Espesor (mm)	Ángulo Recomendado	Factor $2tg \theta$
6 – 20	80°	11
20 – 40	70°	5.5
40 – 60	60°	3.5
Mayor a 60	45°	2

### Zona de barrido

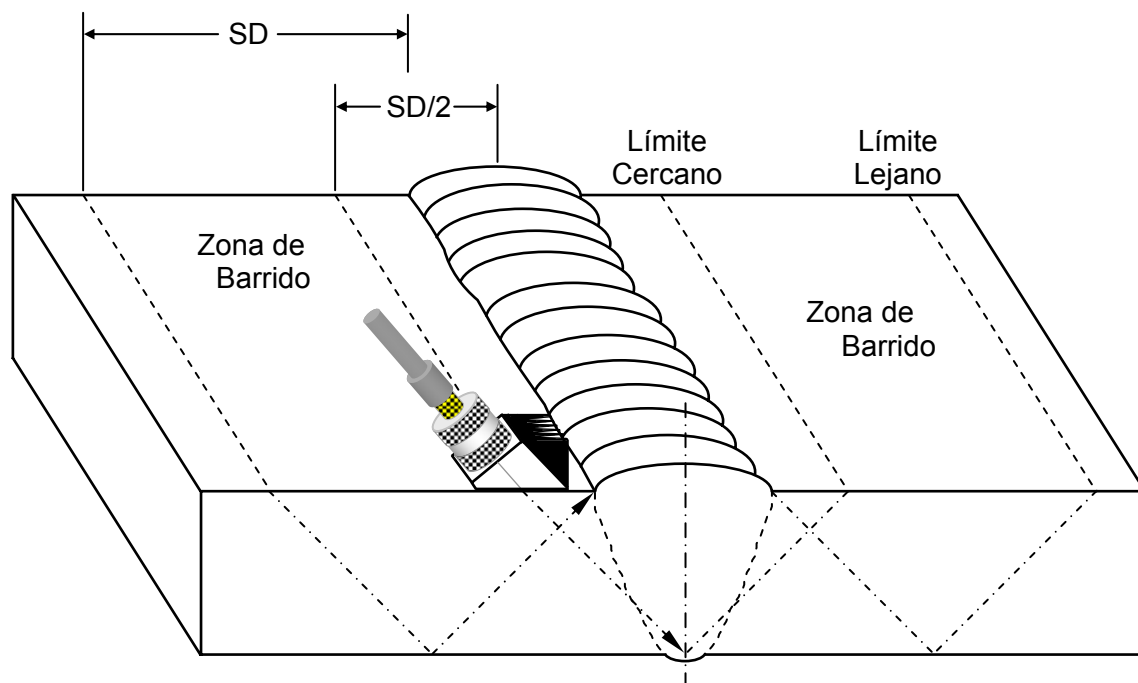
Al realizar la inspección de una soldadura por ultrasonido, y con el fin de efectuar un barrido eficiente y confiable, es recomendable establecer un área sobre la superficie del metal base, a todo lo largo de la soldadura, desde la línea central de la soldadura y hasta la distancia de medio salto y de un salto. A esta región se le denomina “Zona de Barrido”, como ilustra la figura No. 71. 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”.

Puede esperarse que la inspección esté sujeta a disturbios provocados por la presencia de laminaciones e inclusiones en el metal base, las cuales podrían evitar que el haz se propague como se desea y que, además, resulte en indicaciones que puedan parecer y confundirse con discontinuidades en la junta. Por esta razón, antes de iniciar la inspección de la soldadura, debería efectuarse una verificación de la calidad del material base dentro de la zona de barrido, con haz recto.

También, se debe tener muy en cuenta la forma del cordón ya que puede afectar la inspección de la soldadura, esto por la presencia de indicaciones producidas por reflexiones desde extremos proyectados agudos, tales como el refuerzo excesivo de raíz o de cara, particularmente si el ángulo del haz es pequeño. Un disturbio similar puede ser causado por el chisporroteo de soldadura.

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 No. 71: Zona de barrido**

### Patrones de barrido

Hemos dicho que para realizar la inspección de un cordón de soldadura, es necesario desplazar el palpador angular dentro de la zona de barrido. No obstante, cabe preguntarse ¿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:

#### a. Movimiento transversal

Para cubrir totalmente la sección transversal de la soldadura, incluyendo la zona afectada por el calor, 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 No. 72.



b. Movimiento longitudinal

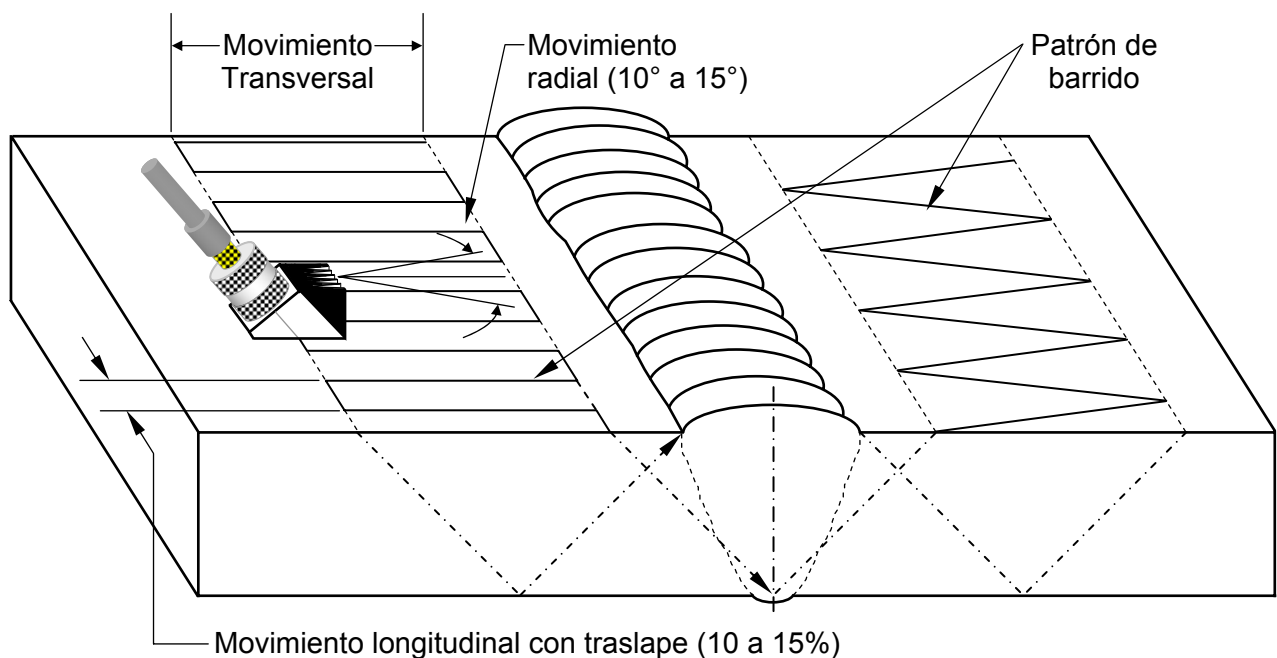
Es necesario realizar un movimiento lateral, paralelo al eje de la soldadura, a todo lo largo de la junta. El avance del palpador no debe exceder del 75% de su ancho activo por cada barrido o, de acuerdo con algunos requisitos específicos de Códigos o normas, el traslape mínimo entre cada desplazamiento del palpador debe ser del 10% al 15% de su dimensión transversal, ver la figura No. 72.

c. 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  $10^\circ$  y  $15^\circ$  a cada lado de la línea central del transductor.

Se debe considerar que algunas discontinuidades pueden tener una orientación tal que sean buenos reflectores sólo desde un lado del cordón, así que, podría ser necesario realizar la inspección desde ambos lados del cordón siempre que sea posible.

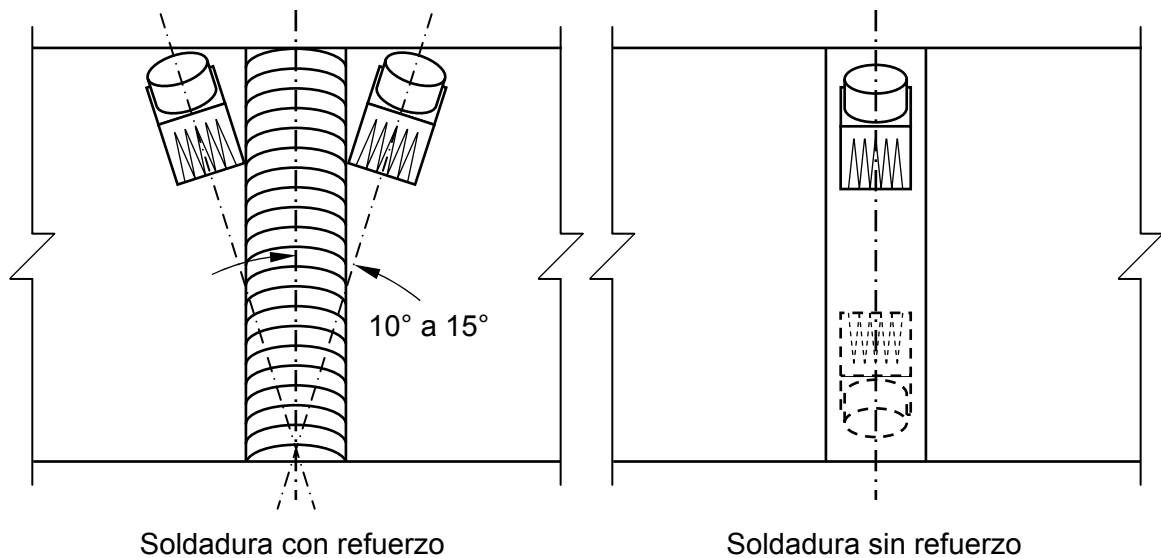
Siempre se debe tener presente que todos estos movimientos deben ser adecuadamente combinados, para tener la mayor seguridad en la detección de discontinuidades de cualquier orientación. Al combinar estos movimientos, el patrón de barrido puede ser en zig-zag con cambios agudos de dirección o con cambios cuadrados, como muestra la figura No. 72.



**Figura No. 72: Patrones de barrido para detectar discontinuidades longitudinales**

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

- a. Soldaduras en las que 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  $15^\circ$  con respecto al eje, ver la figura No. 73. 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.
- b. Soldaduras a tope de penetración completa en las que el refuerzo ha sido esmerilado a ras. En el segundo caso, figura No. 73, 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  $10^\circ$  a  $15^\circ$  a cada lado de la línea central del transductor.



**Figura No. 73: Patrones de barrido para detectar discontinuidades transversales**

## 8. Soldaduras de filete

No todas las soldaduras de filete se prestan, por ellas mismas, para ser inspeccionadas por ultrasonido. Sin embargo, también en este caso como en las soldaduras a tope, se aplica la regla de que una junta designada para altos esfuerzos mecánicos, donde por consiguiente es muy importante una verificación de la calidad, puede en general ser inspeccionada.

Una soldadura de doble filete con penetración incompleta, muestra un mal diseño mecánico, es incapaz de absorber altos esfuerzos porque la abertura produce los efectos peligrosos de una muesca, también, es mucho más difícil inspeccionar que una junta soldada de penetración completa.

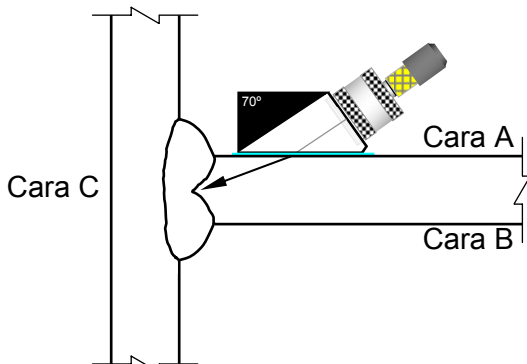
En la inspección de juntas en “T” con penetración completa las discontinuidades de fusión y zonas con penetración incompleta en el centro, las cuales son de las más críticas, son favorablemente localizadas.

## 9. Procedimientos de inspección para soldaduras en “T” y “esquina”

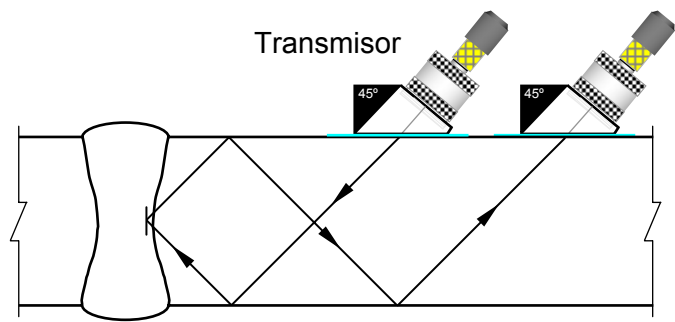
Se incluyen a continuación los procedimientos de inspección recomendados para configuraciones comunes de soldadura, considerados por ASTM en el documento E 164, Práctica Estándar para el Examen Ultrasónico de Soldaduras por Contacto.

Cuando más de una técnica es dada, para una geometría de soldadura en particular o espesor, o ambos, la primera técnica es considerada como primaria, mientras las técnicas adicionales son suplementarias y pueden agregarse a los procedimientos de inspección.

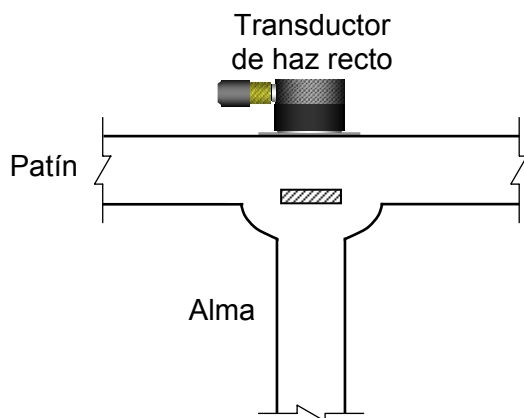
Tipo de Soldadura	Espesor de la garganta de la soldadura				
	Menos de 1/2” (12 mm)	1/2 a 1 1/2 (12 a 38 mm)	1 1/2 a 2 1/2 (38 a 63 mm)	2 1/2 a 5 (63 a 127 mm)	5 a 8 (127 a 200 mm)
	Primario	Primario	Primario	Primario	Primario
<b>Tee</b>					
Cara A					
Ángulo recomendado	70°	70° o 60°	70°, 60° o 45°	60° o 45°	45°
Técnica sugerida	1	1	1	1, 2	1, 2
Cara B					
Ángulo recomendado	70°	70° o 60°	70°, 60° o 45°	60° o 45°	45°
Técnica sugerida	1	1	1	1, 2	1, 2
Cara C					
Ángulo recomendado	recto, 70°	recto (70° o 45°)	recto, 45°	recto, 45°	recto, 45°
Técnica sugerida	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4
<b>Esquina</b>					
Cara A					
Ángulo recomendado	70°	70° o 60°	70°, 60° o 45°	60° o 45°	45°
Técnica sugerida	5	5	5	5	5
Cara B					
Ángulo recomendado	70°	70° o 60°	70°, 60° o 45°	60° o 45°	45°
Técnica sugerida	5	5	5	5	5
Cara C					
Ángulo recomendado	recto	recto	recto	recto	recto
Técnica sugerida	6	6	6	6	6
<b>Esquina con doble filete</b>					
Cara A					
Ángulo recomendado	45°	45°	45°	45°	45°
Técnica sugerida	7, 8	7, 8	7, 8	7, 8	7, 8
Cara B					
Ángulo recomendado	45°	45°	45°	45°	45°
Técnica sugerida	7, 8	7, 8	7, 8	7, 8	7, 8



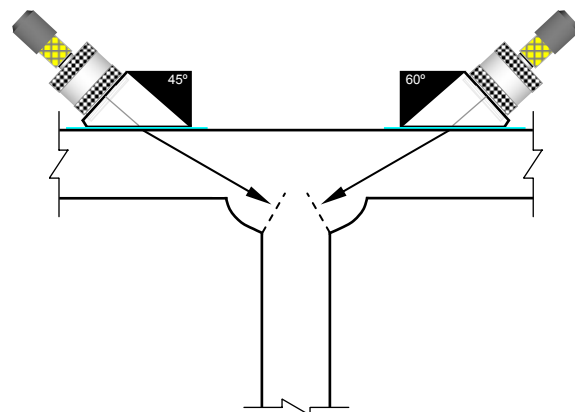
Técnica 1: Para el volumen de la soldadura



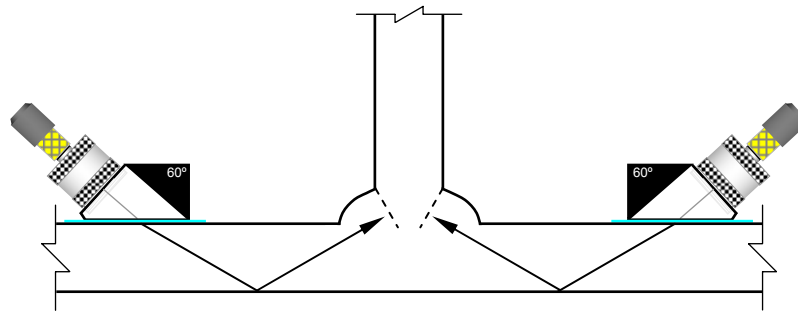
Técnica 2: Dos palpadores para soldaduras de espesor grueso



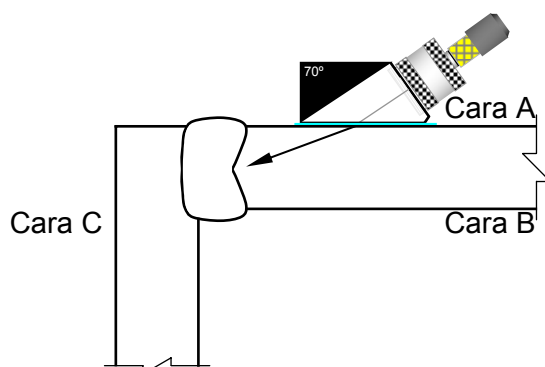
Técnica 3: Inspección de la zona de fusión



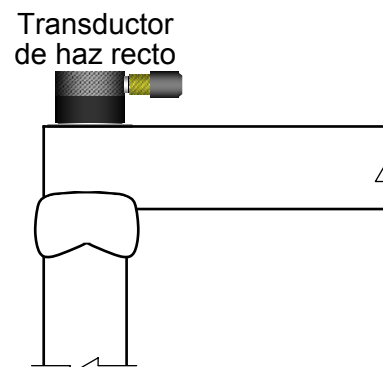
Técnica 4: Barrido para discontinuidades



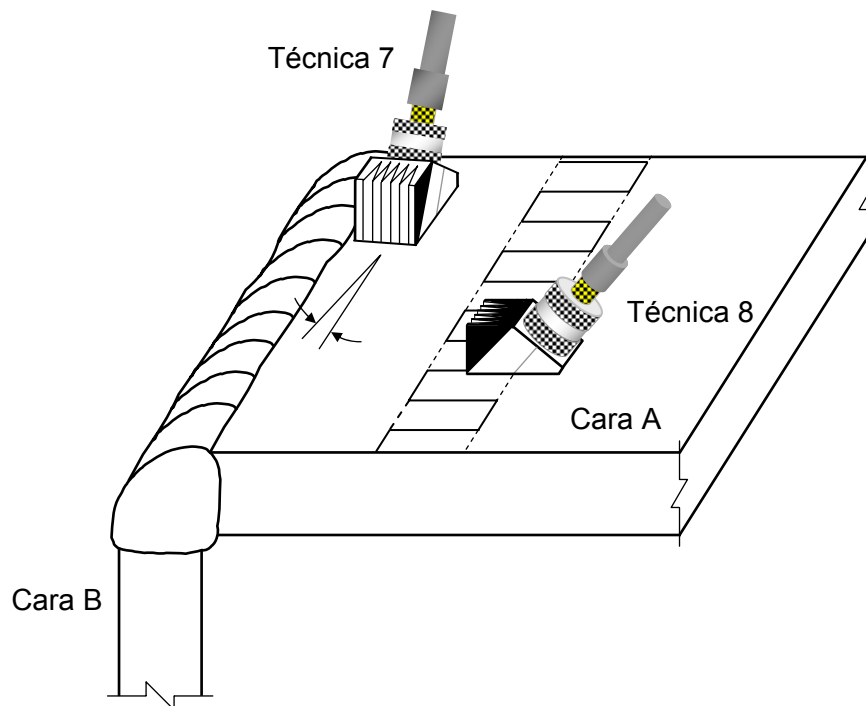
Barrido alternativo de la Técnica 4 para discontinuidades



Técnica 5: Soldaduras en esquina con doble V



Técnica 6: Inspección de la zona de fusión



Técnicas 7 y 8: Inspección de soldaduras en esquina, de doble filete y penetración completa

## 10. Calibración del instrumento ultrasónico

Antes de llevar a cabo cualquier tipo de inspección, siempre es necesario realizar el ajuste del instrumento ultrasónico. En la inspección de soldaduras, que normalmente se realiza con palpador de haz angular, la calibración también es siempre necesaria. Recordemos que, para calibrar un instrumento ultrasónico, se necesitan al menos dos ecos de referencia.

En general son usados dos métodos para la calibración con palpador de haz angular:

### a. Método por coordenadas polares

El método por coordenadas polares requiere la medición de la línea central del haz en la interfase palpador / pieza, y del ángulo de refracción del haz en un bloque de prueba. El barrido del instrumento es calibrado a lo largo de la línea central del haz. La información de la inspección es gráficamente convertida en coordenadas de posición y profundidad para la localización del reflector.

Para la calibración en distancia se recurre al radio y la superficie reflectora de un arco, con una longitud de al menos  $90^\circ$ , ya que la respuesta es igual para todos los ángulos. Para la calibración en sensibilidad-amplitud se utilizan barrenos laterales paralelos a las superficies y perpendiculares al recorrido del ultrasonido y, en ciertos casos, ranuras superficiales. Bajo ciertas circunstancias, la calibración de sensibilidad-amplitud debe ser corregida debido a variaciones de acoplamiento y efectos de la distancia y la amplitud.

Para la calibración con el método por coordenadas polares se puede recurrir al uso de los bloques de prueba del Tipo Instituto Internacional de Soldadura (IIW) y otros tipos de bloques de calibración diseñados para la Inspección Ultrasónica.

El propósito de utilizar estos bloques es facilitar el ajuste y la calibración del equipo ultrasónico detector de fallas. Los bloques pueden ser usados para:

- La calibración del barrido
- El ajuste de la energía del pulso y la amplificación
- La confirmación de la estabilidad y la operación adecuada del instrumento, y
- La determinación de las características de los transductores, como su sensibilidad y, en el caso de los palpadores, la localización del punto índice de salida del haz, la longitud del recorrido en la zapata y el ángulo de refracción.

Los bloques del Tipo IIW son primeramente intentados para caracterizar y calibrar sistemas de haz angular, y también cuentan con características para usos tales como la verificación de la resolución y sensibilidad con haz recto.

Otros bloques, además de aquellos derivados del Bloque de Calibración IIW 1, pueden ser utilizados para la calibración en distancia y sensibilidad. Estos bloques son: el bloque para Calibración en Distancia Tipo DC, el bloque para Calibración en Sensibilidad Tipo SC, el bloque para Calibración en Distancia y Sensibilidad Tipo DSC y el bloque Miniatura para Calibración de Haz Angular (versión de EU para el Bloque de Calibración IIW 2, pero con variaciones significativas), MAB por su nombre en Inglés.

#### b. Método por coordenadas rectangulares

El método por coordenadas rectangulares requiere la medición de la posición del reflector desde el frente del transductor, el barrido del instrumento es calibrado para la profundidad del reflector conforme es movido a diferentes posiciones en el haz, proporcionando una curva de distancia amplitud. La información de la inspección se lee directamente para la posición y profundidad hasta el reflector.

Este método cubre:

- La calibración del rango de barrido, sobre el rango de inspección
- La calibración en sensibilidad
- La calibración de distancia-amplitud (curva DAC)
- La calibración de la posición de la profundidad con respecto a la parte frontal del palpador y la superficie de inspección
- Comparación de la resolución de diferentes sistemas de inspección

- Corrección de la calibración para reflectores planos perpendiculares a la superficie de inspección o cercanos a la superficie
- La divergencia del haz

Para la calibración son usados juegos de barrenos laterales, paralelos a la superficie y perpendiculares al recorrido del ultrasonido, y ranuras superficiales. Los reflectores pueden ser colocados en un bloque fabricado con el exceso de la soldadura o de un material similar y del mismo espesor. Los diámetros de los barrenos cambian con el espesor de la soldadura. Los barrenos son colocados a 1/4, 1/2 y 3/4 del espesor del bloque y las ranuras sobre dos superficies opuestas, las de mayores dimensiones.

Importante:

En general, las esquinas cuadradas de los bloques de calibración no deberían ser utilizadas para realizar la calibración en distancia ni, mucho menos, para la calibración en sensibilidad.

## 11. Posibilidad de detectar discontinuidades internas en soldadura

Eligiendo la técnica de inspección por ultrasonido más adecuada, en cada caso, puede afirmarse que casi la totalidad de las discontinuidades internas inherentes a las soldaduras pueden ser detectadas.

A continuación, veamos el grado de dificultad involucrado en la detección de cada una de las discontinuidades citadas durante la inspección de soldaduras por ultrasonido.

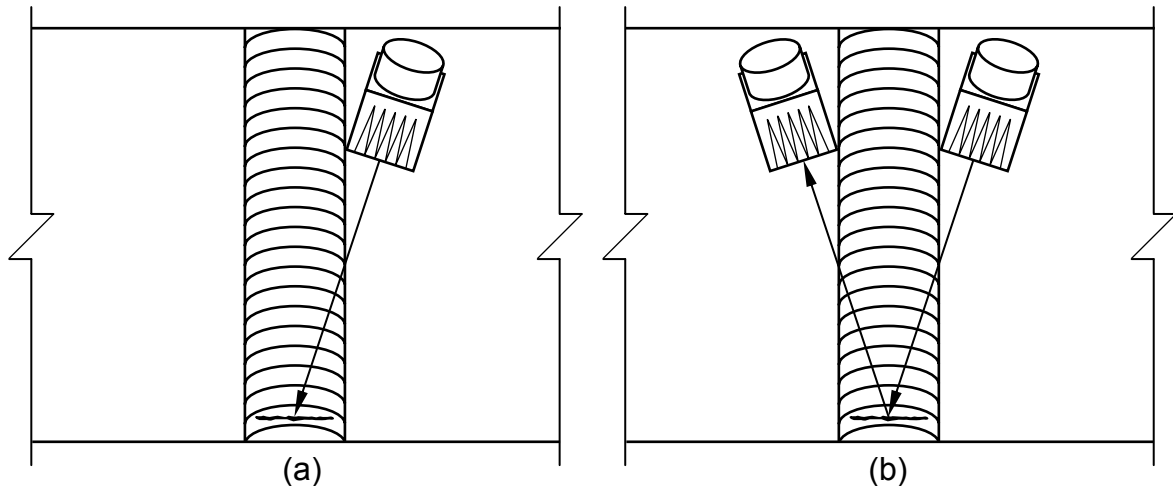
- Grietas

Las grietas longitudinales, que suelen producirse en las uniones soldadas, son relativamente fáciles de detectar mediante ultrasonido. Las grietas transversales requieren un mayor cuidado para su detección, siendo necesario buscarles con el palpador situado casi paralelo al cordón, como se ilustra en la figura No. 74a. Sin embargo, en ocasiones no es posible detectarlas de esta forma y entonces se debe recurrir a la inspección mediante dos palpadores conectados en paralelo, figura No. 74b, funcionando ambos como emisor y receptor.

- Faltas de penetración

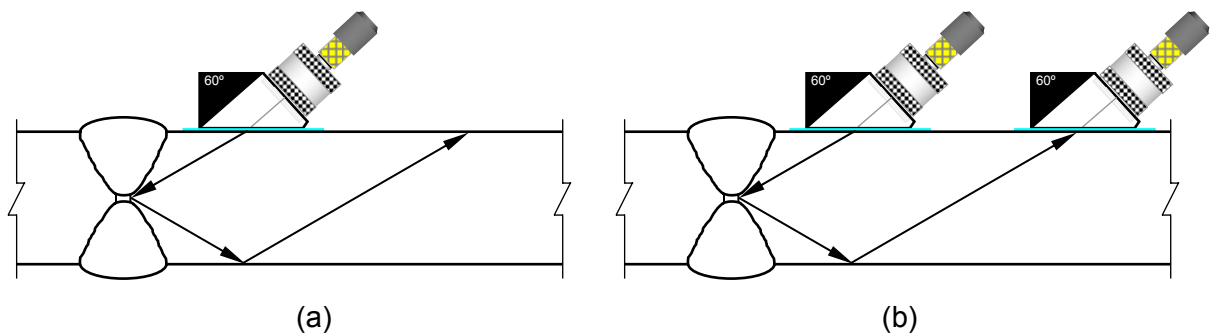
Cuando la preparación de las placas soldadas es en "V" (caso muy frecuente), de existir la falta de penetración, se presenta en la raíz. Pero, si el cordón lleva preparación en "X" o "doble V", la falta de penetración suele producirse en el centro del mismo, y si el ángulo de entrada del palpador es más bien bajo ( $60^\circ$  o  $45^\circ$ ), debido a que las placas son gruesas, puede ocurrir que, al ser la discontinuidad vertical y muy plana, no pueda ser detectada con un sólo palpador, figura No. 75a.

Se recurre, entonces, al empleo de dos palpadores, conectándose en serie, el primero envía y el segundo recibe, pudiéndose entonces detectar la discontinuidad, figura No. 75b.



**Figura No. 74: Detección de grietas transversales por ultrasonido**

En algunos casos, los ecos procedentes de falta de penetración, existente en la raíz de los cordones aplicados en placas de espesores más bien pequeños, pueden confundirse con los procedentes de descolgamientos, este caso se presenta particularmente en uniones a tope de tubos. No obstante, ninguno de los defectos suele admitirse y, por lo tanto, frecuentemente, no se requiere la identificación del tipo de defecto.



**Figura No. 75: Detección de faltas de penetración por ultrasonido**

- **Falta de fusión**  
La falta de fusión suele aparecer frecuentemente en los flancos de los chaflanes de las placas, en ocasiones se produce entre pasadas, por ejemplo en la unión de tubos realizada por el procedimiento CO<sub>2</sub>, y su forma y orientación ocasiona que sea necesario un mayor cuidado en su localización mediante ultrasonido.



- Inclusión de escoria

Este tipo de discontinuidad es muy frecuente en la soldadura eléctrica por arco manual, aunque puede darse en otros casos. Se puede presentar en cualquier parte del cordón. En ocasiones se encuentra en la raíz y puede ir asociada con falta de penetración. Su detección por ultrasonido normalmente no presenta problemas.

- Inclusión gaseosa

La más frecuente de estas inclusiones es la denominada como “poro” que, debido a que es un reflector esférico muy pequeño, requiere una inspección cuidadosa. Cuando está agrupado la detección es más sencilla, así como cuando son vermiculares o bien cuando son cavidades grandes.

En general, la detección por ultrasonido de todos estos tipos de discontinuidades está haciéndose más común en prácticamente todos los campos de la industria.

## 12. 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, esto es por su eco. Normalmente, la evaluación de una discontinuidad se basa precisamente en esa reflexión producida.

Las discontinuidades naturales pueden ser muy irregulares y de forma compleja, lo cual, normalmente no permite realizar una evaluación simple.

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. Aunque en general, el equipo, la sensibilidad y las técnicas utilizadas en la inspección de soldaduras requieren que se mantenga la atención de un técnico experimentado, no sólo al llevar a cabo la evaluación de una discontinuidad.

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

- La exactitud 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 aplique a la soldadura y 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 y, con esto, determinar su localización aproximada, gracias a que puede calcularse su profundidad; o, con el método de calibración de la posición, se puede conocer directamente la profundidad a la que se encuentra la discontinuidad.
- 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. Para discontinuidades planos orientadas adversamente, la amplitud puede no indicar la severidad de la discontinuidad.

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.

Este método tiene ciertas dificultades inherentes prácticas pero, a pesar de ellas, ha sido y sigue siendo aplicado, muy ampliamente, en inspecciones de una gran cantidad de materiales, especialmente en soldaduras.

Las dificultades involucradas son:

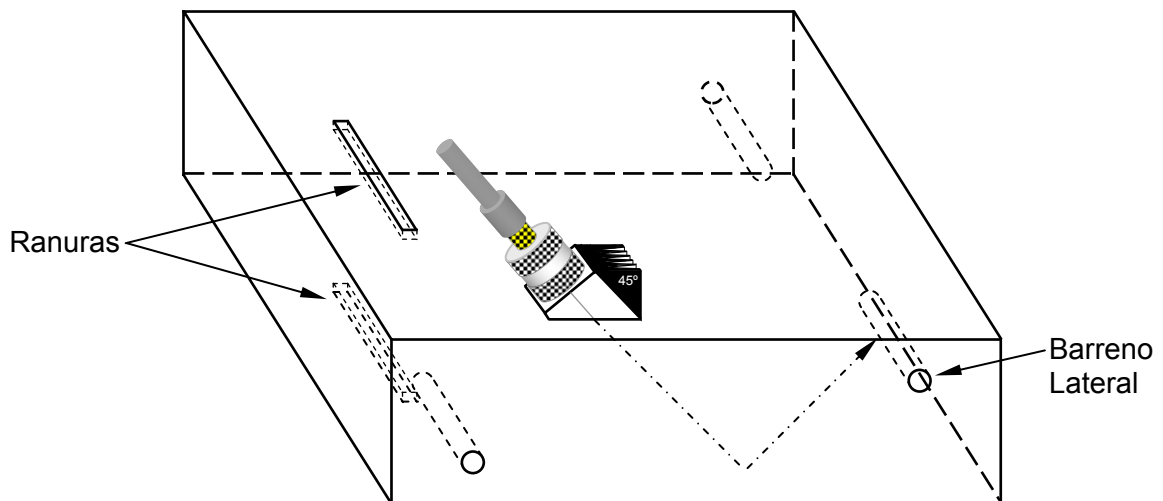
1. La textura superficial de la mayoría de discontinuidades difiere grandemente al compararla con la textura de los reflectores de referencia maquinados.
2. La relación angular entre la discontinuidad y el eje del haz ultrasónico es rara vez igual a la de los reflectores de referencia.
3. La discontinuidad puede no tener una superficie mayor o la superficie puede no ser accesible al haz ultrasónico.
4. A diferencia de los reflectores de referencia, las discontinuidades rara vez consisten de una superficie respaldada con aire. Su superficie puede parecerse a un grupo de pequeñas superficies orientadas al azar, las cuales actúan como reflectores dispersantes.
5. Los bordes de una discontinuidad pueden ser tales que su forma y tamaño se pueden determinar solo mediante una técnica especial, entonces, su comparación con un reflector de referencia es, únicamente, de "referencia".
6. La amplitud de las indicaciones no está relacionada con el tamaño de la discontinuidad, excepto para casos especiales de reflectores como barrenos (discos) de fondo plano, detectados con ondas longitudinales en la inspección con haz recto. De hecho, la mayoría de especificaciones para instrumentos ultrasónicos que operan por pulso eco requieren que la amplitud de la respuesta sea lineal con respecto al área de barrenos de fondo plano. La búsqueda de discontinuidades reales en soldaduras ha demostrado que la amplitud no está directamente relacionada con el tamaño de la discontinuidad, para discontinuidades de fabricación.

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.

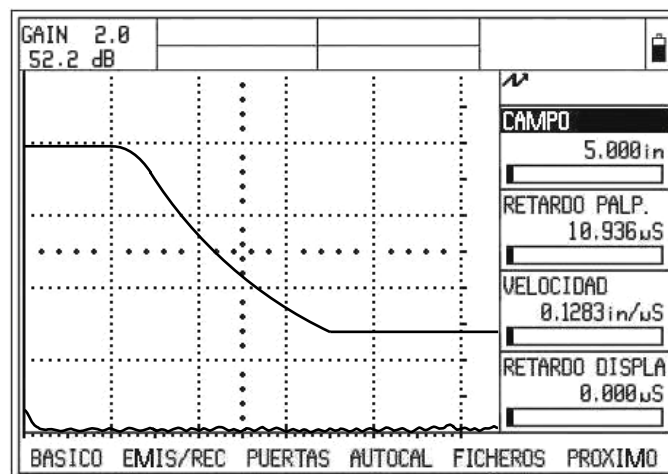
El Código AWS D1.1, para Estructuras Soldadas de Acero, requiere que las indicaciones o ecos de barrenos laterales y / o ranuras, sean usados para establecer niveles de referencia, con los cuales se determina la severidad de las discontinuidades.

El Código ASME para Recipientes a Presión y Calderas requiere que las indicaciones o ecos de barrenos laterales y ranuras, que cambian de dimensiones con el cambio de espesor de la soldadura, figura No. 76, sean usados para construir Curvas de Corrección Distancia Amplitud (DAC por su nombre en Inglés), ver la figura No. 77. De esta forma, las indicaciones de las discontinuidades son evaluadas y reportadas en términos del porcentaje de amplitud, con respecto a la Curva DAC.

Este método es considerado como confiable para asegurar la detección de todas las discontinuidades importantes, siempre que el nivel de las indicaciones que deben ser registradas sea seleccionado a un porcentaje lo bastante bajo con respecto a la Curva DAC.



**Figura No. 76: Uso de barrenos laterales y ranuras del bloque básico, de acuerdo con el Código ASME, Sección V**



**Figura No. 77: Curva DAC**

Al aplicar este método, normalmente es necesario 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. El documento E 164 de ASTM considera que con este método se puede determinar la longitud de un reflector siempre y cuando tenga al menos 1/4 de pulgada (6.4 mm) de longitud.

Mediante esta técnica también puede determinarse la altura de la discontinuidad. En este caso, el palpador se desplaza en dirección perpendicular a la discontinuidad, siguiendo el procedimiento anterior, aunque ahora se utilizan los datos de la profundidad. El documento E 164 de ASTM describe la forma de efectuar esta determinación. También, el Código AWS para Estructuras Soldadas de Acero en el Anexo K (Examen Ultrasonico de Soldaduras por medio de Técnicas Alternativas) describe un método para llevar a cabo esta medición.

- 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 No. 79. También conocido como “Método alrededor”, ya que se dibuja con buena exactitud el “contorno de una discontinuidad grande”, tal como una laminación, figura No. 78.

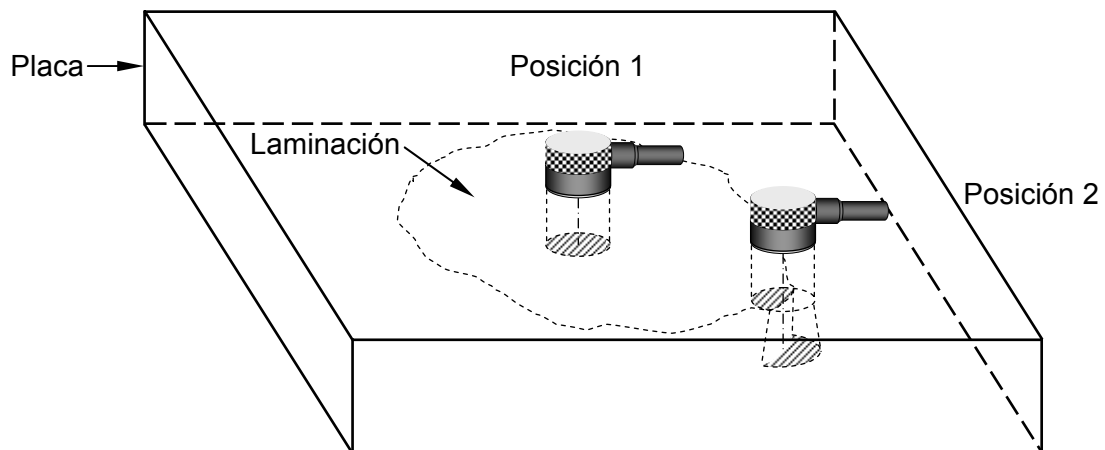


Figura No. 78: Método por caída de amplitud, para discontinuidades grandes

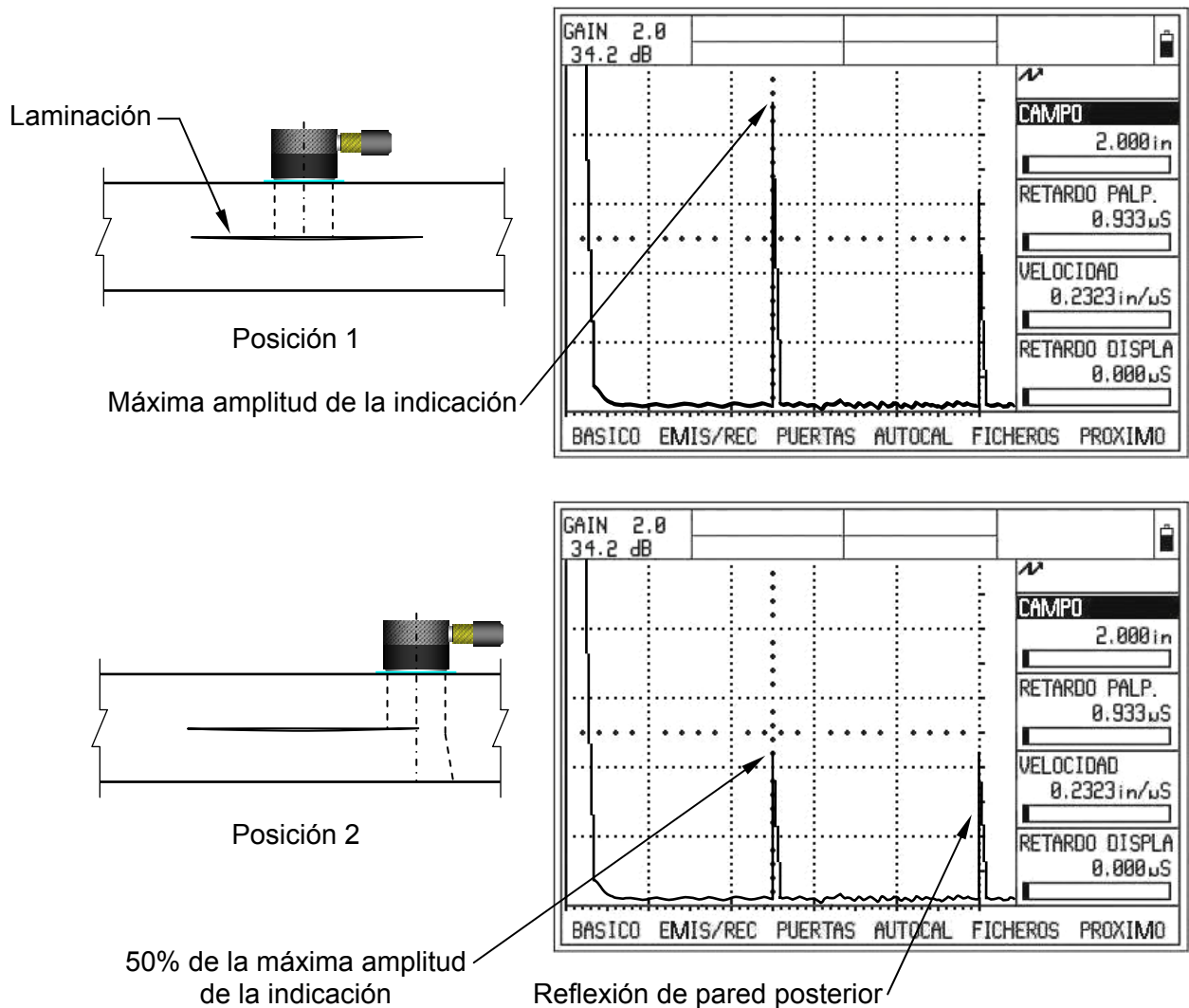


Figura No. 79: Técnica de caída de 6 dB

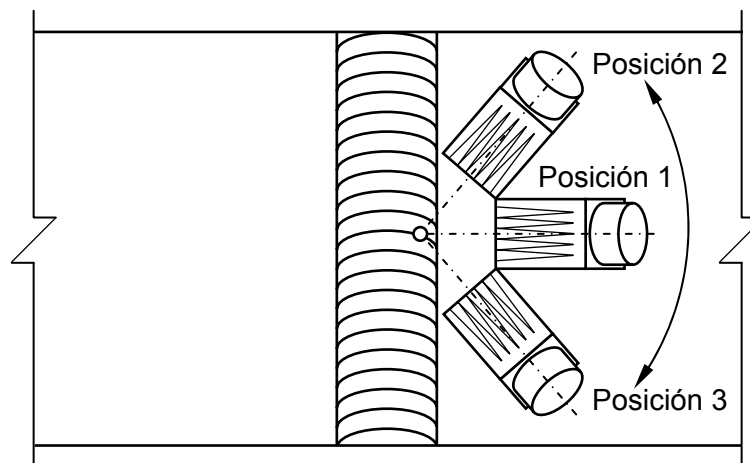
- c. Tipo: Además de evaluar la localización y el tamaño de reflectores, hay varios otros atributos que pueden ser usados para identificar el tipo de reflector. Aunque en este caso, puede hacerse énfasis en que esto depende de la habilidad del operador, a tal grado, que no se recomienda la aceptación de soldaduras basándose únicamente en este tipo de información.

La naturaleza de una discontinuidad presente en una soldadura puede determinarse, con cierta exactitud, basándose en la experiencia del técnico, al observar el comportamiento de las indicaciones sobre la pantalla del instrumento, cuando el transductor es manipulado y de acuerdo a como es interceptado el haz ultrasónico por la discontinuidad.

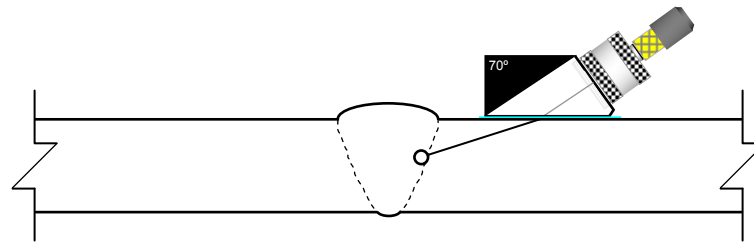
Existe una fuerte distinción entre criterios de aceptación radiográfica de porosidad, inclusiones, discontinuidades de fusión y grietas, con respecto a los criterios de aceptación ultrasónica. Afortunadamente, para trabajos de inspección ultrasónica de materiales en servicio, las grietas son más fácilmente detectadas e identificadas que la porosidad e inclusiones. Además, las grietas son discontinuidades que inician en condiciones de servicio y la porosidad, inclusiones, fusión incompleta, etc., se producen durante la fabricación.

A continuación, es proporcionada una serie de guías con el objeto de ayudar en la identificación de diferentes tipos de discontinuidades en soldadura.

- Identificación de porosidad  
Un poro aislado puede ser rápidamente y fácilmente identificado, la figura No. 80 muestra un barrido orbital, el cual, ayuda a identificar la presencia de un reflector simétrico.

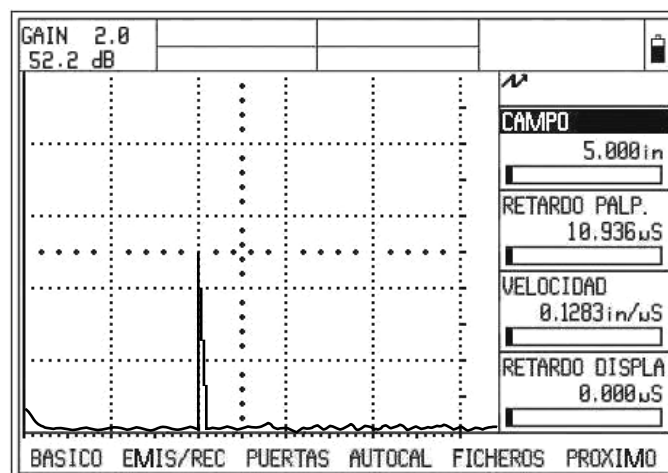


**Figura No. 80: Barrido orbital para la identificación de porosidad**



**Figura No. 80: Identificación de porosidad (continuación)**

Se produce un eco angosto y bien definido, figura No. 81, que puede ser detectado desde cualquier dirección. La indicación aparece a la misma distancia recorrida por el haz ultrasónico y muestra casi la misma amplitud sin importar la dirección.



**Figura No. 81: Indicación sobre la pantalla del instrumento para todas las posiciones**

La identificación de un grupo o cadena de poros es totalmente diferente, las indicaciones individuales de los poros pueden ser integradas en una sola indicación en la pantalla y son difíciles de distinguir de indicaciones de inclusiones y grietas.

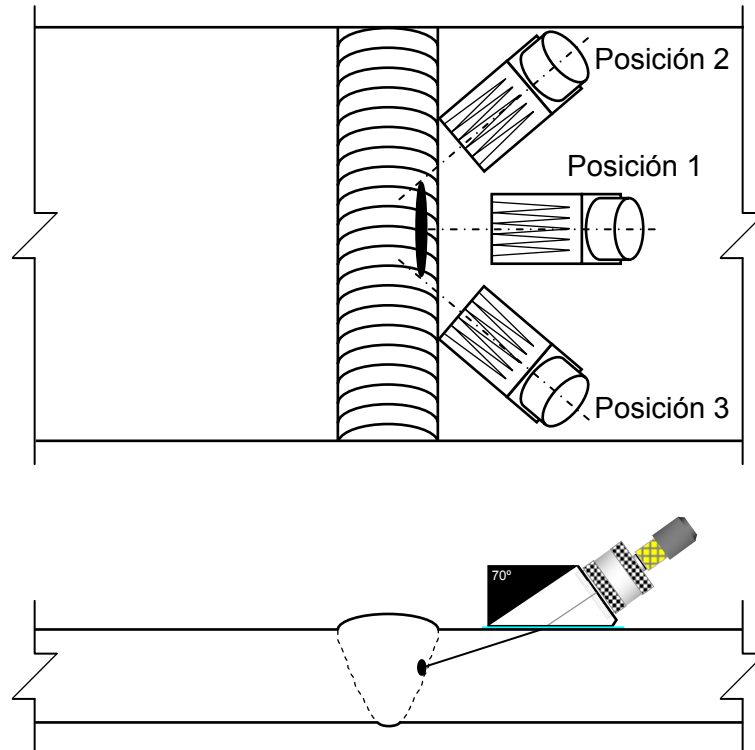
- **Identificación de escoria**

La inclusión puede ser identificada observando el comportamiento de la indicación, ya que es posible ver el extremo de la misma, como se muestra en la figura No. 82.

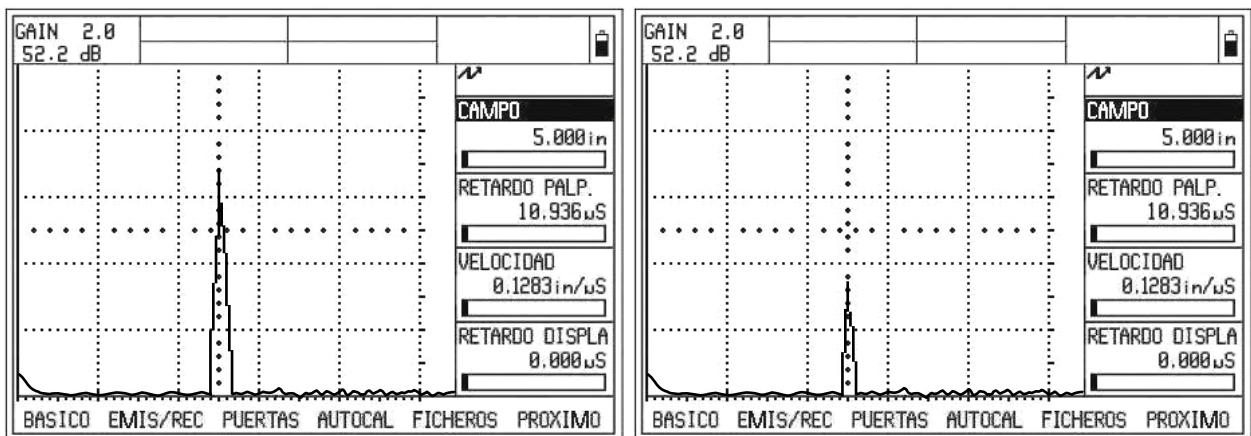
Las líneas e inclusiones de escoria producen indicaciones de mayor amplitud que las producidas por porosidad, ya que cuentan con una superficie reflectora mayor, figura No. 83.



Una indicación de inclusión rara vez se comporta como la producida por un poro o una grieta de fabricación, pero frecuentemente es difícil de distinguir de una cadena alargada de poros.



**Figura No. 82: Detección e identificación de escoria**



Indicación para la posición central

Indicación para las posiciones 2 y 3

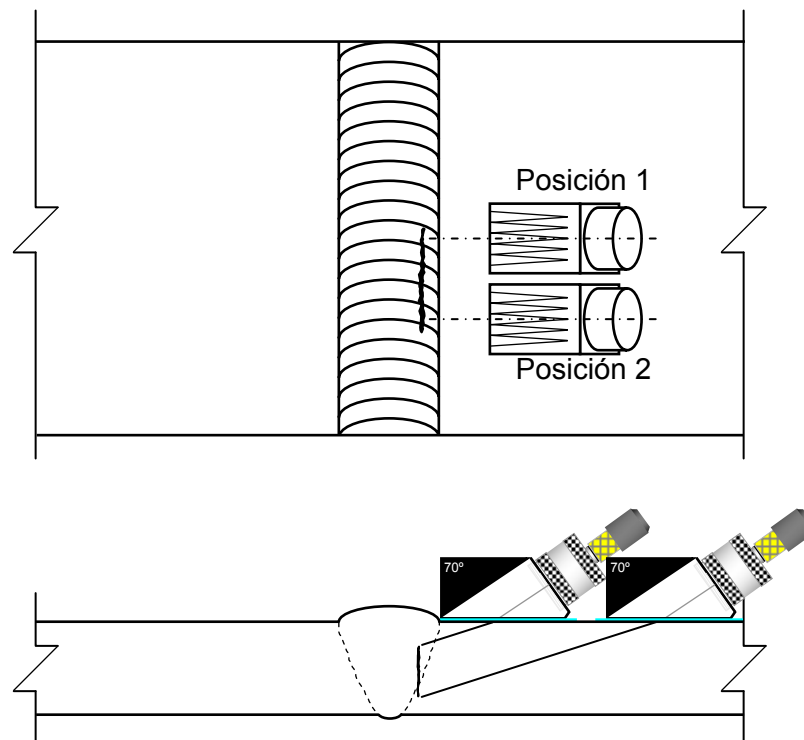
**Figura No. 83: Indicación sobre la pantalla del instrumento**

- Identificación de grietas de fabricación

Esta discontinuidad es distintivamente diferente de las grietas por fatiga, tanto por su localización como por su apariencia ultrasónica. Normalmente, pero no siempre, se localiza a la mitad del espesor de la soldadura. Su superficie se describe como dentada o múltiple, por lo que, su indicación puede confundirse con una cadena de poros o de inclusiones puntuales cercanas y conectadas. Dependiendo de su orientación y otros factores, una grieta de este tipo puede mostrar indicaciones de alta o de baja amplitud. Sin embargo, las grietas de fabricación tienen dos características que ayudan a su identificación:

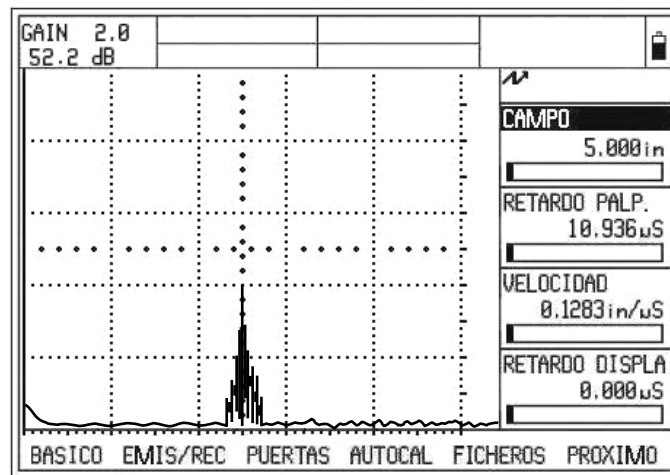
- 1) Tienen una dimensión a través del espesor
- 2) La indicación de una grieta de fabricación consiste de un grupo de varias indicaciones traslapadas, cada una con una ligera diferencia en la distancia recorrida por el haz ultrasónico dentro del material, las cuales forman un patrón ancho, cuya amplitud depende de la orientación de la grieta. Esta indicación es distintivamente diferente de las obtenidas de porosidad o inclusiones.

Con el movimiento orbital resulta una caída rápida de la amplitud del eco, comparado con la porosidad o inclusiones. La figura No. 84 ilustra la detección de grietas de fabricación.



**Figura No. 84: Detección e identificación de grietas de fabricación**

La figura No. 85 muestra la indicación en la pantalla del instrumento ultrasónico, producida por una grieta de fabricación.

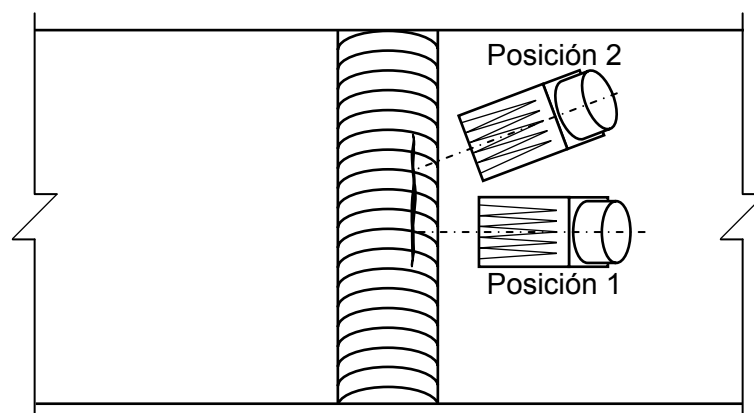


**Figura No. 85: Indicación sobre la pantalla del instrumento**

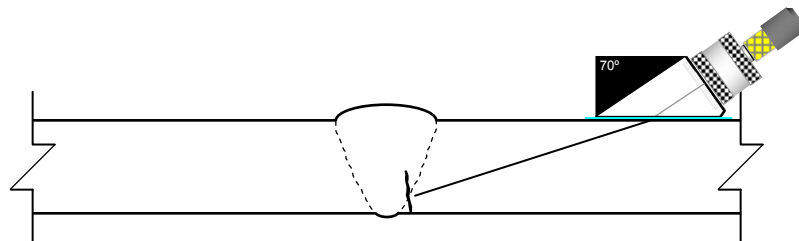
- Identificación de grietas superficiales

Es difícil que se presenten grietas superficiales en materiales nuevos, por lo tanto, se asume que representan una condición relacionada con el servicio. La evidencia ultrasónica de este tipo de grietas difiere, en gran medida, con respecto a las grietas de fabricación.

Normalmente son cerradas, tienen lados tersos y producen indicaciones de una gran amplitud. Su localización ocasiona que actúen como una esquina reflectora, lo que significa que el haz ultrasónico puede ser reflejado por la superficie y la grieta, gracias a lo cual produce indicaciones de, por lo menos, el doble de amplitud, comparadas con indicaciones de discontinuidades del mismo tamaño, pero localizadas a través del espesor de pared. La figura No. 86 muestra la detección e identificación de este tipo de discontinuidades.

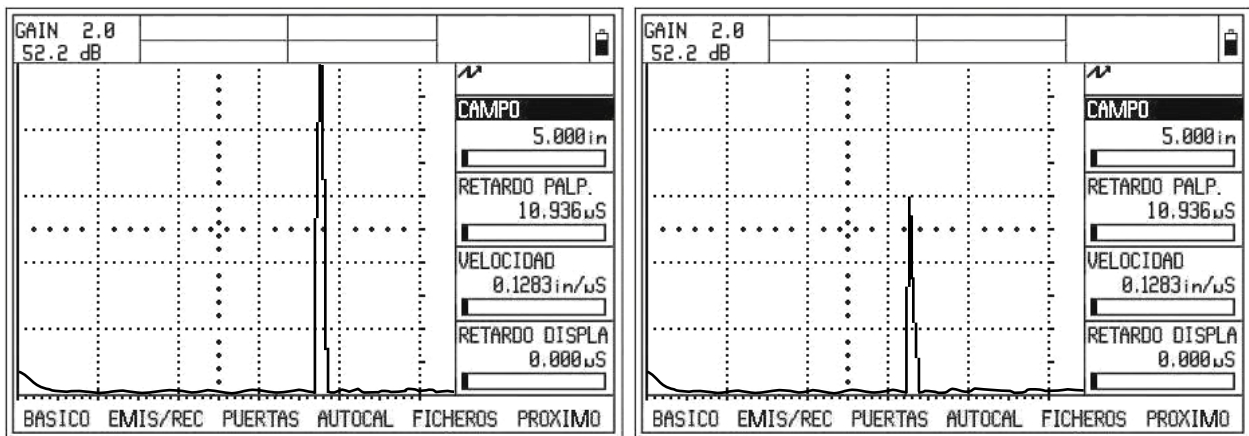


**Figura No. 86: Detección e identificación de grietas superficiales**



**Figura No. 86: Detección e identificación de grietas superficiales (continuación)**

La figura No. 87 muestra la indicación producida por una grieta superficial sobre la pantalla del instrumento ultrasónico.



Indicación para la posición 1

Indicación para la posición 2

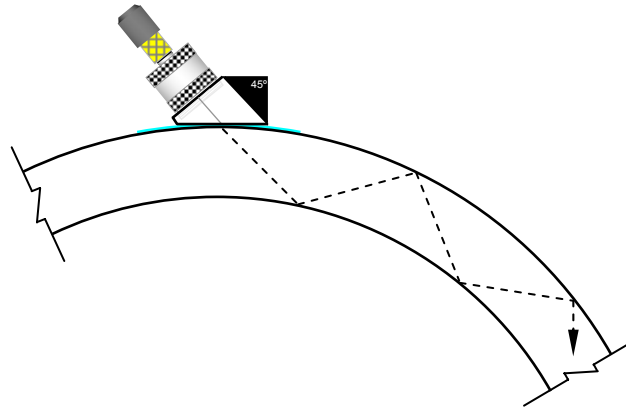
**Figura No. 87: Indicación sobre la pantalla del instrumento**

- d. Orientación: La orientación del reflector puede ser deducida de las amplitudes relativas de la señal obtenidas desde el reflector, con el palpador colocado en varias posiciones sobre la soldadura.
- e. Forma: La forma del reflector y la rugosidad resultan en un grado característico de definición en la deflexión del trazo de la pantalla, dependiendo de la naturaleza de la discontinuidad, y la combinación del instrumento y el palpador utilizados.

Parte de la información sobre la forma de la discontinuidad está dada por la forma de la indicación y, también, por los cambios que sufre la indicación si se cambia la dirección en la que incide el haz ultrasónico.

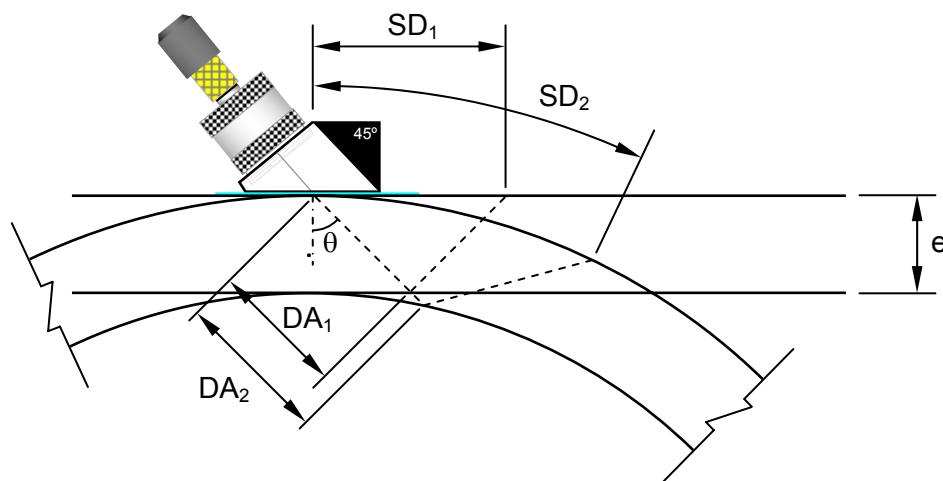
### 13. Inspección de soldadura en componentes tubulares y cilíndricos

La inspección de soldadura longitudinal o circunferencial en componentes tubulares o cilíndricos, así como para detectar grietas longitudinales que pueden ocurrir durante el proceso de fabricación o que pueden desarrollarse durante la operación y como resultado de esfuerzos de corrosión, se logra efectuando un barrido en forma circunferencial, como se muestra en la figura No. 88 siguiente:



**Figura No. 88: Barrido circunferencial de componentes tubulares o cilíndricos**

Cuando se realiza un barrido circunferencial, la distancia de salto y la longitud de pierna no son las mismas que para una placa plana del mismo espesor. La figura No 89 ilustra las diferencias en la distancia de salto,  $SD_1$ , y la longitud de pierna,  $DA_1$ , entre el barrido que se realice en una placa y el barrido circunferencial en un componente tubular o cilíndrico,  $SD_2$  y  $DA_2$ . Las diferencias en longitud entre las dos condiciones es función del diámetro y el espesor de pared del componente tubular o cilíndrico.

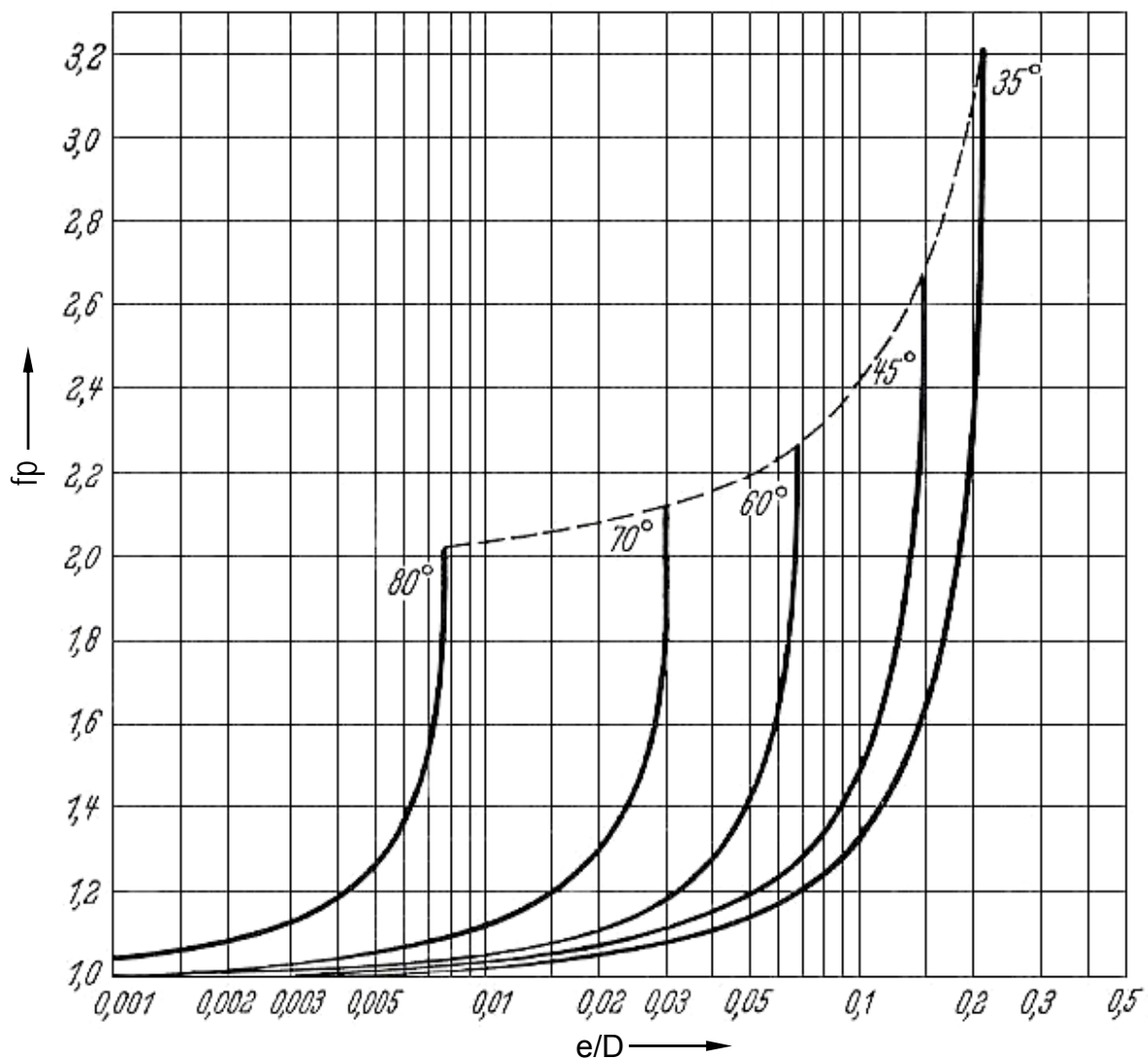


**Figura No. 89: Diferencias en la distancia de salto y longitud de pierna**

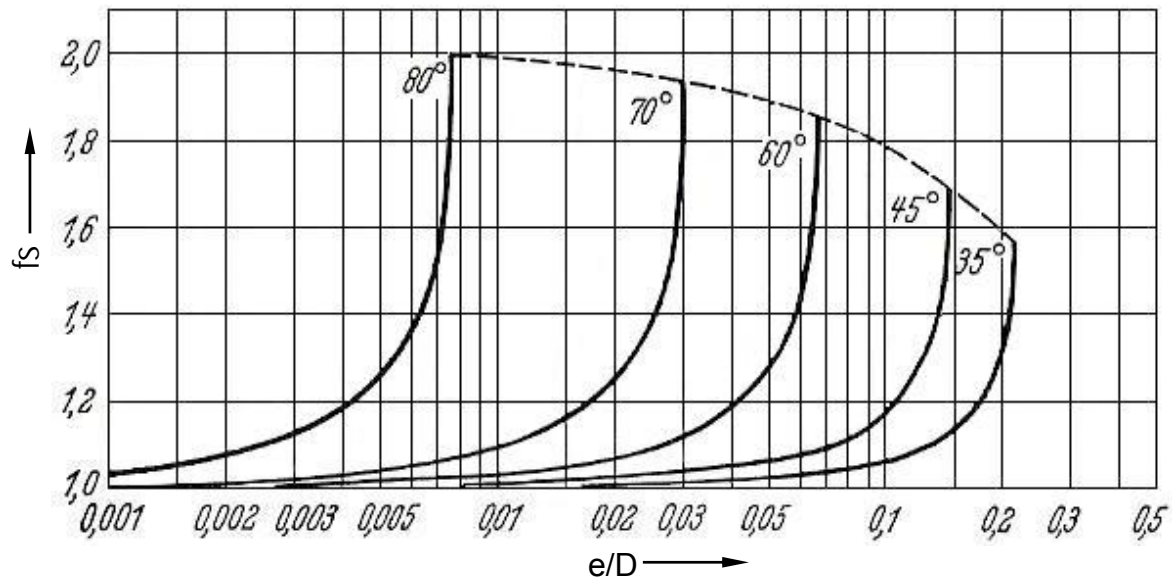
Los valores de la distancia de salto y la longitud de pierna, calculados para componentes planos que tengan ese mismo espesor de pared, deben ser corregidos para componentes curvos, como en el caso de una tubería, multiplicando por los factores "fp" y "fs" respectivamente.

Los factores dependen del ángulo de refracción del ultrasonido, el marcado en la zapata, y la relación, "e/D", entre el espesor de pared, "e", y el diámetro exterior del componente, "D".

Los factores de corrección "fp" y "fs" se obtienen utilizando las gráficas incluidas en las figuras No. 90 y 91, respectivamente.



**Figura No. 90: Gráfica para determinar el factor de corrección "fp" para la distancia de salto**



**Figura No. 91: Gráfica para determinar el factor de corrección "fs" para la longitud de pierna**

Cuando se utilizan las gráficas para determinar los factores de corrección "fp" y "fs", nótese que la línea vertical que representa la relación espesor-diámetro ( $e/D$ ) puede no cruzar todas las curvas correspondientes a los ángulos, lo cual indica que los ángulos que no son interceptados, por las líneas de la relación " $e/D$ ", no logran que la parte central del haz ultrasónico toque la superficie interna de la pared del componente. Entonces, esos ángulos no pueden ser empleados para inspeccionar y detectar discontinuidades cercanas o en la superficie interna y son usados solamente a la profundidad que representa un espesor que produce una relación " $e/D$ " que sí intercepte la curva de ese ángulo.

En aplicaciones prácticas no es posible inspeccionar componentes con relaciones de " $e/D$ " mayores de 0.03, con un ángulo de  $70^\circ$ .

Componentes con espesor grueso y relación de " $e/D$ " mayor de 0.02, solo pueden ser inspeccionados utilizando ángulos menores de  $35^\circ$ .

## CAPITULO CUATRO: DOCUMENTOS

## IV

Las pruebas no destructivas pueden ser diseñadas y especificadas para validar aplicaciones individuales, esto significa que pueden ser específicas para resolver un problema. Para ello, cada prueba no destructiva debe basarse en el total entendimiento de la naturaleza y función de la pieza que está siendo inspeccionada y las condiciones de su servicio. Estos fundamentos son trasladados a la experiencia básica y los conocimientos que un técnico debería poseer.

El técnico calificado como Nivel II o III en cualquier método de Pruebas no Destructivas 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.

---

### i. Códigos, normas y especificaciones

La forma en la cual se encuentran establecidos los requisitos varía de documento a documento. A continuación se describe en forma breve estos documentos.

#### **Código**

Es una colección de estándares y especificaciones relacionadas entre ellas, documentos que define los requisitos técnicos de prueba, materiales, procesos de fabricación, inspección y servicio con los que debe cumplir una línea en particular de partes, componentes o equipo.



Ejemplos de estos documentos:

- Código ANSI / ASME, Boiler and Pressure Vessel Code (Código para Recipientes a Presión y Calderas, de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos);
- Código ANSI / AWS D 1.1, Structural Welding Code – Steel (Código para Estructuras Soldadas de Acero, de la Sociedad Americana de Soldadura);
- Código ANSI / API 570, Piping Inspection Code (Código para Inspección de Tubería, del Instituto Americano del Petróleo);
- Código ANSI / ASME B31. Code for Pressure Piping (Código para Tubería a Presión, de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos).

Los códigos se aplican o siguen de forma obligatoria, solo cuando se establece en un contrato de compra-venta, o en la fabricación de una parte, componente o equipo.

Los códigos americanos que llevan las siglas ANSI son documentos normativos nacionales en los Estados Unidos. Es importante siempre recordar que los Códigos no se combinan o sustituyen entre sí.

Como ejemplo, a continuación se menciona la estructura general del Código ASME para Recipientes a Presión y Calderas.

El documento está dividido en varias secciones, las cuales se puede considerar forman dos grupos:

1. Para clases específicas de componentes (recipientes a presión, calderas, etc.), y
2. Para la tecnología de soporte (soldadura, pruebas no destructivas y materiales).

Ya que el Código contempla varios niveles de componentes críticos lo que debe ser inspeccionado se reserva para algunas Secciones, las que están determinadas por la referencia específica del producto, por ejemplo:

- La Sección III (para construcciones nucleares nuevas),
- La Sección VIII (para la construcción de recipientes a presión nuevos), y
- La Sección XI (para inspección en servicio de instalaciones nucleares).

Además, esas secciones definen los criterios de aceptación y la certificación del personal que deben ser aplicados al uso de pruebas no destructivas, completamente por separado de la Sección V.

Como parte del Código, se establecen reglas y requisitos de pruebas no destructivas en la Sección V, que tiene aplicación similar a documentos de ASTM, y que utiliza algunos de ellos como base técnica para las actividades de inspección.

## Normas o Estándares

Es una especificación publicada, método de prueba, clasificación o práctica que ha sido preparada por un cuerpo editor. Con el fin de satisfacer las necesidades de un contrato, un estándar o parte de uno, para que pueda funcionar como una especificación.

Son documentos que establecen:

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

Ejemplos de estos documentos:

- Normas ASTM (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales),
- Normas Internacionales ISO (Organización Internacional de Normalización),
- Normas Mexicanas (NOM),
- Normas Alemanas DIN,
- Normas Americanas ANSI (Instituto Americano de Estándares Nacionales),

Las normas ASTM relacionadas con las pruebas no destructivas hacen énfasis de la forma en la cual deben realizarse las actividades de inspección, pero dejan el criterio de aceptación para que sea decidido entre el comprador y el vendedor del servicio de acuerdo con el producto.

## Especificación

Es un documento que establece, con cierto detalle, el juego de requisitos asociados con un método. La fuente de una especificación es normalmente el comprador del producto o servicio.

Describen, definen y establecen:

- De forma detallada un servicio, material o producto;
- Propiedades físicas o químicas de un material;
- La forma de realizar pruebas, inspecciones, etc., y tolerancias aplicables para la aceptación o rechazo;
- Como realizar la compra de un servicio o material.

En lugar de un documento técnico complejo, el comprador elige un documento particular que cubre adecuadamente el método particular.

Tienen condiciones que deben ser establecidas por el comprador o que pueden ser aplicadas por el vendedor a su consideración.

Ejemplos de estos documentos:

- Especificaciones particulares de los clientes,
- Especificaciones API,
- Especificaciones ASTM.

Las normas y especificaciones solo son obligatorias por mutuo acuerdo entre comprador y vendedor.

---

## **ii. Procedimientos de inspección**

Un Procedimiento de Inspección es un documento escrito, en forma de una secuencia ordenada de acciones que describen como debe ser aplicada una técnica específica. Es un documento que define los parámetros técnicos, requisitos de equipos y accesorios, así como los criterios de aceptación y rechazo que son aplicables a materiales, partes, componentes o equipos, todo de acuerdo con lo establecido en códigos, normas y /o especificaciones.

El alcance de un procedimiento es intentado para cubrir componentes complejos o críticos o un grupo de artículos semejantes. Aún el técnico más experimentado no podrá determinar el estado de un producto sin la información aplicable al bien o servicio, de cómo se requiere que sea el producto en función de su calidad y, por lo tanto, de cómo el producto va a ser inspeccionado y evaluado.

A continuación se mencionan algunos beneficios que aporta el uso de los procedimientos de inspección:

- Apego a los documentos aplicables (Códigos, normas o especificaciones)
- Se mantiene homogénea la técnica de inspección
- El criterio de aceptación y rechazo es homogéneo
- Se mantiene un nivel de calidad constante de los productos inspeccionados
- Se obtienen resultados repetitivos
- Evita discrepancias entre el fabricante y el comprador durante la inspección de recepción de materiales, cuando el comprador está enterado y ha autorizado la aplicación del procedimiento.

Con base en los documentos aplicables, los procedimientos de inspección deben ser elaborados preferentemente por un técnico nivel II o III, calificado y certificado en el método de inspección aplicable. Además, frecuentemente se establece que deben ser revisados y aprobados por un técnico nivel III, calificado y certificado en el método de inspección aplicable.

El procedimiento debería contener cada aspecto que el técnico necesita saber para llevar a cabo la inspección, como sea requerido, por lo que antes de elaborar un procedimiento de inspección deberían considerarse varios aspectos preliminares importantes, como los siguientes:

- Definir los documentos que sean aplicables, por acuerdo entre el prestador del servicio y el cliente, tales como: especificaciones del cliente, códigos, normas, dibujos, pedido, etc.
- Definir el alcance y requisitos específicos
- Verificar los requisitos específicos que sean aplicables contenidos en: notas técnicas, planos, especificaciones, pedido, etc.
- Determinar los equipos y accesorios necesarios
- Definir los niveles de calidad requeridos.
- Considerar los programas de fabricación o mantenimiento, para que puedan determinarse los puntos críticos de la inspección como: las áreas de interés, la etapa de la inspección, la preparación de las superficies, etc.
- Seleccionar y preparar las muestras en caso que sea requerida la calificación del procedimiento.

---

### **iii. Reporte de resultados**

Los procedimientos de inspección normalmente hacen referencia a un formato de reporte de los resultados de la inspección.

Cuando se reportan y documentan los resultados de las inspecciones, se debe incluir la información completa y exacta de la inspección realizada, con el objeto de hacerla reproducible.

Lo anterior se debe a que podrían existir revisiones por parte del cliente o por alguna agencia (durante auditorias, monitoreos, etc.). Esas revisiones pueden ocurrir mucho tiempo después de haber realizado la inspección y la aceptación por el cliente. Entonces, la falta de información y documentación puede resultar en retrasos costosos, al tratar de resolver la aparente o sospechosa presencia de discontinuidades.

La información necesaria para minimizar confusiones durante la revisión de un reporte de resultados debe incluir, pero no está limitada, a los requisitos establecidos por el Código, norma o especificación que sea aplicable.

## CAPITULO CINCO: CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

## V

Los criterios de aceptación y rechazo se encuentran incluidos en algunos documentos, con el fin de proporcionar rangos, clases, grados y niveles de calidad aceptables de los productos.

Los documentos que contienen criterios de aceptación y rechazo presentan un método para la calificación de ciertos materiales o productos. Se consideran ciertas variables tales como la aleación, el proceso de fabricación, el acabado, el recubrimiento, el esfuerzo, la seguridad y la función, en el análisis de diseño antes de asignar una clase o grado del producto.

El criterio de aceptación y rechazo establece el tamaño y tipo de una discontinuidad aceptable en un área especificada.

El producto podría llegar a ser dividido por zonas, para permitir diferentes niveles de calificación en diferentes posiciones sobre el producto, si se desea. Sin embargo, en muchos casos, el criterio de aceptación solo tiene un tamaño de discontinuidad arriba del cual el defecto debe ser removido, o debe ser removido y reparado, o la pieza debe ser desechada.

---

### i. Códigos, normas y especificaciones

A continuación se incluye la traducción (sin valor técnico) como material didáctico de los criterios de aceptación incluidos en:

- 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.

**CÓDIGO ASME PARA RECIPIENTES A PRESIÓN Y CALDERAS**  
**SECCIÓN VIII, DIVISIÓN 1**  
**APÉNDICE OBLIGATORIO 12**  
**EXAMEN ULTRASÓNICO DE SOLDADURAS (UT)**

### 12.1 ALCANCE

(a) Éste Apéndice describe los métodos que deben ser empleados cuando sea especificado en esta División el examen ultrasónico de soldaduras.

(b) El Artículo 4 de la Sección V debe ser aplicado para cumplir con los requisitos detallados de cada método, procedimientos y calificaciones, a menos que otra cosa sea especificada en éste Apéndice.

(c) El examen ultrasónico debe realizarse de acuerdo con un procedimiento escrito, certificado por el Fabricante para que esté de acuerdo con los requisitos del párrafo T-150 de la Sección V.

### 12.2 CERTIFICACIÓN DE LA COMPETENCIA DEL PERSONAL QUE REALICE LOS EXÁMENES NO DESTRUCTIVOS

El Fabricante debe certificar que el personal que realice y evalúe los exámenes ultrasónicos requeridos por esta División, ha sido calificado y certificado de acuerdo con la práctica escrita de la empresa. SNT-TC-1A<sup>1</sup> debe ser usada como guía por la empresa para que establezca su propia práctica escrita para la calificación y certificación de su personal. Alternativamente, puede ser usado el Programa de Certificación Central de la ASNT (ACCP)<sup>1</sup> o CP-189<sup>1</sup>, para completar los requisitos de exámenes y demostración de SNT-TC-1A y de la práctica escrita de la empresa. Las provisiones para el entrenamiento, experiencia, calificación y certificación del personal de END deben ser descritas en el Sistema de Control de Calidad del Fabricante (ver Apéndice 10).

### 12.3 ESTÁNDARES DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

Estos estándares deben ser aplicados a menos que otros estándares sean indicados para aplicaciones específicas dentro de esta División.

Las imperfecciones que produzcan una respuesta mayor que el 20% del nivel de referencia, deben ser investigadas en toda su extensión, para que el operador pueda determinar la forma, identidad y localización de tales imperfecciones y evaluarlas en términos de los estándares de aceptación mencionados en (a) y (b) a continuación:

(a) Indicaciones caracterizadas como grietas, faltas de fusión, o penetración incompleta son inaceptables sin importar su longitud.

(b) Otras imperfecciones, diferentes a las indicadas en el párrafo anterior, son inaceptables si sus indicaciones exceden el nivel de amplitud de referencia y que su longitud exceda de:

- (1) 1/4" (6 mm) para  $t$  hasta 3/4" (19 mm);
- (2) 1/3 $t$  para  $t$  desde 3/4" hasta 2-1/4" (19 mm a 57 mm);
- (3) 3/4" (19 mm) para  $t$  mayor de 2-1/4" (57 mm).

Donde " $t$ " es el espesor de la soldadura, excluyendo cualquier refuerzo permitido. En juntas soldadas a tope que unen dos miembros que tienen diferentes espesores, " $t$ " es el espesor del miembro más delgado. Si una soldadura de penetración completa incluye una soldadura de filete, el espesor de la garganta del filete debe ser incluido en " $t$ ".

### 12.4 REPORTE DE INSPECCION

El Fabricante debe preparar un reporte del examen ultrasónico y una copia de éste debe ser retenida por él, como sea requerido por esta División (10-13). El reporte debe contener la información requerida por la Sección V. Además, debe existir un registro de las áreas reparadas, así como los resultados de las reexaminaciones de las áreas reparadas. El Fabricante también debe mantener un registro de todas las reflexiones de áreas que no sean reparadas y que tengan respuestas que exceden el 50% del nivel de referencia. Éste registro debe indicar la localización de cada área, el nivel de respuesta, las dimensiones, la profundidad por debajo de la superficie y la clasificación.

<sup>1</sup> La Práctica Recomendada No. SNT-TC-1A, "Calificación y Certificación del Personal de Pruebas No Destructivas", ACCP, Programa de Certificación Central de ASNT y CP-189, son publicadas por la Sociedad Americana de Pruebas No Destructivas, Incorporada. Arlingate Lane 1711, Columbus, Ohio.

**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)**

**6.13.1 Criterio de aceptación para Conexiones No Tubulares Estáticamente Cargadas.** El criterio de aceptación para soldaduras que son sujetas a inspección ultrasónica, además de la inspección visual, deben cumplir con los requisitos de la Tabla 6.2.

Tabla 6.2  
Criterio de Aceptación-Rechazo para Ultrasonido (Conexiones No Tubulares Estáticamente Cargadas) (ver 6.13.1)

Severidad	Espesor de la Soldadura <sup>a</sup> en pulgadas [mm] y Ángulo del Palpador										
	5/16 [8.0] <sup>a</sup> 3/4 [20]	> 3/4 [20] <sup>a</sup> 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]		
Clase	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

<sup>a</sup> 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.

Notas:

- Las discontinuidades Clase B y C deben estar separadas por al menos 2L, siendo L la longitud de la discontinuidad más larga, excepto que cuando dos o más de tales discontinuidades no estén separadas por al menos 2L, pero la longitud combinada de las discontinuidades y su distancia de separación es igual o menor que la máxima longitud permitida, bajo las condiciones de la Clase B o C, entonces la discontinuidad debe ser considerada como una sola discontinuidad aceptable.
- Las discontinuidades Clase B y C no deben iniciar a una distancia menor de 2L de la orilla de soldaduras que soporten esfuerzos de tensión primaria, siendo L la longitud de la discontinuidad.
- Las discontinuidades detectadas con el “nivel de barrido” en el área de la cara de raíz de una soldadura con junta de doble ranura con penetración completa, deben ser evaluadas usando una “relación de indicación” de 4 dB más sensible que como se describe en 6.26.6.5, cuando tales soldaduras son designadas como “soldaduras de tensión” en el dibujo (restar 4 dB de la relación de indicación “d”). Esto no debe aplicarse si la raíz de la junta soldada ha sido esmerilada para remover la cara de raíz y se ha usado Partículas Magnéticas para verificar que la cara de raíz ha sido removida.
- Soldaduras aplicadas por electro-escoria o electro-gas: Las discontinuidades detectadas con el “nivel de barrido” y que excedan de 2 pulgadas [50 mm] de longitud debe sospecharse que son el inicio de porosidad tipo túnel y deben ser evaluadas con radiografía.
- Para indicaciones que permanecen en la pantalla, cuando se mueve el palpador, consulte el párrafo 6.13.1.



**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.

Niveles de Barrido	
Distancia angular <sup>b</sup> en pulgadas (mm.)	Arriba del Nivel de Referencia, en dB
hasta 2-1/2 [65 mm]	14
> 2-1/2 y hasta 5 [65–125 mm]	19
> 5 y hasta 10 [125–250 mm]	29
> 10 y hasta 15 [250–380 mm]	39

Nota:

<sup>b</sup> Esta columna se refiere a la distancia recorrida por el ultrasonido; NO al espesor del material.

**6.13.2 Criterio de aceptación para Conexiones No Tubulares Estáticamente Cargadas.** El criterio de aceptación para soldaduras que son sujetas a inspección ultrasónica, además de la inspección visual, deben cumplir con los requisitos siguientes:

(1) Soldaduras sujetas a esfuerzos de tensión bajo cualquier condición de carga, deben ser conforme a los requisitos de la Tabla 6.3.

(2) Soldaduras sujetas a esfuerzos de compresión, deben ser conforme a los requisitos de la Tabla 6.2.

Tabla 6.3  
Criterio de Aceptación-Rechazo para Ultrasonido (Conexiones No Tubulares Cíclicamente Cargadas) (ver 6.13.2)

Severidad Clase	Espesor de la Soldadura <sup>a</sup> en pulgadas [mm] y Ángulo del Palpador										
	5/16 (8.0) <sup>a</sup> 3/4 (20)	> 3/4 (20) <sup>a</sup> 1-1/2 (38)	> 1-1/2 (38) a 2-1/2 (65)			> 2-1/2 (65) a 4 (100)			> 4 (100) a 8 (200)		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°
Clase A	+10 y menor	+8 y menor	+4 y menor	+7 y menor	+9 y menor	+1 y menor	+4 y menor	+6 y menor	-2 y menor	+1 y menor	+3 y menor
Clase B	+11	+9	+5 +6	+8 +9	+10 +11	+2 +3	+5 +6	+7 +8	-1 0	+2 +3	+4 +5
Clase C	+12	+10	+7 +8	+10 +11	+12 +13	+4 +5	+7 +8	+9 +10	+1 +2	+4 +5	+6 +7
Clase D	+13 y mayor	+11 y mayor	+9 y mayor	+12 y mayor	+14 y mayor	+6 y mayor	+9 y mayor	+11 y mayor	+3 y mayor	+6 y mayor	+8 y mayor

<sup>a</sup> 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.

Notas:

- Las discontinuidades Clase B y C deben estar separadas por al menos 2L, siendo L la longitud de la discontinuidad más larga, excepto que cuando dos o más de tales discontinuidades no estén separadas por al menos 2L, pero la longitud combinada de las discontinuidades y su distancia de separación es igual o menor que la máxima longitud permitida, bajo las condiciones de la Clase B o C, entonces la discontinuidad debe ser considerada como una sola discontinuidad aceptable.
- Las discontinuidades Clase B y C no deben iniciar a una distancia menor de 2L de la orilla de soldaduras que soporten esfuerzos de tensión primaria, siendo L la longitud de la discontinuidad.
- Las discontinuidades detectadas con el “nivel de barrido” en el área de la cara de raíz de una soldadura con junta de doble ranura con penetración completa, deben ser evaluadas usando una “relación de indicación” de 4 dB más sensible que como se describe en 6.26.6.5, cuando tales soldaduras son designadas como “soldaduras de tensión” en el dibujo (restar 4 dB de la relación de indicación “d”). Esto no debe aplicarse si la raíz de la junta soldada ha sido esmerilada para remover la cara de raíz y se ha usado Partículas Magnéticas para verificar que la cara de raíz ha sido removida.
- Soldaduras aplicadas por electro-escoria o electro-gas: Las discontinuidades detectadas con el “nivel de barrido” y que excedan de 2 pulgadas [50 mm] de longitud debe sospecharse que son el inicio de porosidad tipo túnel y deben ser evaluadas con radiografía.
- Para indicaciones que permanecen en la pantalla, cuando se mueve el palpador, consulte el párrafo 6.13.2.1.

**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.

Niveles de Barrido	
Distancia angular <sup>b</sup> en pulgadas (mm.)	Arriba del Nivel de Referencia, en dB
hasta 2-1/2 [65 mm]	20
> 2-1/2 y hasta 5 [65–125 mm]	25
> 5 y hasta 10 [125–250 mm]	35
> 10 y hasta 15 [250–380 mm]	45

Nota:

<sup>b</sup> Esta columna se refiere a la distancia recorrida por el ultrasonido; NO al espesor del material.

**ESTÁNDAR API 1104**  
**SOLDADURA DE TUBERÍA E INSTALACIONES RELACIONADAS**  
**SECCIÓN 9 – ESTÁNDARES DE ACEPTACIÓN PARA PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS**

## **9.6 INSPECCIÓN ULTRASÓNICA**

### **9.6.1 Clasificación de Indicaciones**

**9.6.1.1** Las indicaciones producidas por la inspección ultrasónica no son necesariamente defectos. Los cambios en la geometría de la soldadura, debido al desalineamiento de los extremos de la tubería unidos a tope, los cambios en el perfil del refuerzo de la soldadura del diámetro interior en la raíz y los pasos de cubierta en el diámetro exterior, el biselado interno, y la conversión de modo de la onda ultrasónica, debido a tales condiciones, pueden causar indicaciones geométricas que sean similares a aquellas causadas por imperfecciones en la soldadura, pero que no son relevantes para la aceptación.

**9.6.1.2** Las indicaciones lineales son definidas como indicaciones con su dimensión mayor en la misma dirección que la soldadura. Típicamente, las indicaciones lineales pueden ser causadas por, pero no están limitadas a, los siguientes tipos de imperfecciones: penetración inadecuada sin desalineamiento (IP = inadequate penetration), penetración inadecuada debido a desalineamiento (IPD), penetración inadecuada en el cruce (ICP), fusión incompleta (IF = incomplete fusion), fusión incompleta debido a traslape en frío (IFD), inclusión de escoria alargada (ESI = elongated slag inclusion), grietas (C), socavado adyacente a los pasos de cubierta (EU) o al paso de raíz (IU), y porosidad lineal o cordón de poros (HB).

**9.6.1.3** Las indicaciones transversales son definidas como indicaciones con su dimensión mayor transversal a la soldadura. Típicamente, las indicaciones transversales pueden ser causadas por, pero no están limitadas a, los siguientes tipos de imperfecciones: grietas (C), inclusiones aisladas de escoria (ISI = isolated slag inclusion), y fusión incompleta debido a traslape en frío (IFD) al principio y/o al final entre los pasos de la soldadura.

**9.6.1.4** Las indicaciones volumétricas son definidas como indicaciones con tres dimensiones. Tales indicaciones pueden ser causadas por inclusiones simples o múltiples, huecos o poros. Los huecos, poros o inclusiones pequeñas parcialmente llenas, al principio y/o al final entre los pasos de la soldadura, pueden causar indicaciones

más grandes en dirección transversal que en la misma dirección que la soldadura. Típicamente, las indicaciones volumétricas pueden ser causadas por, pero no están limitadas a, los siguientes tipos de imperfecciones: concavidad interna (IC = internal concavity), quemada a través (BT = burn-through), inclusiones aisladas de escoria (ISI), porosidad (P), y porosidad agrupada (CP = cluster porosity).

**9.6.1.5** Las indicaciones relevantes son aquellas causadas por imperfecciones. Las indicaciones relevantes deben ser evaluadas con el nivel de evaluación proporcionado en 11.4.7 y de acuerdo con los estándares de aceptación proporcionados en 9.6.2.

Nota: Cuando existe duda acerca del tipo de imperfección que está siendo descubierta por una indicación, la verificación puede efectuarse usando otros métodos de pruebas no destructivas.

### **9.6.2 Estándares de Aceptación**

**9.6.2.1** Las siguientes indicaciones deben ser consideradas como defectos si existe cualquiera de las condiciones siguientes:

- a. Indicaciones que se determine que son producidas por grietas (C).
- b. Indicaciones individuales con dimensión vertical (altura a través de la soldadura) que se determine que sean mayores que un cuarto del espesor de pared.
- c. Indicaciones múltiples en la misma posición circunferencial con la suma de su dimensión vertical (altura a través de la soldadura) que se determine que exceda de un medio del espesor de pared.

**9.6.2.2** Indicaciones lineales superficiales (LS) (otras que no sean grietas), que se interprete que están abiertas a la superficie en el diámetro interior o en el diámetro exterior, deben ser consideradas como defectos si existe cualquiera de las condiciones siguientes:

- a. La longitud agregada de indicaciones LS en cualquier longitud continua de 12" (300 mm) de soldadura excede de 1" (25 mm).
- b. La longitud agregada de indicaciones LS que exceda el 8% de la longitud de la soldadura.



**9.6.2.3** Indicaciones lineales internas (LB = Linear buried) (otras que no sean grietas), que se interprete que son subsuperficiales y que están dentro de la soldadura y que no se encuentran conectadas con la superficie del diámetro interior o del diámetro exterior, deben ser consideradas como defectos si existe cualquiera de las condiciones siguientes:

- a. La longitud agregada de indicaciones LB en cualquier longitud continua de 12" (300 mm) de soldadura excede de 2" (50 mm).
- b. La longitud agregada de indicaciones LB excede el 8% de la longitud de la soldadura.

**9.6.2.4** Indicaciones transversales (T) (otras que no sean grietas), deben ser consideradas volumétricas y deben ser evaluadas usando el criterio para indicaciones volumétricas. La letra T debe ser usada para designar todas las indicaciones transversales reportadas.

**9.6.2.5** Indicaciones volumétricas agrupadas (VC = Volumetric cluster) deben ser consideradas defectos cuando la dimensión máxima de las indicaciones VC excede de 1/2" (13 mm).

**9.6.2.6** Indicaciones volumétricas individuales (VI = Volumetric individual) deben ser consideradas defectos cuando la dimensión máxima de las indicaciones VI excede de 1/8" (3 mm).

**9.6.2.7** Indicaciones volumétricas de raíz (VR = Volumetric root) que se interprete que se encuentran abiertas a la superficie del diámetro interior, deben ser consideradas defectos cuando existe cualquiera de las condiciones siguientes:

- a. La dimensión máxima de indicaciones VR excede 1/4" (6 mm) o el espesor nominal de pared, cualquiera que sea menor.
- b. La longitud total de indicaciones VR excede 1/2" (13 mm) en cualquier longitud continua de 12" (300 mm).

**9.6.2.8** Cualquier acumulación de indicaciones relevantes (AR) debe ser considerada defecto cuando existe cualquiera de las condiciones siguientes:

- a. La longitud agregada de indicaciones que estén por arriba del nivel de evaluación excede de 2" (50 mm) en cualquier longitud continua de 12" (300 mm) de soldadura.
- b. La longitud agregada de indicaciones que estén por arriba del nivel de evaluación excede el 8% de la longitud de la soldadura.

### **9.6.3 Imperfecciones en la Tubería o en Conexiones**

Imperfecciones en la tubería o en conexiones, que sean detectadas por la inspección ultrasónica deben ser reportadas a la compañía. Su disposición debe ser como lo determine la compañía.

## CAPITULO SEIS: ANEXOS

## VI

En este Capítulo se incluye la traducción (sin valor técnico) como material didáctico de algunos documentos de uso frecuente en la industria, así como un procedimiento típico de inspección por ultrasonido, como ejemplos de estos documentos de información.

Los documentos considerados son:

- 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, Revisión Original

## CÓDIGO ASME PARA RECIPIENTES A PRESIÓN Y CALDERAS SECCIÓN V, ARTÍCULO 4 MÉTODOS DE INSPECCIÓN ULTRASÓNICA PARA SOLDADURAS

### T-410 ALCANCE

Éste Artículo proporciona o hace referencia a los requisitos para los exámenes de soldadura, los cuales son usados en la selección y desarrollo de procedimientos de examen ultrasónico cuando el examen, de acuerdo con cualquier parte de este Artículo, es un requisito de una Sección de referencia del Código. Estos procedimientos serán los usados para el examen ultrasónico de soldaduras y para dimensionar las indicaciones, para realizar la comparación con los estándares de aceptación, cuando sea requerido por la Sección de referencia del Código; la Sección de referencia del Código debe ser consultada para obtener los requisitos específicos para lo siguiente:

- (a) Requisitos para la Calificación y / o Certificación del Personal
- (b) Requisitos para la demostración y/ o calificación y aceptación del procedimiento
- (c) Características del Sistema de Examen
- (d) Retención y control de los bloques de calibración
- (e) Extensión del examen y / o volumen a ser barrido
- (f) Estándares de aceptación
- (g) Retención de los registros
- (h) Requisitos para los reportes

Las definiciones de los términos usados en éste Artículo están contenidas en el Apéndice Obligatorio III del Artículo 5.

### T-420 REQUISITOS GENERALES

Los requisitos de este Artículo deben ser usados junto con el Artículo 1, Requisitos Generales. Consultar el párrafo T-451 para las consideraciones especiales para materiales y soldaduras de grano grueso. Consultar el párrafo T-452 para las consideraciones especiales para técnicas de imagen computarizada.

### T-421 Requisitos del Procedimiento Escrito

**T-421.1 Requisitos.** El examen ultrasónico debe efectuarse de acuerdo con un procedimiento escrito el cual debe, como mínimo, contener los requisitos en la lista de la Tabla T-421. El procedimiento escrito debe establecer un valor simple, o rango de valores, para cada requisito.

**07 T-421.2 Calificación del Procedimiento.** Cuando sea especificada la calificación del procedimiento por la Sección de referencia del

Código, un cambio en un requisito de la Tabla T-421, identificado como una *variable esencial*, en el valor o rango de valores especificado, debe requerir la recalificación del procedimiento escrito. Un cambio de un requisito identificado como una *variable no esencial*, en el valor o rango de valores especificado, no requiere la recalificación del procedimiento escrito. Todos los cambios de variables esenciales o no esenciales en el valor o rango de valores especificado por el procedimiento escrito debe requerir revisión de, o una adenda a, el procedimiento escrito.

### T-430 EQUIPO

#### T-431 Requisitos del Instrumento

Debe ser usado un instrumento ultrasónico de tipo pulso eco. El instrumento debe ser capaz de operar a frecuencias sobre el rango de al menos 1 MHz a 5 MHz, y debe estar equipado con un control de ganancia en pasos, en unidades de 2.0 dB o menores. Si el instrumento tiene un control de amortiguamiento, este puede ser usado si no reduce la sensibilidad del examen. El control de rechazo debe estar en la posición de "apagado" para todos los exámenes, a menos que pueda demostrarse que no afecta la linealidad del examen.

El instrumento, cuando sea requerido por la técnica que está siendo usada, debe tener conexiones para transmitir y recibir, para la operación de palpadores duales o un palpador sencillo con transductores transmisor y receptor.

### T-432 Palpadores

**T-432.1 General.** La frecuencia nominal debe ser de 1 MHz a 5 MHz, a menos que variables tales como la estructura de grano del material usado para la producción, requiera el uso de otras frecuencias para asegurar la penetración adecuada o para mejorar la resolución. Pueden ser usados palpadores con zapatas de contacto con contorno, para ayudar en el acoplamiento ultrasónico.

**T-432.2 Recubrimiento—Palpadores para la Técnica Uno<sup>1</sup>.** Deben ser usados palpadores de doble elemento usando una técnica de emisor-receptor inclinados. El ángulo incluido entre las trayectorias del haz debe ser tal que el punto focal efectivo del palpador se encuentre centrado en el área de interés.

<sup>1</sup> Ver el párrafo T-473 para técnicas en recubrimientos.



TABLA T-421  
REQUISITOS DE UN PROCEDIMIENTO PARA EL EXAMEN ULTRASÓNICO

REQUISITOS	VARIABLE ESENCIAL	VARIABLE NO ESENCIAL
Configuraciones de la soldadura que será examinada, incluyendo espesor, dimensiones y forma de producto del material base (tubería, placa, etc.)	X	
Las superficies desde las cuales debe ser efectuado el examen	X	
La técnica (haz recto, haz angular, contacto, inmersión)	X	
Ángulo(s) y modo(s) de propagación de onda en el material	X	
Tipo de palpador(es), frecuencia(s) y tamaño(s) y forma(s) del elemento	X	
Palpadores especiales, zapatas, cuñas o líneas de retardo, cuando sean usadas	X	
Instrumento(s) ultrasónico(s)	X	
Calibración [bloque(s) y técnica(s) de calibración]	X	
Direcciones y extensión del barrido	X	
Barrido (manual o automático)	X	
Método para discriminar la configuración geométrica de indicaciones de fallas	X	
Método para dimensionar las indicaciones	X	
Mejora de los datos adquiridos por computadora, cuando sea usado	X	
Traslape del barrido (solo cuando se reduce)	X	
Requisitos del desempeño del personal, cuando sea requerido	X	
Requisitos de la calificación del personal		X
Condición de la superficie (de la superficie de examen, del bloque de calibración)		X
Acoplante: marca o tipo		X
Alarma automática y / o equipo de registro, cuando sea aplicable		X
Registros, incluyendo los datos mínimos de calibración que deben ser registrados (por ejemplo, ajustes del instrumento)		X

**T-433 Acoplante**

**T-433.1 General.** El acoplante, incluyendo aditivos, no debe causar detrimento al material que esté siendo examinado.

**T-433.2 Control de Contaminantes**

(a) Los acoplantes usados en aleaciones base níquel no deben contener más de 250 ppm de azufre.

(b) Los acoplantes usados en acero inoxidable austenítico o titanio no deben contener más de 250 ppm de haluros (cloruros más fluoruros).

**T-434 Bloques de Calibración**

**T-434.1 General**

**T-434.1.1 Reflectores.** Los reflectores especificados (por ejemplo, barrenos laterales, barrenos de fondo plano, ranuras, etc.) deben ser usados para establecer las respuestas de referencia primaria del equipo. Puede(n) ser usado(s) reflector(es) alterno(s), siempre que el(los) reflector(es) alterno(s) produzca(n) una sensibilidad igual o mayor que el(los) reflector(es) especificado(s) (por ejemplo, barrenos laterales en lugar de ranuras, barrenos de fondo plano en lugar de barrenos laterales).

**T-434.1.2 Material**

(a) *Soldaduras de material similar.* El material con el cual es fabricado el bloque, debe ser de la misma

forma de producto y especificación de material o grupo de Números-P equivalente, como el del material que será examinado. Para propósitos de este párrafo, los materiales de los Números-P 1, 3, 4 y 5 son considerados equivalentes.

(b) *Soldaduras de materiales diferentes.* La selección del material debe estar basada en el material que está del lado de la soldadura, y desde el cual se va a realizar el examen. Si el examen será realizado desde ambos lados, los reflectores de calibración deben encontrarse en ambos lados.

**T-434.1.3 Calidad.** Antes de la fabricación, el material del bloque debe ser completamente examinado con un palpador de haz recto. Las áreas que contengan una indicación que exceda la reflexión de pared posterior remanente deben ser excluidas de las trayectorias requeridas del haz para alcanzar los diferentes reflectores de calibración.

**T-434.1.4 Recubrimiento.** Cuando el material del componente está recubierto, el bloque debe ser recubierto con el mismo proceso de soldadura que las partes de producción. Es preferible tener materiales del componente que han sido recubiertos antes que sean removidas la prolongaciones o salientes. Cuando el recubrimiento ha sido depositado usando un proceso de soldadura automática, y, si debido al tamaño del bloque, el proceso de soldadura automática es impráctico, el depósito del recubrimiento puede ser por el método manual.

07

**T-434.1.5 Tratamiento Térmico.** El bloque de calibración debe recibir por lo menos el tratamiento mínimo de revenido, requerido por la especificación de material para el tipo y grado. Si el bloque de calibración contiene alguna otra soldadura diferente a un recubrimiento, y la soldadura del componente, en el momento del examen, ha sido tratada térmicamente, el bloque debe recibir el mismo tratamiento térmico.

**T-434.1.6 Acabado Superficial.** El acabado de las superficies de barrido del bloque, debe ser representativo de los acabados de las superficies de barrido del componente que será examinado.

#### **T-434.1.7 Curvatura del Bloque (Excepto para Tubería)**

**T-434.1.7.1 Materiales con diámetros mayores de 20" (500 mm).** Para el examen en materiales donde el diámetro de la superficie de examen es mayor de 20" (500 mm), puede ser usado un bloque de esencialmente la misma curvatura o, alternativamente, un bloque básico de calibración plano.

**T-434.1.7.2 Materiales con diámetros de 20" (500 mm) y menores.** Para el examen en materiales donde el diámetro de la superficie de examen es igual o menor de 20" (500 mm), debe ser usado un bloque curvo. Excepto donde otra cosa sea establecida en este Artículo, un solo bloque básico de calibración curvo puede ser usado para los exámenes en el rango de curvatura desde 0.9 hasta 1.5 veces el diámetro del bloque básico de calibración. Por ejemplo, un bloque de 8" (200 mm) de diámetro puede ser usado para calibrar para los exámenes de superficies en el rango de curvatura desde 7.2" hasta 12" (180 mm a 300 mm) de diámetro. El rango de curvatura desde 0.94" hasta 20" (24 mm a 500 mm) de diámetro, requiere de 6 bloques curvos, como se muestra en la Figura T-434.1.7.2 para cualquier rango de espesores.

**T-434.1.7.3 Alternativa para Superficies Convexas.** Como una alternativa a los requisitos de T-434.1.7.1, cuando se examina desde la superficie convexa, con la técnica de haz recto de contacto, puede ser usado el Apéndice G.

#### **T-434.2 Bloques de Calibración para Componentes que no sean Tubería**

**T-434.2.1 Bloque Básico de Calibración.** La configuración del bloque básico de calibración y de los reflectores debe ser como se muestra en la Figura T-434.2.1. Las dimensiones del bloque y la localización de los reflectores, deben ser adecuadas

para efectuar las calibraciones para los haces angulares usados.

**T-434.2.2 Espesor del Bloque.** El espesor del bloque (T) debe ser como se establece en la Figura T-434.2.1.

**T-434.2.3 Rango de Uso del Bloque.** Cuando el espesor del bloque de calibración sea de  $\pm 1$ " (25 mm) y cubra 2 de los rangos de espesor de la soldadura, como se muestra en la Figura T-434.2.1, el bloque usado será aceptable en aquellas porciones de cada uno de los rangos de espesor, cubiertos por 1" (25 mm) del espesor del bloque de calibración. Como un ejemplo, un bloque de calibración con un espesor de 1-1/2" (38 mm) podrá ser usado para espesores de soldadura de 0.5" (13 mm) hasta 2.5" (64 mm).

**T-434.2.4 Bloque Alternativo.** Alternativamente, el bloque puede ser construido como se muestra en el Apéndice No Obligatorio J, Figura J-431.

**T-434.3 Bloques de Calibración para Tubería.** La configuración del bloque básico de calibración y de los reflectores debe ser como se muestra en la Figura T-434.3. El bloque básico de calibración debe ser una sección de tubería, del mismo tamaño nominal y cédula. Las dimensiones del bloque y la localización de los reflectores deben ser adecuadas para efectuar la calibración para los haces angulares usados.

#### **T-434.4 Bloques de Calibración para Recubrimientos<sup>2</sup>**

**T-434.4.1 Bloque de Calibración para la Técnica Uno.** La configuración del bloque básico de calibración y de los reflectores debe ser como se muestra en la Figura T-434.4.1. Puede ser usado un barreno lateral o un barreno de fondo plano. El espesor de toda la capa de soldadura debe ser al menos tan grueso como el que será examinado. El espesor del material base debe ser al menos de dos veces el espesor del recubrimiento.

**T-434.4.2 Bloques de Calibración Alternos para la Técnica Uno.** Alternativamente, pueden ser usados bloques de calibración como los mostrados en las Figuras T-434.4.2.1 o T-434.4.2.2. El espesor de toda la capa de soldadura debe ser al menos tan grueso como el que será examinado. El espesor del material base debe ser al menos de dos veces el espesor del recubrimiento.

<sup>2</sup> Ver el párrafo T-465, Calibración para Recubrimientos

**T-434.4.3 Bloque de Calibración para la Técnica Dos.** La configuración del bloque básico de calibración y de los reflectores debe ser como se muestra en la Figura T-434.4.3. Debe ser usado un agujero de fondo plano barrenado hasta la interfase del metal de soldadura de recubrimiento. Este agujero puede ser barrenado desde el lado del material base o desde el lado de la capa de soldadura. El espesor de la capa de soldadura de recubrimiento debe ser al menos tan grueso como el que será examinado. El espesor del material base debe estar dentro de 1" (25 mm), con respecto al espesor del bloque de calibración, cuando el examen se realiza desde la superficie del material base. El espesor del material base, en el bloque de calibración, debe ser al menos dos veces el espesor del recubrimiento cuando el examen se realiza desde la superficie recubierta.

#### **T-440 REQUISITOS MISCELANEOS**

##### **T-441 Identificación de las Áreas de Soldadura Examinada**

(a) *Ubicación de las Soldaduras.* La ubicación de las soldaduras y sus identificaciones deben ser registradas sobre un mapa de la soldadura o en un plano de identificación.

(b) *Marcado.* Si las soldaduras son marcadas permanentemente, pueden ser usadas estampas de bajo esfuerzo y/o herramientas vibratorias. Las marcas aplicadas después del relevado de esfuerzos final del componente no deben ser más profundas de 3/64" (1.2 mm).

(c) *Sistema de Referencia.* Cada una de las soldaduras debe ser ubicada e identificada por un sistema de puntos de referencia. El sistema debe permitir la identificación de cada una de las líneas centrales de la soldadura y la designación de intervalos regulares a todo lo largo de la soldadura. Un sistema general para trazar un plan para soldaduras de recipientes se describe en el Apéndice No Obligatorio A; sin embargo, puede ser usado un sistema diferente, con la condición que cumpla con los requisitos anteriores.

#### **T-450 TÉCNICAS**

Las técnicas descritas en este Artículo son intentadas para aplicaciones donde son usados palpadores con elemento sencillo o dual para producir:

(a) haces de ondas longitudinales de incidencia normal, para exámenes que generalmente son identificados como exámenes con **haz recto**, o para

(b) ondas longitudinales de haz angular, donde ondas refractadas longitudinales y de corte están

presentes en el material bajo examen. Cuando el examen es usado para la medición de espesores o del recubrimiento, estos exámenes son generalmente considerados como exámenes con haz recto. Cuando los exámenes son usados para soldaduras, son generalmente identificados como exámenes con **haz angular**, o

(c) ondas de corte de haz angular, donde los ángulos de incidencia en las zapatas, producen solo ondas de corte refractadas en el material bajo examen y son generalmente identificados como exámenes de **haz angular**.

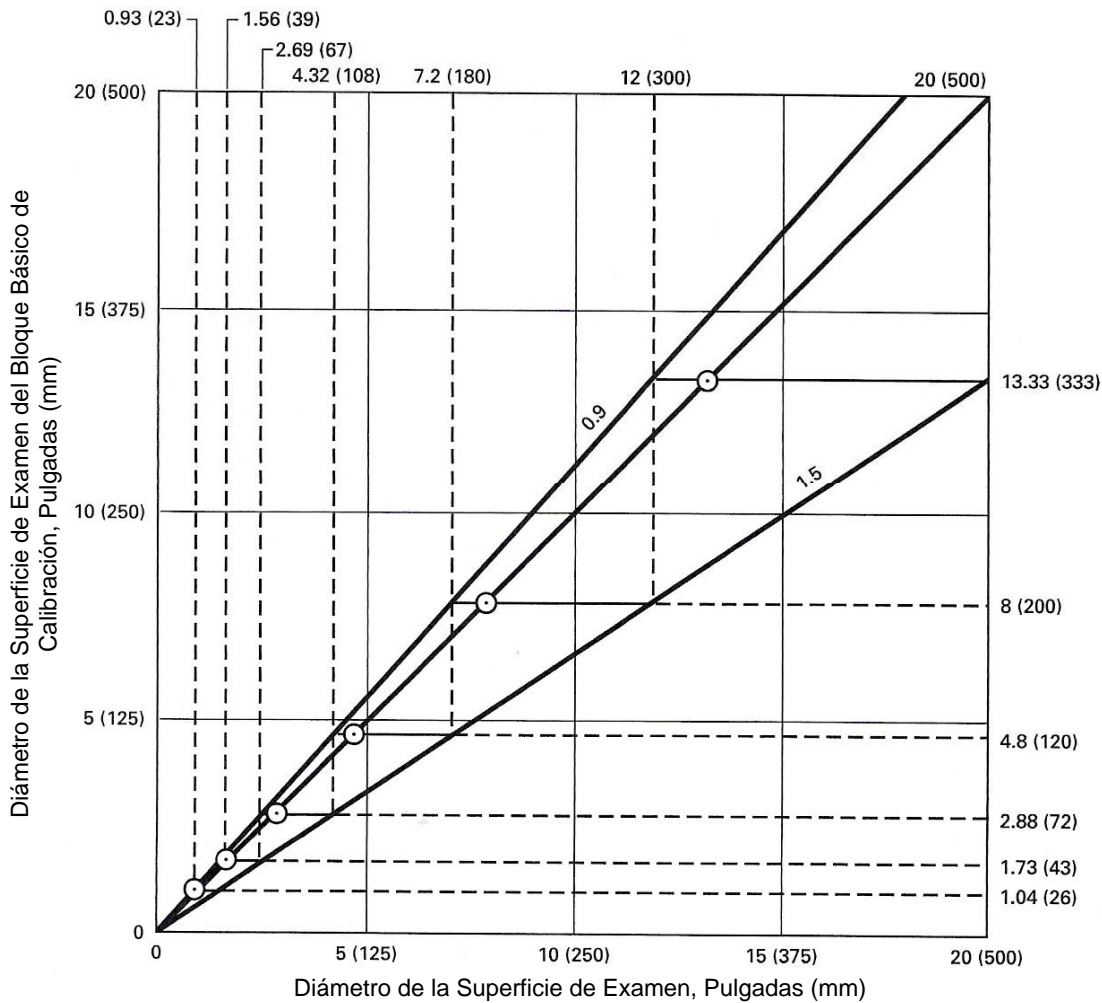
Pueden ser usadas las técnicas por contacto o por inmersión. Los materiales base y/o soldaduras, con estructuras metalúrgicas que producen atenuaciones variables, pueden requerir que sean usados haces de ondas longitudinales en lugar de ondas de corte. Adicionalmente, las técnicas de imagen computarizada pueden mejorar la detectabilidad y la evaluación de indicaciones.

Pueden ser usadas otras técnicas o tecnología, de las cuales se pueda demostrar que producen sensibilidad y detectabilidad equivalente o mejor para el examen, usando palpadores con más de dos elementos transductores,. La demostración debe ser de acuerdo con el Artículo 1, T-150(a).

#### **T-451 Materiales de Grano Grueso**

Los exámenes ultrasónicos de aceros de alta aleación y depósitos de soldadura de aleaciones con alto contenido de níquel y soldaduras de metales diferentes, entre aceros al carbono y aceros de alta aleación y aleaciones de alto contenido de níquel son usualmente más difíciles que los exámenes de soldadura ferrítica. Las dificultades con exámenes ultrasónicos pueden ser causadas por una estructura inherente de grano grueso y/o una estructura orientada en dirección preferencial, lo cual puede causar variaciones marcadas en atenuación, reflexión y refracción en los bordes de grano y cambios en la velocidad dentro de los granos. Usualmente es necesario modificar y/o suplementar las provisiones de este Artículo, de acuerdo con T-150(a), cuando se examinan tales soldaduras en esos materiales. Accesorios adicionales, los cuales pueden ser necesarios, son probetas soldadas con reflectores de referencia en la soldadura depositada y transductores con elemento sencillo o duales con haz angular de onda longitudinal.

FIGURA T-434.1.7.2 RELACIÓN DE LÍMITES PARA SUPERFICIES CURVAS



**T-452 Técnicas de Imagen Computarizada**

El mayor atributo de las Técnicas Computarizadas de Imagen (CITs) es su efectividad cuando son usadas para caracterizar y evaluar indicaciones; sin embargo, las CITs también pueden ser usadas para efectuar las funciones básicas de barrido, requeridas para la detección de fallas. El análisis de datos procesados por computadora y las técnicas de presentación son usados en conjunto con mecanismos de barrido automático o semi-automático, para producir imágenes de las fallas de dos o tres dimensiones, lo cual proporciona la capacidad de mejorar, para el examen de componentes y estructuras críticas. El procesado por computadora puede ser usado para evaluar cuantitativamente el tipo, tamaño, forma, localización y orientación de las fallas detectadas por el examen ultrasónico u otros métodos de END. Las descripciones para algunas Técnicas Computarizadas de Imagen que pueden ser usadas son proporcionadas en el Apéndice E No Obligatorio.

**T-460 CALIBRACIÓN**

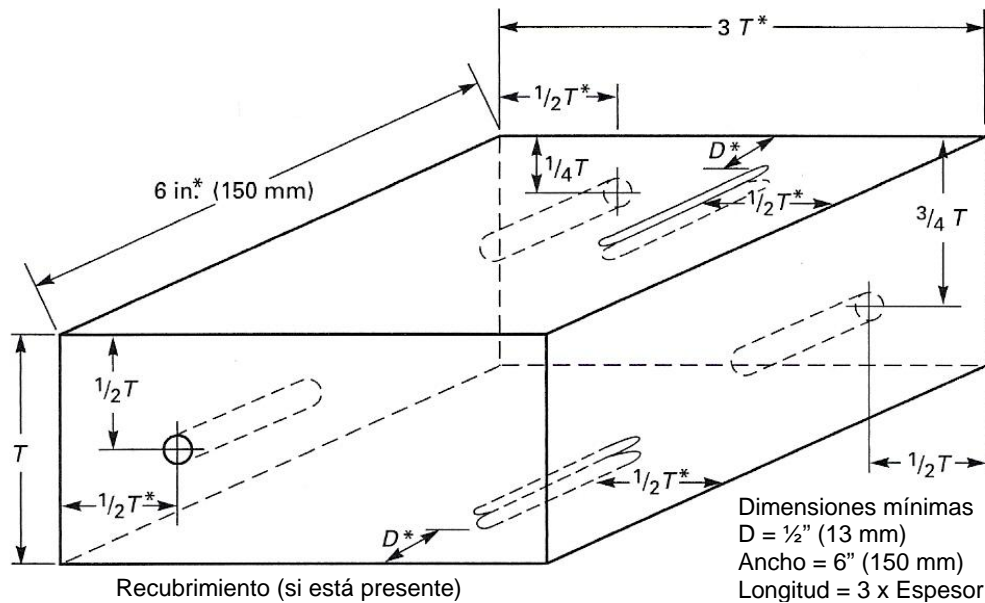
**T-461 Verificaciones de la Linealidad del Instrumento**

Los requisitos de T-461.1 y T-461.2 deben cumplirse a intervalos que no excedan de tres meses para instrumentos de tipo análogo y de un año para instrumentos de tipo digital, o antes del primer uso y de ahí en adelante.

**T-461.1 Linealidad de la Altura de Pantalla.** La linealidad de la altura de la pantalla del instrumento ultrasónico debe ser evaluada de acuerdo con el Apéndice Obligatorio I.

**T-461.2 Linealidad del Control de Amplitud.** La linealidad del control de amplitud del instrumento ultrasónico debe ser evaluada de acuerdo con el Apéndice Obligatorio II.

FIGURA T-434.2.1 BLOQUES DE CALIBRACIÓN PARA COMPONENTES QUE NO SEAN TUBERÍA



Espesor de la soldadura (t) Pulgadas (mm)	Espesor del Bloque de Calibración (T) pulgadas (mm)	Diámetro del Barreno Pulgadas (mm)	Dimensiones de la ranura Pulgadas (mm)
Hasta 1 (25)	3/4 (19) o t	3/32 (2.5)	Profundidad = 2% T Ancho = 1/4 (6) máximo Longitud = 1 (25) mínimo
Arriba de 1 (25) hasta 2 (50)	1-1/2 (38) o t	1/8 (3)	
Arriba de 2 (50) hasta 4 (100)	3 (75) o t	3/16 (5)	
Arriba de 4 (100)	t ± 1 (25)	[Nota (1)]	

\* Dimensión mínima.

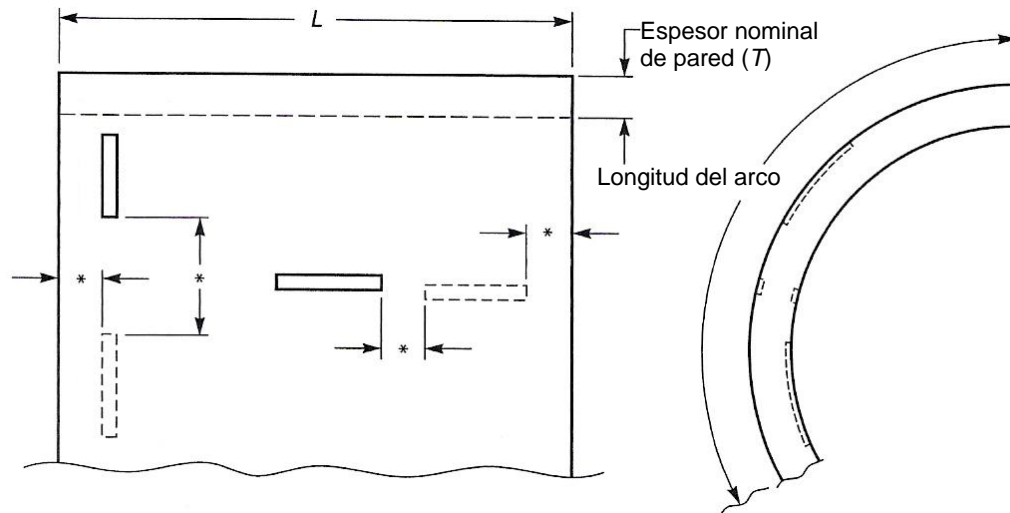
**NOTAS GENERALES:**

- (a) Los agujeros deben ser barrenados y rimados a una profundidad mínima de 1.5" (38 mm), esencialmente paralelos a la superficie de examen.
- (b) Para componentes iguales o menores de 20" (500 mm) de diámetro, el diámetro del bloque de calibración debe cumplir con los requisitos de T-434.1.7.2.  
Deben ser usados dos juegos de reflectores de calibración (barrenos o ranuras) orientados a 90° cada uno del otro. Alternativamente, pueden ser usados dos bloques de calibración curvos.
- (c) La tolerancia para el diámetro de los barrenos debe ser de  $\pm 1/32''$  (0.8 mm). La tolerancia para la localización de los barrenos a través del espesor del bloque de calibración (por ejemplo, la distancia desde la superficie de examen) debe ser de  $\pm 1/8''$  (3 mm).
- (d) Para bloques con espesor menor de 3/4" (19 mm), se requiere solo el barreno de 1/2 T y las ranuras superficiales.
- (e) Todos los barrenos pueden estar localizados en la misma cara (lado) del bloque de calibración, con la condición que se tenga cuidado para localizar todos los reflectores (barrenos, ranuras) para evitar que un reflector afecte la indicación de otro reflector durante la calibración. Las ranuras también pueden estar en el mismo plano, como alineadas con los barrenos (Ver el Apéndice J, Figura J-431). Como en la Figura J-431, se debe proveer un número suficiente de barrenos para las calibraciones con haz angular y haz recto a profundidades de 1/4 T, 1/2 T y 3/4 T.
- (f) La profundidad mínima de la ranura debe ser de 1.6% T y la profundidad máxima debe ser de 2.2% T más el espesor del recubrimiento si está presente.
- (g) El ancho máximo de la ranura no es crítico. Las ranuras pueden ser hechas por EDM o con herramientas de hasta 1/4" (6.4 mm) de diámetro.
- (h) El espesor, t, es el espesor nominal del material, para soldaduras sin refuerzo o, para soldaduras con refuerzo, el espesor nominal del material más el refuerzo estimado de la soldadura, que no exceda el máximo permitido por la Sección de referencia del Código. Cuando están involucrados dos o más espesores de material base, el espesor del bloque de calibración, T, debe ser determinado por el promedio de los espesores de la soldadura; alternativamente, puede ser usado un bloque de calibración basado en el espesor mayor del material base, con la condición que el tamaño del reflector de referencia esté basado en el promedio de los espesores de las soldaduras.

**NOTA:**

- (1) Para cada incremento en el espesor de la soldadura de 2" (50 mm), o fracción de ello, sobre 4" (100 mm), el diámetro del barreno debe incrementarse en 1/16" (1.5 mm).

FIGURA T-434.3 BLOQUE DE CALIBRACIÓN PARA TUBERÍA



\* Las ranuras no deben estar localizadas a menos de  $T$  o 1" (25 mm), lo que sea mayor, de cualquier borde del bloque o de otras ranuras.

**NOTAS GENERALES:**

- (a) La longitud mínima de del bloque de calibración ( $L$ ) debe ser de 8" (200 mm) u  $8T$ , lo que sea mayor.
- (b) Para diámetros exteriores de 4" (100 mm) o menores, la longitud mínima del arco debe ser de  $270^\circ$ . Para diámetros exteriores mayores de 4" (100 mm), la longitud mínima del arco debe ser de 8" (200 mm) o  $3T$ , lo que sea mayor.
- (c) La profundidad de las ranuras debe ser como mínimo del  $8\%T$  y como máximo del  $11\%T$ . El ancho de las ranuras debe ser de  $1/4"$  (6 mm) como máximo. La longitud de las ranuras debe ser como mínimo de 1" (25 mm).
- (d) El ancho máximo de las ranuras no es crítico. Las ranuras pueden ser hechas por EDM o con herramientas de hasta  $1/4"$  (6 mm) de diámetro.
- (e) La longitud de las ranuras debe ser suficiente para obtener una calibración con un mínimo de relación señal ruido de 3 a 1.

**T-462 Requisitos Generales de Calibración**

**T-462.1 Sistema Ultrasonico.** Las calibraciones deben incluir el sistema ultrasonico completo y deben ser realizadas antes de usar el sistema dentro del rango de espesores examinado.

**T-462.2 Superficie de Calibración.** Las calibraciones deben ser realizadas desde la superficie (con recubrimiento o sin recubrimiento; convexa o cóncava) correspondiente a la superficie del componente desde la cual será efectuado el examen.

**T-462.3 Acoplante.** El mismo acoplante que será usado durante el examen debe ser usado para la calibración.

**T-462.4 Zapatas de Contacto.** Las mismas zapatas de contacto que serán usadas durante el examen deben ser usadas para la calibración.

**T-462.5 Controles del Instrumento.** Cualquier control que afecte la linealidad del instrumento (por ejemplo, filtros, rechazo o recorte) debe permanecer en la misma posición durante la calibración, las verificaciones de la calibración, las verificaciones de la linealidad y el examen.

**T-462.6 Temperatura.** Para el examen por contacto, la diferencia de temperaturas, entre el bloque de calibración y las superficies de examen, debe estar dentro de  $25^\circ\text{F}$  ( $14^\circ\text{C}$ ). Para el examen por inmersión, la temperatura del acoplante usado en la calibración debe estar dentro de  $25^\circ\text{F}$  ( $14^\circ\text{C}$ ) de la temperatura del acoplante usado para el examen.

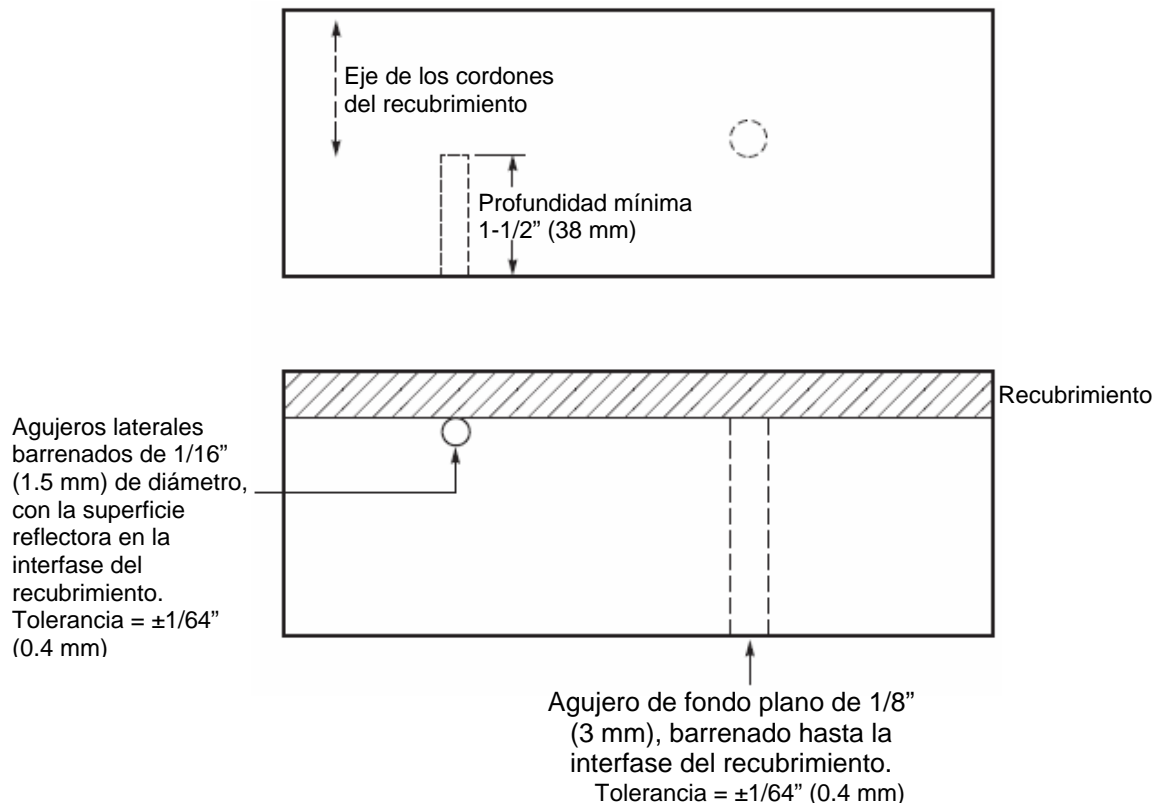
**T-463 Calibración para Componentes que no sean Tubería**

**T-463.1 Calibración del Sistema para las Técnicas de Distancia Amplitud**

**T-463.1.1 Bloque(s) de Calibración.** Las calibraciones deben realizarse utilizando el bloque de calibración mostrado en la Figura T-434.2.1.

**T-463.1.2 Técnicas.** Los Apéndices No Obligatorios B y C proporcionan técnicas generales para las calibraciones del haz angular, con onda de corte, y de haz recto. Pueden ser usadas otras técnicas.

FIGURA T-434.4.1 BLOQUE DE CALIBRACIÓN PARA LA TÉCNICA UNO



El haz angular debe ser dirigido hacia el reflector de calibración que produzca la máxima respuesta dentro del área de interés. El control de ganancia debe ser ajustado para que la respuesta se encuentre en el 80%  $\pm$ 5% de la altura total de pantalla. Este debe ser el nivel de referencia primario. Después, el palpador debe ser manipulado, sin efectuar cambios en los ajustes del instrumento, para obtener las máximas respuestas de los otros reflectores de calibración a sus trayectorias del haz, para generar la curva de corrección distancia-amplitud (DAC). Estas calibraciones deben establecer la calibración del rango de distancia y la corrección distancia-amplitud.

#### T-463.1.3 Calibración del Haz Angular.

Como sea aplicable, la calibración debe proporcionar las siguientes mediciones (Los Apéndices No Obligatorios B y M contienen técnicas generales):

- calibración del rango de distancia;
- distancia-amplitud;
- medición de la amplitud del eco producido por las ranuras superficiales del bloque básico de calibración.

Cuando es usado un dispositivo electrónico de corrección de distancia-amplitud, las respuestas de referencia primaria del bloque básico de calibración deben ser igualadas sobre el rango de distancia que

será empleado en el examen. La línea de respuesta igualada debe estar a una altura de pantalla de entre el 40% y el 80% de la altura total de la pantalla.

**T-463.1.4 Calibración del Haz Recto.** La calibración debe proporcionar las siguientes mediciones (El Apéndice No Obligatorio C proporciona una técnica general):

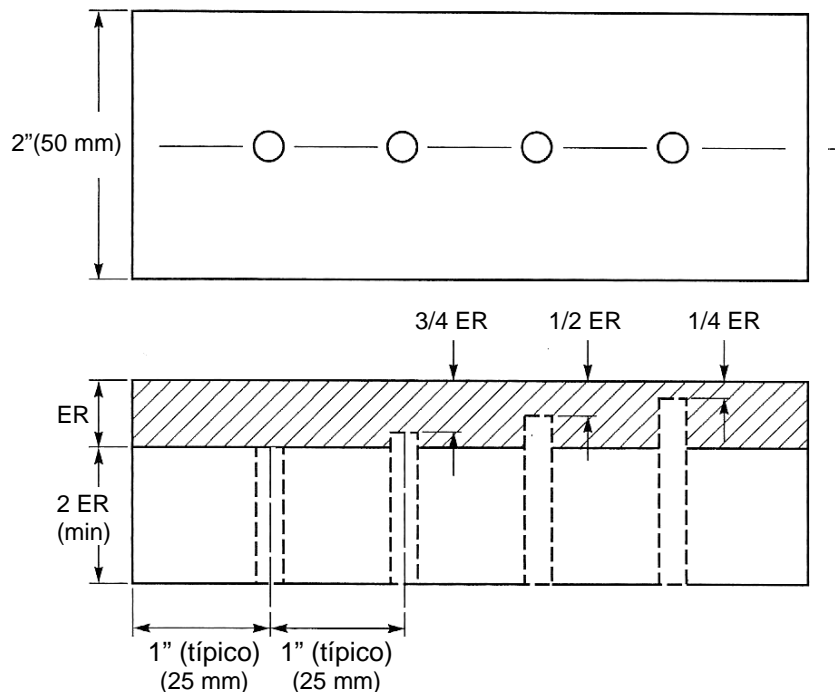
- calibración del rango de distancia, y;
- corrección distancia-amplitud en el área de interés.

Cuando es usado un dispositivo electrónico de corrección de distancia-amplitud, las respuestas de referencia primaria del bloque básico de calibración deben ser igualadas sobre el rango de distancia que será empleado en el examen. La línea de respuesta igualada debe estar a una altura de pantalla de entre el 40% y el 80% de la altura total de la pantalla.

#### T-463.2 Calibración del Sistema para Técnicas que no Corresponden a Distancia-Amplitud.

La calibración incluye todas aquellas acciones requeridas para asegurar que la sensibilidad y la exactitud de la amplitud de la señal y el tiempo, proporcionados por el sistema de examen (ya sea la presentación, el registro o el procesado automático), son repetitivos de un examen a otro examen. La calibración puede efectuarse usando bloques

FIGURA T-434.4.2.1 BLOQUE DE CALIBRACIÓN ALTERNO PARA LA TÉCNICA UNO



NOTAS GENERALES: Todos los barrenos de fondo plano son de 1/8" (3 mm) de diámetro. Las tolerancias para el diámetro y profundidad de los agujeros con respecto al lado del bloque que tiene el recubrimiento son de  $\pm 1/64"$  (0.4 mm).

básicos de calibración con reflectores artificiales o discontinuidades. Algunos métodos son proporcionados en los Apéndices No Obligatorios B y C. Otros métodos de calibración pueden incluir el ajuste de sensibilidad basado en el material de examen, etc.

#### T-464 Calibración para Tubería

##### T-464.1 Calibración del Sistema para las Técnicas de Distancia Amplitud

**T-464.1.1 Bloque(s) de Calibración.** Las calibraciones deben realizarse utilizando el bloque de calibración mostrado en la Figura T-434.3.

**T-464.1.2 Calibración del Haz Angular.** El haz angular debe ser dirigido hacia el reflector de calibración que produzca la máxima respuesta. El control de ganancia debe ser ajustado para que la respuesta se encuentre en el 80%  $\pm 5\%$  de la altura total de pantalla. Este debe ser el nivel de referencia primario. Después, el palpador debe ser manipulado, sin efectuar cambios en los ajustes del instrumento, para obtener las máximas respuestas de los otros reflectores de calibración en los incrementos de distancia necesarios para generar una curva de corrección distancia-amplitud (DAC) de tres puntos. Deben ser establecidas calibraciones separadas

para las ranuras axiales y circunferenciales. Estas calibraciones deben establecer la calibración del rango de distancia y la corrección distancia-amplitud.

##### T-464.1.3 Calibración del Haz Recto.

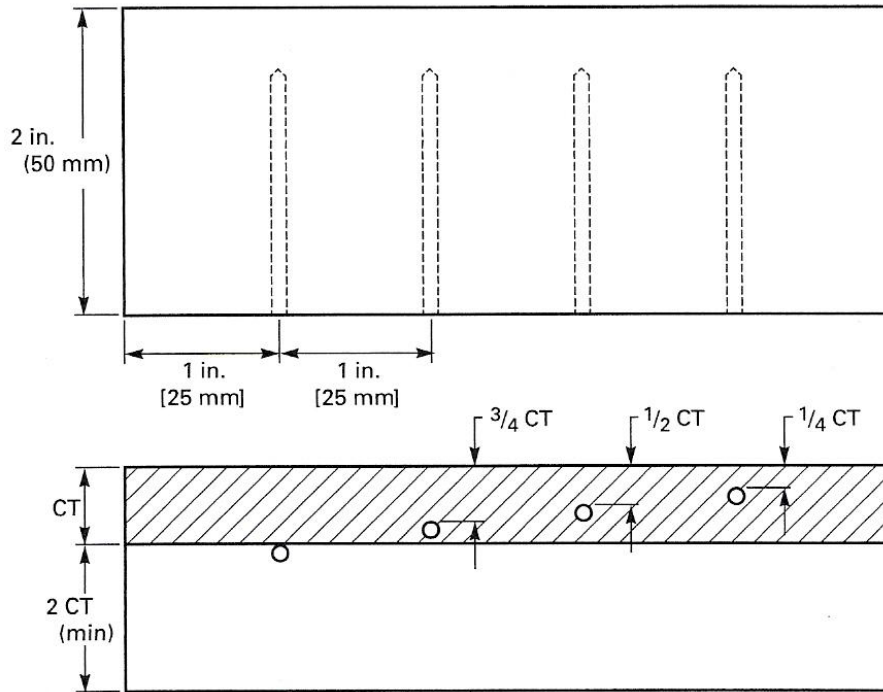
Cuando sea requerido, las calibraciones con haz recto deben ser realizadas con los requisitos del Apéndice No Obligatorio C usando barrenos laterales como reflectores de calibración alternos, de acuerdo con T-434.1.1. Esta calibración debe establecer la calibración del rango de distancia y la corrección distancia-amplitud.

##### T-464.2 Calibración del Sistema para Técnicas que no Corresponden a Distancia-Amplitud.

La calibración incluye todas aquellas acciones requeridas para asegurar que la sensibilidad y la exactitud de la amplitud de la señal y el tiempo, proporcionados por el sistema de examen (ya sea presentado, registrado o procesado automáticamente), se repiten de un examen a otro examen. La calibración puede ser usando bloques básicos de calibración con reflectores artificiales o discontinuidades. Algunos métodos son proporcionados en los Apéndices No Obligatorios B y C. Otros métodos de calibración pueden incluir el ajuste de sensibilidad basado en el material de examen, etc.

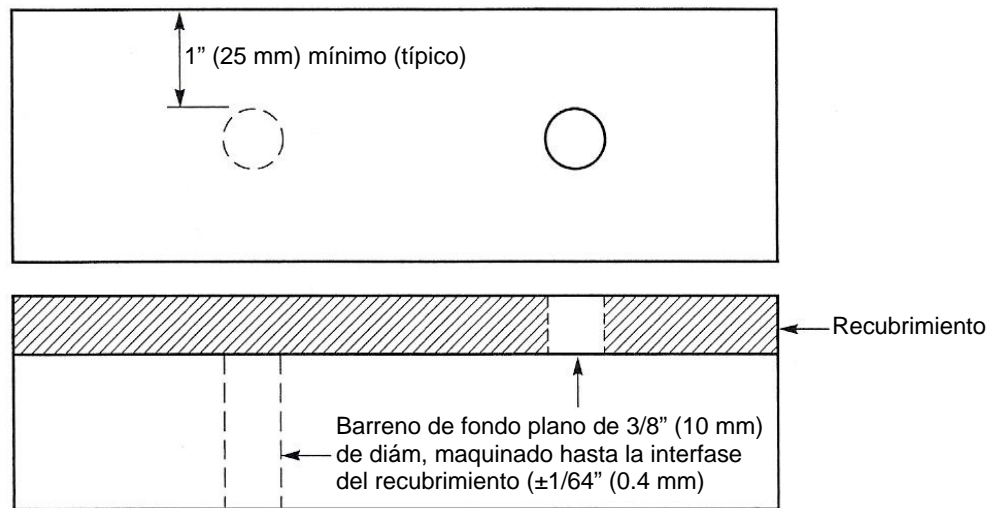


FIGURA T-434.4.2.2 BLOQUE DE CALIBRACIÓN ALTERNO PARA LA TÉCNICA UNO



NOTA GENERAL: Todos los barrenos laterales son de 1/16" (1.5 mm) de diámetro. La tolerancia en la ubicación de los barrenos es de  $\pm 1/64"$  (0.4 mm). Todos agujeros son barrenados a una profundidad mínima de 1.5" (38 mm).

FIGURA T-434.4.3 BLOQUE DE CALIBRACIÓN ALTERNO PARA LA TÉCNICA DOS



## T-465 Calibración para Recubrimiento

**T-465.1 Calibración para la Técnica Uno.** Las calibraciones deben ser realizadas utilizando el bloque de calibración mostrado en la Figura T-434.4.1. El palpador debe ser colocado de tal forma que se obtenga la máxima respuesta del reflector de calibración. El control de ganancia debe ser ajustado para que la respuesta se encuentre en el 80%  $\pm$ 5% de la altura total de pantalla. Este debe ser el nivel de referencia primario.

**T-465.2 Calibración para la Técnica Dos.** Las calibraciones deben ser realizadas utilizando el bloque de calibración mostrado en la Figura T-434.4.3. El palpador debe ser colocado de tal forma que se obtenga la máxima respuesta de la primera indicación que se pueda resolver del fondo del reflector de referencia. La ganancia debe ser ajustada para que la respuesta se encuentre en el 80%  $\pm$ 5% de la altura total de pantalla. Este debe ser el nivel de referencia primario.

**T-465.3 Calibración Alterna para la Técnica Uno.** Las calibraciones deben ser realizadas utilizando los bloques de calibración mostrados en las Figuras T-434.4.2.1 o T-434.4.2.2. La calibración debe ser realizada como sigue:

(a) El palpador debe ser colocado de tal forma que se obtenga la máxima respuesta del reflector, el que produce la mayor amplitud.

(b) La ganancia debe ser ajustada para que la respuesta se encuentre en el 80%  $\pm$ 5% de la altura total de pantalla. Este debe ser el nivel de referencia primario. Marcar el pico de la indicación sobre la pantalla.

(c) Sin cambios en los ajustes del instrumento, colocar el palpador para obtener las máximas respuestas de cada uno de los otros reflectores y marcar sus picos sobre la pantalla.

(d) Conectar las marcas en la pantalla para cada uno de los reflectores para obtener una curva DAC.

## T-466 Confirmación de la Calibración

**T-466.1 Cambios en el Sistema.** Cuando es cambiada cualquier parte del sistema de examen, debe efectuarse una verificación de la calibración sobre el bloque básico de calibración, para verificar que los puntos del rango de barrido y los ajustes de sensibilidad satisfacen los requisitos de T-466.3.

**T-466.2 Verificaciones Periódicas del Examen.** Una verificación de la calibración, en al menos uno de los reflectores básicos en el bloque básico de calibración o una verificación usando un simulador,

se debe hacer al final de cada uno de los exámenes o series de exámenes similares, cada cuatro horas durante el examen, y cuando el personal que efectúa el examen sea cambiado (excepto para equipo automático). Los puntos del rango de distancia y los ajustes de sensibilidad registrados deben satisfacer los requisitos de T-466.3

**T-466.2.1 Verificaciones con simulador.** Cualquier verificación con simulador que sea usada, debe ser correlacionada con la calibración original en el bloque básico de calibración durante la calibración original. Las verificaciones con simulador puede usar diferentes tipos de reflectores o bloques de calibración (tal como el bloque IIW) y / o simulación electrónica. Sin embargo, la simulación usada debe estar completamente identificada en la(s) hoja(s) de calibración. La verificación con simulador debe ser hecha en el sistema completo de examen. El sistema completo no tiene que ser verificado en una operación; sin embargo, para su verificación, el palpador debe estar conectado al instrumento ultrasónico y verificado contra un reflector de calibración. La exactitud de la verificación con simulador debe ser confirmada, usando el bloque básico de calibración, al final de cada período de uso intenso o cada tres meses, lo que sea menor.

## T-466.3 Valores Aceptables de la Confirmación.

**T-466.3.1 Puntos del Rango de Distancia.** Si cualquier punto del rango de barrido se ha movido sobre la línea de barrido por más del 10% de la lectura de distancia o del 5% del barrido completo, lo que sea mayor, corregir la calibración del rango de barrido y registrar esa corrección en los registros del examen. Todas las indicaciones registradas desde la última calibración válida o verificación de la calibración deben ser reexaminadas y sus valores deben cambiarse en la hoja de datos o registrarse nuevamente.

**T-466.3.2 Ajustes de Sensibilidad.** Si cualquier ajuste de la sensibilidad ha cambiado por más del 20% o 2 dB de su amplitud, corregir la calibración de sensibilidad y registrar esa corrección en los registros del examen. Si el ajuste de sensibilidad ha disminuido, todos los datos registrados desde la última verificación válida de la calibración deben ser borrados y el área cubierta por los datos borrados debe ser reexaminada. Si el ajuste de sensibilidad se ha incrementado, todas las indicaciones registradas desde la última calibración válida o verificación de la calibración deben ser reexaminadas y sus valores deben cambiarse en la hoja de datos o registrados nuevamente.

**T-470 EXAMEN****T-471 Requisitos Generales del Examen**

**T-471.1 Cobertura del Examen.** El volumen que sea barrido debe ser examinado moviendo el palpador sobre la superficie de barrido, de tal forma que sea barrido del volumen completo de examen para cada uno de los palpadores requeridos.

(a) Cada paso del palpador debe ser traslapado un mínimo del 10% de la dimensión paralela del transductor (elemento piezoeléctrico), a la dirección del barrido. Como una alternativa, si la dimensión paralela del haz ultrasónico, con respecto a la dirección del barrido, se mide de acuerdo con el Apéndice No Obligatorio B, B-466, reglas para medir la Divergencia del Haz, cada paso del palpador puede proporcionar el traslape de la dimensión mínima determinada del haz.

(b) Se permite la oscilación del palpador si puede demostrarse que se tiene la cobertura del traslape.

**T-471.2 Frecuencia de Repetición de Pulsos.**

La frecuencia de repetición de pulsos debe ser lo bastante pequeña para asegurar que una señal de un reflector, localizado a la máxima distancia en el volumen examinado, regresará al palpador antes que el siguiente pulso eléctrico llegue al transductor.

**T-471.3 Velocidad de Movimiento del Palpador.**

La velocidad de movimiento del palpador (velocidad de barrido) no debe exceder de 6 pulgadas/s (150mm/s), a menos que:

(a) La frecuencia de repetición de pulsos del instrumento ultrasónico es suficiente para que el pulso eléctrico llegue al palpador al menos seis veces dentro del tiempo necesario para mover la mitad de la dimensión del transductor (elemento piezoeléctrico) paralela a la dirección del barrido a la velocidad máxima de barrido; o,

(b) se realiza una calibración dinámica en reflectores múltiples, los cuales se encuentran dentro de  $\pm 2$  dB con respecto a una calibración estática, y la frecuencia de repetición de pulsos cumple los requisitos de T-471.2.

**T-471.4 Nivel de Sensibilidad de Barrido****T-471.4.1 Técnicas de Distancia-Amplitud.**

El nivel de sensibilidad de barrido debe ser ajustado a un mínimo<sup>3</sup> de 6 dB mayor que el ajuste de ganancia del nivel de referencia.

**T-471.4.2 Técnicas que No Corresponden a Distancia-Amplitud.** El nivel de ganancia usado para el barrido debe ser apropiado para la configuración que está siendo examinada y debe ser

capaz de detectar los reflectores de calibración a la velocidad máxima de barrido.

**T-471.5 Preparación de la Superficie.** Cuando la superficie del material base o de la soldadura interfiera con el examen, el material base o la soldadura debe ser preparado, como sea necesario, para permitir el examen.

**T-472 Técnica de Distancia-Amplitud para Juntas Soldadas**

Cuando la Sección de referencia del Código especifique una técnica de distancia-amplitud, las juntas soldadas deben ser barridas con un palpador de haz angular en dirección paralela y transversal (4 barridos) con respecto al eje de la soldadura. Antes de realizar los exámenes con haz angular, debe realizarse un examen con haz recto sobre el volumen del material base a través del cual viajará el haz angular para localizar cualquier reflector que pueda limitar la habilidad del haz angular para examinar el volumen de la soldadura.

**T-472.1 Técnica de Haz Angular**

**T-472.1.1 Haz Angular.** El palpador y el haz angular seleccionado deben ser de 45°, o un ángulo apropiado para la configuración que está siendo examinada, y debe ser capaz de detectar los reflectores de calibración, sobre la trayectoria requerida del haz angular.

**T-472.1.2 Reflectores Paralelos a la Soldadura.** El haz angular debe ser dirigido a aproximadamente ángulos rectos con respecto al eje de la soldadura desde ambos lados de la soldadura (por ejemplo, desde dos direcciones) sobre la misma superficie, cuando sea posible. El palpador debe ser manipulado de tal forma que la energía ultrasónica pase a través del volumen requerido de la soldadura y del material base adyacente.

<sup>3</sup> Cuando la Sección de Referencia del Código requiere la detección y evaluación de todas las indicaciones que excedan el 20% de la curva DAC, la ganancia debería ser incrementada en una cantidad adicional para que ninguna indicación de los reflectores de calibración sea menor que el 40% de la altura total de pantalla. Como una alternativa, el nivel de sensibilidad de barrido puede ser ajustado a 14 dB más que el ajuste de ganancia del nivel de referencia. (Esta ganancia adicional hace que la curva DAC de referencia se incremente un 20% para que las indicaciones que excedan en 20% de la curva DAC puedan ser fácilmente identificadas y evaluadas).

**T-472.1.3 Reflectores Transversales al cordón de Soldadura.** El haz angular debe ser dirigido esencialmente paralelo al eje de la soldadura. El palpador debe ser manipulado de tal forma que la energía ultrasónica pase a través del volumen requerido de la soldadura y del material base adyacente. El palpador debe ser rotado 180° y el examen debe repetirse.

Si la cubierta (corona) de la soldadura no es maquinada o esmerilada al ras, el examen debe realizarse desde el metal base sobre ambos lados de la corona de la soldadura en ambas direcciones del eje de la soldadura.

#### **T-472.2 Soldaduras con Acceso Restringido.**

Las soldaduras que no puedan ser completamente examinadas desde dos direcciones, usando la técnica de haz angular (por ejemplo, juntas en esquina y en T), también deben ser examinadas, si es posible, con una técnica de haz recto. Estas áreas de acceso restringido deben ser registradas en el reporte del examen.

**T-472.3 Soldaduras Inaccesibles.** Las soldaduras que no puedan ser examinadas desde al menos un lado (borde) usando la técnica de haz angular, deben ser registradas en el reporte del examen. Para soldaduras de bridas, la soldadura puede ser examinada con un haz recto o con ondas longitudinales con ángulo bajo, desde la cara de la brida con la condición que pueda ser cubierto el volumen de examen.

### **T-473 Técnicas para Recubrimientos**

Las técnicas descritas en estos párrafos deben ser usadas cuando sea requerido el examen de recubrimientos metálicos soldados por una Sección de referencia del Código. Cuando sea requerido el examen para detectar faltas de adherencia e indicaciones de fallas en el recubrimiento, debe ser usada la Técnica Uno. Cuando sea requerido el examen solo para detectar faltas de adherencia, puede ser usada la Técnica Dos.

**T-473.1 Técnica Uno.** El examen debe realizarse desde la superficie del recubrimiento, con el plano que separa los elementos del palpador dual orientado en dirección paralela al eje de los cordones de soldadura. El palpador debe ser movido perpendicularmente a la dirección de la soldadura.

**T-473.2 Técnica Dos.** El examen puede realizarse desde la superficie recubierta o desde la superficie sin recubrir y el palpador puede moverse perpendicular o paralelamente a la dirección de la soldadura.

### **T-474 Técnicas que No Corresponden a Distancia-Amplitud**

El número de ángulos y direcciones de los barridos deben indicarse en el procedimiento y debe demostrarse la habilidad para detectar las discontinuidades que tengan el tamaño mínimo por lo que deban ser rechazadas, de acuerdo con el estándar de aceptación de la Sección de referencia del Código. Las técnicas detalladas deben ser en cumplimiento con los requisitos de la Sección de referencia del Código.

### **T-480 EVALUACIÓN**

#### **T-481 Requisitos Generales**

Se reconoce que no todos los reflectores ultrasónicos indican fallas, debido a ciertas discontinuidades metalúrgicas y condiciones geométricas pueden producir indicaciones que no sean relevantes. Incluidas en esta categoría se encuentran a segregaciones de placas en la zona afectada por el calor, que vienen siendo reflectoras después de la fabricación. Con el examen de haz recto, estas pueden aparecer como indicaciones puntuales o lineales. Con el examen de haz angular, las indicaciones que se determina se originan por condiciones superficiales (tales como la geometría de la raíz de la soldadura) o variaciones en la estructura metalúrgica en materiales austeníticos (tales como la interfase del recubrimiento en soldadura de manual a automática) pueden ser clasificadas como indicaciones geométricas. La identidad, la máxima amplitud, la localización y la extensión del reflector causan una indicación geométrica que debe ser registrada. [Por ejemplo: adherencia interna, 200% de la DAC, 1" (25 mm) arriba de la línea central de la soldadura, en la superficie interna, desde 90° a 95°]. Se deben seguir los pasos indicados a continuación para clasificar una indicación como geométrica:

(a) Interpretar el área que contiene el reflector, de acuerdo con el procedimiento de examen aplicable.

(b) Trazar y verificar las coordenadas del reflector. Preparar un dibujo de la sección trasversal, que muestre la posición del reflector y las discontinuidades superficiales tales como la raíz y el contorno.

(c) Revisar los dibujos de fabricación o de preparación de la soldadura. Otras técnicas ultrasónicas o métodos de exámenes no destructivos pueden ayudar para determinar la posición real del reflector, el tamaño y la orientación.

**T-482 Nivel de Evaluación**

**T-482.1 Técnicas de Distancia-Amplitud.** Todas las indicaciones mayores al 20% del nivel de referencia deben ser investigadas en toda su extensión para que puedan ser evaluadas en términos del criterio de aceptación de la Sección de referencia del Código.

**T-482.2 Técnicas que No Corresponden a Distancia-Amplitud.** Todas las indicaciones más largas que el 40% del tamaño de la falla que debe ser rechazada deben ser investigadas en toda su extensión para que puedan ser evaluadas en términos del criterio de aceptación de la Sección de referencia del Código.

**T-483 Evaluación de Reflectores Laminares**

Los reflectores evaluados como reflectores laminares en el material base, los cuales interfieran con el barrido del volumen examinado deben requerir que la técnica de examen con haz angular sea modificada, de tal forma que el máximo volumen factible sea examinado, y debe registrarse en el registro del examen (T-493).

**T-484 Evaluaciones Alternativas**

Los reflectores cuyas dimensiones excedan los requisitos de la Sección de referencia del Código pueden ser evaluados con cualquier estándar alterno proporcionado por la Sección de referencia del Código.

**T-490 DOCUMENTACIÓN****T-491 Registro de Indicaciones**

**T-491.1 Indicaciones que No sean Rechazadas.** Las indicaciones que no sean rechazadas deben ser registradas como sea especificado por la Sección de referencia del Código.

**T-491.2 Indicaciones que sean Rechazadas.** Las indicaciones que sean rechazadas deben ser registradas. Como mínimo, debe ser registrado el tipo de indicación (por ejemplo, grieta, falta de fusión, escoria, etc.), su localización y su extensión (por ejemplo, su longitud).

**T-492 Registros del Examen**

Para cada examen ultrasónico, la siguiente información debe ser registrada:

- (a) identificación del procedimiento y revisión;

- (b) identificación del instrumento ultrasónico (incluyendo número de serie del fabricante);

- (c) identificación del(de los) palpador(es) (incluyendo número de serie del fabricante, frecuencia y tamaño);

- (d) haz angular usado;

- (e) acoplante usado, marca o tipo;

- (f) cable(s) coaxial(es) usado(s), tipo y longitud;
- (g) equipo especial cuando sea usado (palpadores, zapatas, cuñas, equipo de barrido automático, equipo de registro, etc.);

- (h) identificación del programa computarizado y revisión, cuando sea usado;

- (i) identificación del bloque de calibración;

- (j) identificación del bloque de simulación y simulador electrónico, cuando sean usados;

- (k) ganancia del nivel de referencia del instrumento y, si son usados, los ajustes del amortiguamiento y del rechazo;

- (l) datos de calibración [incluyendo reflector(es) de referencia, amplitud de las indicaciones y lectura(s) de distancia];

- (m) correlación de los datos del bloque de simulación y del simulador electrónico, cuando sea usado, con la calibración inicial;

- (n) identificación y localización de la soldadura o volumen explorado;

- (o) superficie(s) desde la(s) cual(es) se condujo el examen, incluyendo la condición de la superficie;

- (p) mapa o registro de las indicaciones detectadas que fueron rechazadas o áreas sanas;

- (q) áreas de acceso restringido o soldaduras inaccesibles;

- (r) identificación del personal que realizó el examen y, cuando sea requerido por la Sección de referencia del Código, el nivel de calificación;

- (s) fecha del examen.

Los párrafos del (b) al (m) pueden ser incluidos por separado en un registro de calibración, siempre y cuando la identificación del registro de calibración esté incluida en el registro del examen.

**T-493 Reporte**

Se debe hacer un reporte de los exámenes. El reporte debe incluir los registros indicados en T-491 y T-492. El reporte debe ser archivado y mantenido de acuerdo con la Sección de referencia del Código.

## ARTÍCULO 4 APÉNDICES OBLIGATORIOS

### APÉNDICE I — LINEALIDAD DE LA ALTURA DE PANTALLA

#### I-410 ALCANCE

Este Apéndice Obligatorio proporciona los requisitos para verificar la linealidad de la altura de pantalla y es aplicable para instrumentos ultrasónicos con presentaciones A.

#### I-440 REQUISITOS MISCELANEOS

Coloque un palpador de haz angular sobre un bloque de calibración, como se muestra en la Fig. I-440, de tal manera que las indicaciones de los barrenos de 1/2T y 3/4T proporcionen una relación de amplitudes de 2:1 entre las dos indicaciones. Ajustar la sensibilidad (ganancia) para que la indicación más alta sea colocada al 80% de la altura total de pantalla. Sin mover el palpador, ajustar la sensibilidad (ganancia) para colocar sucesivamente la indicación más alta desde el 100% hasta el 20% de la altura total de pantalla, en decrementos del 10% (o pasos de 2dB si no se dispone de un control fino), y se debe leer la altura de la indicación más pequeña en cada ajuste. La lectura debe ser del 50% con respecto a la indicación de mayor amplitud, dentro del 5% de la altura total de pantalla. Los ajustes y lecturas deben ser estimados lo más cercano al 1% de la escala completa. Alternativamente, se puede usar un palpador de haz recto sobre cualquier bloque de calibración que proporcione diferencia de amplitudes, con suficiente separación de señales para evitar el traslape de las dos señales.

### APÉNDICE II — LINEALIDAD DEL CONTROL DE AMPLITUD

#### II-410 ALCANCE

Este Apéndice Obligatorio proporciona los requisitos para verificar la linealidad del control de amplitud y es aplicable para instrumentos ultrasónicos con presentaciones A.

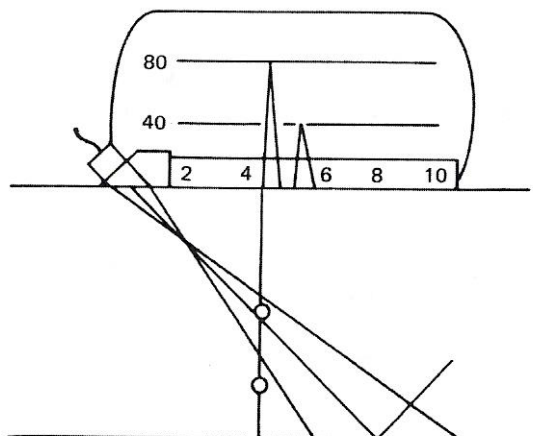
#### II-440 REQUISITOS MISCELANEOS

Coloque un palpador de haz angular sobre un bloque de calibración, como se muestra en la Fig. I-440 de tal manera que la indicación del barreno lateral de 1/2T sea maximizado en la pantalla. Ajustar la sensibilidad (ganancia) como se indica en la tabla siguiente. La indicación debe caer dentro de los límites especificados. Alternativamente, se pueden usar otros reflectores convenientes de cualquier bloque de calibración con palpadores de haz angular o haz recto.

Ajuste de la Indicación en % de la Pantalla Total	Cambio del Control de dB	Límites de la Indicación de la Pantalla Total
80%	-6 dB	32 a 48%
80%	-12 dB	16 a 24%
40%	+6 dB	64 a 96%
20%	+12 dB	64 a 96%

Los ajustes y lecturas deben ser estimados lo más cercano al 1% de la escala total.

FIGURA I-440 LINEALIDAD



# CÓDIGO ANSI / AWS D1.1 PARA ESTRUCTURAS SOLDADAS DE ACERO

## SECCIÓN 6—INSPECCIÓN

### PARTE F—INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO (UT) DE SOLDADURAS DE RANURA

#### 6.20 Generalidades

**6.20.1 Procedimientos y Estándares.** Los procedimientos y estándares establecidos en la Parte F deben gobernar la inspección por ultrasonido en soldaduras de ranura y zonas afectadas por el calor en espesores de entre 5/16 de pulgada y hasta 8 pulgadas [8 mm y hasta 200 mm] inclusive, cuando tal inspección es requerida por el párrafo 6.14 de éste código. Para espesores menores de 5/16 de pulgada [8 mm] o mayores de 8 pulgadas [200 mm], la inspección debe realizarse de acuerdo con el Anexo S. Estos procedimientos y estándares deben ser prohibidos para la inspección de conexiones T, Y o K de tubo a tubo.

**6.20.2 Variaciones.** El Anexo S es un ejemplo de una técnica alterna para realizar el examen ultrasónico de soldaduras de ranura. Variaciones en el procedimiento de inspección, equipo y estándares de aceptación no incluidas en la Parte F de la Cláusula 6 pueden ser usadas con la aprobación del Ingeniero responsable. Tales variaciones incluyen otros espesores, geometrías de la soldadura, dimensiones del transductor, frecuencias, acoplante, superficies pintadas, técnicas de inspección, etc. Tales variaciones aprobadas deben registrarse en los registros del contrato.

**6.20.3 Porosidad Tubular.** Para detectar posible porosidad tubular, se recomienda la inspección radiografía como complemento de la inspección ultrasónica en soldaduras ESW o EGW.

**6.20.4 Metal Base.** Estos procedimientos no son intentados para emplearse en la inspección de metales base. Sin embargo, las discontinuidades relacionadas con la soldadura (grietas, desgarros laminares, delaminaciones, etc.) en el metal base adyacente, las cuales no deberían aceptarse bajo lo indicado en éste código deben reportarse al Ingeniero responsable para su disposición.

#### 6.21 Requisitos de Calificación

Para satisfacer los requisitos de 6.14.6, la calificación del operador de la inspección ultrasónica debe incluir un examen específico y un examen práctico, los cuales deben basarse en los requisitos de éste código. Estos exámenes deben requerirle al operador de la inspección ultrasónica que demuestre la habilidad para aplicar las reglas de éste código en

la detección exacta y la disposición de las discontinuidades.

#### 6.22 Equipo Ultrasónico

**6.22.1 Requisitos del Equipo.** El instrumento ultrasónico debe ser del tipo pulso-eco, adecuado para usarse con transductores que oscilan a frecuencias entre 1 y 6 MHz. La presentación debe ser un barrido "A" con el trazo de la señal de video rectificada.

**6.22.2 Linealidad Horizontal.** La linealidad horizontal del instrumento de inspección debe ser calificada sobre la distancia total de la trayectoria del sonido que va a usarse en la inspección, de acuerdo con 6.30.1.

**6.22.3 Requisitos para los Instrumentos de Inspección.** Los instrumentos de inspección deben incluir estabilización interna para que, después de calentarse, no ocurra una variación de la respuesta mayor que  $\pm 1$  dB, cuando ocurra un cambio del 15% en el suministro nominal de voltaje o, en el caso de una batería, el tiempo total de duración de la carga. Debe haber una alarma o medidor que indique una caída en el voltaje de la batería antes que el instrumento se apague debido a la descarga total de la batería.

**6.22.4 Calibración de los Instrumentos de Inspección.** El instrumento de inspección debe tener un control de ganancia calibrado (atenuador) ajustable en pasos discretos de 1 ó 2 dB dentro de un intervalo de al menos 60 dB. La exactitud de los ajustes del atenuador debe estar dentro de más o menos 1 dB. El procedimiento para la calificación debe ser como se describe en 6.24.2 y 6.30.2.

**6.22.5 Rango de la Pantalla.** El rango dinámico de la pantalla del instrumento debe ser tal que una diferencia de 1 dB de amplitud pueda ser fácilmente detectada en la pantalla.

**6.22.6 Palpadores de Haz Recto (Onda Longitudinal).** Los transductores de los palpadores de haz recto (onda longitudinal), deben tener un área activa no menor de 1/2 pulgada cuadrada [323 mm<sup>2</sup>] y no mayor de 1 pulgada cuadrada [645 mm<sup>2</sup>]. El transductor debe ser redondo o cuadrado. Los transductores deben ser capaces de resolver las tres reflexiones como se describe en 6.29.1.3.

**6.22.7 Palpadores de Haz Angular.** Los palpadores de haz angular deben consistir de un transductor y una zapata angular. La unidad puede estar compuesta por dos elementos separados o puede ser una unidad integral.

**6.22.7.1 Frecuencia.** La frecuencia del transductor debe ser entre 2 y 2.5 MHz, inclusive.

**6.22.7.2 Dimensiones del Transductor.** El cristal transductor debe ser de forma cuadrada o rectangular y puede variar desde 5/8 de pulgada a 1 pulgada [15 a 25 mm] en ancho y desde 5/8 a 13/16 de pulgada [15 a 20 mm] en altura (ver la Figura 6.17). La relación máxima ancho-altura debe ser de 1.2 a 1.0 y la relación mínima debe ser 1.0 a 1.0.

**6.22.7.3 Ángulos.** El palpador debe producir un haz de sonido en el material que está siendo inspeccionado dentro de más o menos 2° de uno de los siguientes ángulos: 70°, 60° ó 45°, como se describe en 6.29.2.2.

**6.22.7.4 Marcado.** Cada palpador debe estar marcado indicando claramente la frecuencia del transductor, ángulo nominal de refracción, y punto índice. El procedimiento para localizar el punto índice se describe en 6.29.2.1.

**6.22.7.5 Reflexiones Internas.** Las máximas reflexiones internas permitidas del transductor deben ser como se describe en 6.24.3.

**6.22.7.6 Distancia desde el Borde.** Las dimensiones del palpador deben ser tales que la distancia desde la parte frontal de contacto del palpador al punto índice no debe exceder de 1 pulgada [25 mm].

**6.22.7.7 Bloque IIW.** El procedimiento de calificación usando el bloque de referencia IIW, debe ser de acuerdo con 6.29.2.6 y como se muestra en la Figura 6.18.

## 6.23 Estándares de Referencia

**6.23.1 Estándar IIW.** El bloque de referencia para la inspección ultrasónica del Instituto Internacional de Soldadura (IIW), mostrado en la Figura 6.19, debe ser el estándar usado para la calibración en distancia y sensibilidad. Otros bloques portátiles pueden ser usados, siempre y cuando el nivel de sensibilidad de referencia, para una combinación de instrumento/palpador, sea ajustado para ser equivalente al obtenido con el bloque IIW (Ver Anexo H, para ejemplos).

**6.23.2 Reflectores Prohibidos.** Para propósitos de calibración está prohibido el uso de un reflector en "esquina".

**6.23.3 Requisitos de Resolución.** La combinación de palpador e instrumento debe resolver tres orificios en el bloque de referencia de resolución RC mostrado en la Figura 6.20. La posición del palpador se describe en 6.29.2.5. La resolución debe ser evaluada con los controles del instrumento ajustados para calibraciones de inspecciones normales, y con las indicaciones de los orificios a la mitad de la altura de la pantalla. La resolución debe ser la suficiente para distinguir al menos los picos de las indicaciones de los tres orificios. Esta prohibido el uso del bloque de referencia de resolución RC para realizar la calibración. Cada combinación de palpador (zapata y transductor) debe ser verificada antes del uso inicial. Esta verificación debe realizarse inicialmente con cada palpador y en combinación con el instrumento ultrasónico. La verificación no necesita hacerse otra vez siempre y cuando sea mantenida la documentación que registre lo siguiente:

- (1) Marca del instrumento ultrasónico, modelo y número de serie
- (2) Fabricante del palpador, tipo, tamaño, ángulo y número de serie
- (3) Fecha de verificación y nombre del técnico

## 6.24 Calificación del Equipo

**6.24.1 Linealidad Horizontal.** La linealidad horizontal del instrumento de inspección debe ser recalificada a intervalos de 2 meses en cada uno de los rangos de distancia en que el instrumento será usado. El procedimiento de calificación debe ser de acuerdo con 6.30.1 (Ver Anexo H, para el método alterno).

**6.24.2 Control de Ganancia.** El control de ganancia del instrumento (atenuador), debe cumplir los requisitos de 6.22.4 y debe ser verificado, para una calibración correcta, a intervalos de dos meses de acuerdo con 6.30.2. Pueden usarse métodos alternos para la calificación del control de ganancia calibrada (atenuador), si proporciona, al menos, lo equivalente con 6.30.2.

**6.24.3 Reflexiones Internas.** Las máximas reflexiones internas de cada palpador, deben ser verificadas a intervalos máximos de tiempo de 40 horas de uso del instrumento, de acuerdo con 6.30.3.



#### 6.24.4 Calibración de Palpadores de Haz Angular.

Usando un bloque de calibración aprobado, cada palpador de haz angular debe ser verificado después de cada 8 horas de uso, para determinar que la superficie de contacto está plana, que es correcto el punto de entrada del sonido y que el haz angular está dentro de la tolerancia permitida de más o menos 2°, de acuerdo con 6.29.2.1 y 6.29.2.2. Los palpadores que no cumplan con éstos requisitos deben corregirse o reemplazarse.

### 6.25 Calibración para la Inspección

**6.25.1 Posición del Control de Rechazo.** Todas las calibraciones e inspecciones deben hacerse con el control de rechazo (recorte o supresión) apagado. El uso del control de rechazo puede alterar la linealidad de la amplitud del instrumento e invalidar los resultados de la inspección.

**6.25.2 Técnica.** La calibración en sensibilidad y barrido horizontal (distancia) debe hacerla el operador de la inspección ultrasónica, justo antes de y en el sitio donde se localice cada soldadura inspeccionada.

**6.25.3 Recalibración.** La recalibración debe ser hecha después de un cambio de operador, cada 2 horas como máximo intervalo de tiempo, o cuando el circuito eléctrico sufra algún disturbio en cualquiera de las formas siguientes:

- (1) Cambio de transductor
- (2) Cambio de batería
- (3) Cambio de toma de corriente
- (4) Cambio de cable coaxial
- (5) Suministro de corriente (falla)

#### 6.25.4 Inspección del Metal Base con Haz Recto.

La calibración para la inspección con haz recto del metal base debe ser hecha con el palpador colocado en la Cara "A" del metal base, y llevada a cabo como sigue:

**6.25.4.1 Barrido.** El barrido horizontal debe ajustarse para que la calibración de distancia presente el equivalente a por lo menos dos veces el espesor de la placa en la pantalla.

**6.25.4.2 Sensibilidad.** La sensibilidad debe ser ajustada en una zona libre de indicaciones para que la primera reflexión de pared posterior, del lado más alejado de la placa, sea del 50 al 75% de la altura total de la pantalla.

**6.25.5 Calibración para la Inspección con Haz Angular.** La calibración para la inspección con haz

angular debe realizarse como sigue (ver Anexo H, H2.4 para el método alterno).

**6.25.5.1 Barrido Horizontal.** El barrido horizontal debe ser ajustado para que represente la distancia real actual de la trayectoria del sonido, usando el bloque IIW o los bloques alternos, como los descritos en 6.23.1. La calibración de distancia debe hacerse usando la escala de 5 pulgadas [125 mm] o de 10 pulgadas [250 mm] en la pantalla, cualquiera que sea apropiada. Sin embargo, si la configuración de la junta o el espesor impiden el examen completo de la soldadura con cualquiera de estos ajustes, entonces la calibración de distancia debe hacerse usando la escala de 15 o 20 pulgadas [400 mm ó 500 mm], como sea requerido. La posición del palpador se describe en 6.29.2.3.

*Nota: La localización horizontal de todas las indicaciones en la pantalla está basada en el punto en el cual el lado izquierdo de la deflexión del trazo rompe la línea horizontal base.*

**6.25.5.2 Nivel de Referencia Cero.** El nivel de sensibilidad de referencia cero usado para la evaluación de discontinuidades ("b" en el reporte de la inspección ultrasónica, Anexo M, Forma M-11), debe ser obtenido ajustando el control de ganancia calibrada (atenuador) del detector de discontinuidades, cumpliendo los requisitos de 6.22, de tal manera que resulte maximizada la deflexión del trazo horizontal (ajustando la altura de la línea horizontal de referencia con el control de ganancia calibrada [atenuador]) a una altura en la pantalla de entre 40% y 60%, de acuerdo con 6.29.2.4.

### 6.26 Procedimientos de Inspección

**6.26.1 Línea "X".** Para ubicar las discontinuidades, se debe marcar una línea "X" sobre la cara de la soldadura inspeccionada, en dirección paralela al eje de la soldadura. La localización de la distancia perpendicular al eje de la soldadura, debe estar basada en las figuras dimensionales sobre los planos detallados y normalmente está sobre la línea central (eje) de las juntas soldadas a tope, y siempre está sobre la cara cercana al miembro conectado en las juntas soldadas en "T" y en esquina (la cara opuesta a la Cara "C").

**6.26.2 Línea "Y".** Una letra "Y" acompañada con un número de identificación de la soldadura, debe estar claramente marcada sobre el metal base adyacente a la soldadura que va a ser inspeccionada por ultrasonido. Esta marca es usada con los siguientes propósitos:

- (1) Identificación de la soldadura.
- (2) Identificación de la Cara "A".
- (3) Medición de la distancia y dirección (+ o -) desde la línea "X".
- (4) Medición de la localización desde los extremos u orillas de la soldadura.

**6.26.3 Limpieza.** Todas las superficies sobre las cuales es colocado el palpador deben estar libres de salpicaduras de soldadura, suciedad, grasa, aceite (distinto al usado como acoplante), pintura, escamas y deben tener un contorno que permita acoplamiento adecuado.

**6.26.4 Acoplantes.** Un material acoplante debe ser usado entre el palpador y el material a inspeccionar. El acoplante debe ser una mezcla de agua con glicerina o agua con goma de celulosa con una consistencia adecuada. Puede agregarse un agente humectante si es necesario. Puede usarse un aceite ligero como acoplante en los bloques de calibración.

**6.26.5 Extensión de la Inspección.** Todo el metal base adyacente a través del cual puede viajar el sonido para inspeccionar la soldadura, debe ser inspeccionado usando un palpador de haz recto para detectar reflectores laminares, conforme con los requisitos de 6.22.6, y se debe calibrar de acuerdo con 6.25.4. Si cualquier área del metal base presenta una pérdida total de la reflexión de pared posterior o una indicación igual o mayor que la altura original de la reflexión de pared posterior es localizada en una posición que interfiera con el procedimiento normal de barrido de la soldadura, se debe determinar su tamaño, localización y profundidad desde la cara A y se debe registrar en el reporte de inspección ultrasónica, y debe usarse un procedimiento alternativo para el barrido de la soldadura.

**6.26.5.1 Tamaño del Reflector.** El procedimiento para la evaluación del tamaño del reflector debe ser de acuerdo con 6.31.1.

**6.26.5.2 Inaccesibilidad.** Si parte de una soldadura a inspeccionarse es inaccesible, de acuerdo con los requisitos de la Tabla 6.7, debido al contenido laminar detectado, de acuerdo con 6.26.5, la inspección debe llevarse a cabo usando uno o más de los siguientes procedimientos alternos, como sea necesario para cubrir totalmente la soldadura:

- (1) La(s) superficie(s) soldada(s) debe(n) ser esmerilada(s) de acuerdo con 5.24.4.1.
- (2) La inspección debe realizarse desde las Caras A y B.
- (3) Deben ser usados otros ángulos en los palpadores.

**6.26.6 Inspección de las Soldaduras.** Las soldaduras deben ser inspeccionadas usando un palpador de haz angular conforme con los requisitos de 6.22.7, con el instrumento calibrado de acuerdo con 6.25.5, usando el ángulo como se indica en la Tabla 6.7. Después de la calibración y durante la inspección, sólo se permite ajustar el nivel de sensibilidad con el control de ganancia calibrada (atenuador). El control de "rechazo" (recorte o supresión) debe estar apagado. La sensibilidad debe incrementarse desde el nivel de referencia para realizar el barrido de la soldadura de acuerdo con la Tabla 6.2 o 6.3, como sea aplicable.

**6.26.6.1 Barrido.** El ángulo de inspección y el procedimiento de barrido deben ser de acuerdo con lo indicado en la Tabla 6.7.

**6.26.6.2 Juntas a Tope.** Todas las juntas soldadas a tope deben ser inspeccionadas desde cada lado del eje de la soldadura. Las juntas soldadas en esquina y en "T" deben inspeccionarse principalmente desde un sólo lado del eje de la soldadura. Todas las soldaduras deben ser inspeccionadas usando el patrón o patrones de barrido aplicables mostrados en la Figura 6.21, como sea necesario, para detectar discontinuidades longitudinales y transversales. Esto se realiza para que, como mínimo, todas las soldaduras sean inspeccionadas por el paso de sonido a través del volumen completo de la soldadura y la zona afectada por el calor, en dos direcciones cruzadas, cualquiera que sea práctico.

**6.26.6.3 Indicación Máxima.** Cuando una indicación de discontinuidad aparece en la pantalla, la máxima indicación obtenida de la discontinuidad debe ser ajustada para que la deflexión del trazo sea igual al nivel de referencia horizontal en la pantalla. Este ajuste debe hacerse con el control de ganancia calibrada (atenuador), y la lectura del instrumento en decibeles debe usarse como el "Nivel de Indicación, a", para calcular la "Relación de Indicación, "d", como se muestra en el reporte de inspección (Anexo M, Forma M-11).

**6.26.6.4 Factor de Atenuación.** El "Factor de Atenuación, c", del reporte de inspección se obtiene restando 1" [25 mm] a la distancia de recorrido del sonido y multiplicando el resultado por dos. Este factor debe ser redondeado al valor entero más cercano en dB. Para valores de fracciones menores de 1/2 dB debe reducirse al valor inmediato inferior en dB y para aquellos de 1/2 dB o mayor debe incrementarse al valor inmediato superior en dB.

**6.26.6.5 Relación de Indicación.** La "Relación de indicación, d", en el Reporte de Inspección Ultrasonica, Anexo M, Forma M-11, representa la diferencia algebraica en decibeles entre el nivel de indicación y el nivel de referencia, con una corrección para la atenuación, como se indica en las siguientes expresiones:

Instrumentos con ganancia en dB:

$$a - b - c = d$$

Instrumentos con atenuación en dB:

$$b - a - c = d$$

**6.26.7 Longitud de las Discontinuidades.** La longitud de las discontinuidades debe determinarse de acuerdo con el procedimiento de 6.31.2.

**6.26.8 Bases para la Aceptación o Rechazo.** Cada discontinuidad en la soldadura debe ser aceptada o rechazada con base en su relación de indicación y su longitud, de acuerdo con la Tabla 6.2 para estructuras estáticamente cargadas o la Tabla 6.3 para estructuras cíclicamente cargadas, cualquiera que sea aplicable. Sólo aquellas discontinuidades que son inaceptables necesitan registrarse en el reporte de inspección, excepto que para soldaduras designadas en los documentos del contrato como "Fracturas Críticas", las relaciones aceptables que se encuentren dentro de 6 dB, inclusive, por debajo de la relación mínima inaceptable deben registrarse en el reporte de inspección.

**6.26.9 Identificación del Área Rechazada.** Cada discontinuidad inaceptable debe ser indicada sobre la soldadura por medio de una marca directamente sobre la discontinuidad en toda su longitud. La profundidad desde la superficie y la relación de indicación deben anotarse cerca de la marca sobre el metal base.

**6.26.10 Reparación.** Las soldaduras que son inaceptables por la inspección ultrasonica deben ser reparadas por los métodos permitidos por 5.26 de este código. Las áreas reparadas deben reinspeccionarse por ultrasonido y los resultados deben ser tabulados sobre la forma original (sí está disponible) o en formas de reporte adicionales.

**6.26.11 Reportes de Inspecciones de Reparaciones.** La evaluación de las áreas soldadas reparadas que sean reinspeccionadas debe ser tabulada sobre una nueva línea en la forma de reporte. Si es usada la forma de reporte original, deben usarse las siglas R1, R2, ....Rn como prefijos del número de indicación. Si es usada una forma de

reporte adicional, la letra R debe usarse como prefijo del número de reporte.

**6.26.12 Respaldo de Acero.** La inspección por ultrasonido de soldaduras de ranura por CJP con respaldo de acero, debe realizarse con un procedimiento de inspección que reconozca los reflectores potenciales creados por la interfase entre el metal base y el respaldo (ver los Comentarios C6.26.12 para guías adicionales para el barrido de soldaduras de ranura que contienen respaldo).

## 6.27 Inspección Ultrasonica de Conexiones Tubulares T, Y y K

**6.27.1 Procedimiento.** Todas las inspecciones ultrasonicas deben realizarse de acuerdo con un procedimiento escrito el cual ha sido preparado o aprobado por un individuo calificado como Nivel III, de acuerdo con SNT-TC-1A, y con experiencia en la inspección ultrasonica de estructuras tubulares. El procedimiento debe estar basado en los requisitos de esta sección y de la Parte F, Cláusula 6, como sea aplicable. El procedimiento debe contener, como mínimo, la siguiente información con respecto a los métodos y técnicas de la inspección ultrasonica:

(1) El tipo de configuración de la junta soldada que será inspeccionada (por ejemplo, el rango de diámetros aplicable, espesores, y el ángulo diedral local). Las técnicas convencionales están limitadas generalmente a diámetros de 12-3/4 pulgadas [325 mm] y mayores, espesores de 1/2 pulgada [12 mm] y mayores, y ángulos diedrales locales de 30° o mayores. Pueden ser usadas técnicas especiales para dimensiones menores, con la condición que sean calificados como aquí se describe, usando las dimensiones más pequeñas de la aplicación.

(2) Criterio de aceptación para cada uno de los tipos y tamaños de la soldadura.

(3) Tipo(s) de instrumento(s) ultrasonico(s) (marcas y modelos).

(4) Frecuencia de los transductores (palpadores), dimensión y forma del área activa, ángulo del haz y tipo de zapata de los palpadores de haz angular. Pueden ser usados procedimientos que usan transductores con frecuencias de hasta 6 MHz, con dimensiones menores de 1/4 pulgada [6 mm], y de formas diferentes a las que son especificadas en otra parte, con la condición que sean calificados como aquí se describe.

(5) Preparación de la superficie y acoplante (donde sea usado).

(6) Tipo de bloque de calibración y reflector de referencia.

(7) Método de calibración y exactitud requerida para la distancia (barrido), linealidad vertical, divergencia del haz, ángulo, sensibilidad y resolución.

(8) Intervalo de recalibración para cada uno de los ajustes del párrafo (7).

(9) Método para determinar la continuidad acústica del metal base (ver 6.27.4), y para establecer la geometría como función del ángulo diedral local y el espesor.

(10) Patrones de barrido y sensibilidad (ver 6.27.5).

(11) Corrección por transferencia para superficies curvas y rugosas (donde son aplicados los métodos de amplitud. Ver 6.27.3).

(12) Métodos para determinar el ángulo efectivo del haz (en materiales curvos), índice del área de raíz, y localización de las discontinuidades.

(13) Método para determinar la longitud y altura de la discontinuidad.

(14) Método para verificación de la discontinuidad durante la excavación y reparación.

**6.27.2 Personal.** Además de los requisitos para el personal de 6.14.6, cuando sea realizada la inspección de conexiones T, Y y K, se debe requerirle al operador que demuestre su habilidad para aplicar las técnicas especiales requeridas para tales exámenes. Los exámenes prácticos para estos propósitos deben ser realizados sobre soldaduras simuladas que representen el tipo de soldaduras que serán inspeccionadas, incluyendo un rango representativo de ángulos diedrales y espesores que serán encontrados en producción, usando los procedimientos aplicables calificados y aprobados. Cada soldadura simulada debe contener discontinuidades naturales o artificiales que produzcan indicaciones ultrasónicas arriba y abajo del criterio de rechazo especificado en el procedimiento aprobado.

La funcionalidad debe ser juzgada con base en la habilidad del operador para determinar la dimensión y clasificación de cada discontinuidad con una exactitud requerida para aceptar o rechazar cada unión soldada y para localizar exactamente las discontinuidades inaceptables a lo largo de la soldadura y dentro de la sección transversal de la soldadura. Al menos el 70% de las discontinuidades inaceptables deben ser correctamente identificadas como inaceptables. Para trabajos en estructuras no redundantes, todas las discontinuidades que excedan las dimensiones máximas aceptables por un factor de dos, o por una amplitud de 6 dB, deben ser localizadas y reportadas.

**6.27.3 Calibración.** La calificación del instrumento ultrasónico y los métodos de calibración deben

cumplir con los requisitos del procedimiento aprobado y la Parte F, de la Cláusula 6, excepto como sigue:

**6.27.3.1 Rango.** La calibración del rango (distancia) debe incluir, como mínimo, la distancia total de recorrido del ultrasonido que será usada durante la inspección específica. Este puede ser ajustado para representar el recorrido del sonido, la distancia superficial, o la profundidad equivalente por debajo de la superficie de contacto, presentada a lo largo de la escala horizontal del instrumento, como se describa en el procedimiento aprobado.

**6.27.3.2 Calibración de Sensibilidad.** La sensibilidad estándar para el examen de soldaduras de producción usando técnicas de amplitud debe ser: sensibilidad básica + corrección de distancia-amplitud + corrección por transferencia. Esta calibración debe hacerse al menos una vez por cada junta inspeccionada; excepto que, para inspecciones repetitivas de iguales tamaños y configuraciones, la frecuencia de calibración de 6.25.3 puede ser usada.

**(1) Sensibilidad Básica.** El nivel de referencia de la altura en la pantalla, obtenida usando la máxima reflexión del barreno de 0.060 pulgadas [1.5 mm] de diámetro en el bloque IIW (u otro bloque que resulte en la misma sensibilidad básica de calibración) como se describe en 6.25 (o 6.29).

**(2) Corrección Distancia Amplitud.** El nivel de sensibilidad debe ser ajustado para proporcionar la pérdida por atenuación a través del rango de recorrido del sonido que será usado ya sea por medio de curvas de corrección distancia-amplitud, medios electrónicos, o como se describe en 6.26.6.4. Donde sean usados transductores de alta frecuencia, la mayor atenuación debe ser tomada en cuenta. La corrección por transferencia puede ser usada para ajustar la inspección ultrasónica a través de capas de pintura que no excedan de 0.010 pulgada [0.25 mm] de espesor.

**6.27.4 Inspección del Metal Base.** El área total sujeta a barrido ultrasónico debe ser examinada por la técnica de onda longitudinal para detectar reflectores laminares que pudieran interferir con la propagación directa de las ondas de sonido. Todas las áreas que contengan reflectores laminares deben ser marcadas para su identificación antes del examen de la soldadura, y las consecuencias deben ser consideradas en la selección de los ángulos de los palpadores y las técnicas de barrido para el examen de las soldaduras en esas áreas. El Ingeniero responsable debe ser notificado de las discontinuidades en el material base que excedan los límites de 5.15.1.1.

**6.27.5 Barrido de la Soldadura.** El barrido de la soldadura de conexiones T, Y y K debe realizarse desde la superficie del miembro ramal o secundario (ver Figura 6.22). Todos los exámenes deben hacerse en la Primera y Segunda Pierna, hasta donde sea posible. Para el barrido inicial, la sensibilidad debe incrementarse en 12 dB por arriba de lo establecido en 6.27.3 para el máximo recorrido del sonido. La evaluación de las indicaciones debe realizarse contra el estándar de sensibilidad de referencia.

**6.27.6 Ángulo Óptimo.** Las indicaciones encontradas en el área de la raíz de soldaduras de ranura en juntas a tope y a lo largo de la cara de fusión de todas las soldaduras, deben ser adicionalmente evaluadas con un ángulo de 70°, 60° o 45°, cualquiera que sea lo más cercano a la perpendicular a la cara de fusión esperada.

**6.27.7 Evaluación de la Discontinuidad.** Las discontinuidades deben ser evaluadas por el uso de una combinación de las técnicas del borde del haz y la amplitud de indicaciones. Las dimensiones deben ser dadas como longitud y altura (dimensión en profundidad) o amplitud, como sea aplicable. La amplitud debe ser relacionada contra el “estándar de calibración”. Además, las discontinuidades deben ser clasificadas como lineales o planas contra esféricas, notando cambios en la amplitud conforme el transductor se hace girar en un arco centrado contra el reflector. Debe ser determinada la localización (posición) de discontinuidades dentro de la sección transversal de la soldadura, así también como, desde un punto de referencia establecido a lo largo del eje de la soldadura.

### 6.27.8 Reportes.

**6.27.8.1 Formas.** Una forma de reporte, que identifique claramente el trabajo y el área de inspección, debe ser llenada por el técnico de la inspección ultrasónica en el momento de realizar la inspección. Debe ser llenado un reporte detallado y un dibujo que muestre la localización a lo largo del eje de la soldadura, la localización dentro de la sección transversal de la soldadura, el tamaño (o relación de la indicación), la extensión, la orientación, y la clasificación de cada discontinuidad para cada soldadura en la cual sean encontradas indicaciones significativas.

**6.27.8.2 Discontinuidades Reportadas.** Cuando sea especificado, las discontinuidades que se aproximen al tamaño inaceptable, particularmente aquellas en las cuales existe algo de duda en su evaluación, también deben ser reportadas.

**6.27.8.3 Inspección Incompleta.** También deben ser registradas las áreas en las cuales no fue realizada la inspección completa, junto con la razón por la cual la inspección fue incompleta.

**6.27.8.4 Marcas de Referencia.** A menos que otra cosa sea especificada, también debe ser marcada físicamente sobre las piezas de trabajo la posición de la referencia, la localización y la extensión de las discontinuidades inaceptables.

## 6.28 Preparación y Disposición de Reportes

**6.28.1 Contenido de Reportes.** En el momento de la inspección, el Inspector de ultrasonido debe llenar una forma de reporte en la cual identifique claramente el trabajo y el área de inspección. La forma de reporte para soldaduras que son aceptables sólo necesita contener información suficiente para identificar la soldadura, el inspector (firma) y la aceptación de la soldadura. Un ejemplo de tal forma es mostrado en el Anexo M, Forma M-11.

**6.28.2 Reportes Antes de la Inspección.** Antes que el dueño acepte una soldadura sujeta a inspección ultrasónica por el contratista, todas las formas de reporte pertenecientes a la soldadura, incluyendo cualquiera que muestre calidad inaceptable antes de la reparación, deben ser presentadas al Inspector.

**6.28.3 Reportes Completos.** Un juego completo de las formas de reporte llenas, de las soldaduras inspeccionadas por ultrasonido por el contratista, incluyendo cualquiera que muestre calidad inaceptable antes de reparar, debe entregarse al dueño al término de la obra. La obligación del contratista para conservar los reportes termina cuando (1) se entregue al dueño el juego completo, o (2) un año completo después que se ha completado el trabajo del contratista, notificando al dueño previamente por escrito.

## 6.29 Calibración del Instrumento Ultrasónico con el Bloque IIW o con Otros Bloques de Referencia Aprobados (Anexo H)

Ver 6.23 y las Figuras 6.19, 6.20 y 6.23.

### 6.29.1 Modo Longitudinal

**6.29.1.1 Calibración en Distancia.** Ver Anexo H, H1 para el método alterno.

(1) El transductor debe ser colocado en la posición G sobre el bloque IIW.

(2) El instrumento debe ser ajustado para producir indicaciones sobre la pantalla a 1 pulgada [25 mm sobre un bloque en sistema métrico], 2 pulgadas [50 mm sobre un bloque en sistema métrico], 3 pulgadas [75 mm sobre un bloque en sistema métrico], 4 pulgadas [100 mm sobre un bloque en sistema métrico], etc.

**6.29.1.2 Amplitud.** Ver Anexo H, H1.2 para el método alternativo. (1) El transductor debe ser colocado en la posición G sobre el bloque IIW. (2) La ganancia debe ser ajustada hasta que la indicación maximizada de la primera reflexión de pared posterior alcance del 50 al 75% de altura de la pantalla.

#### 6.29.1.3 Resolución.

(1) El transductor debe ser colocado en la posición F sobre el bloque IIW.

(2) El transductor y el instrumento deben resolver las tres distancias.

**6.29.1.4 Calificación de la Linealidad Horizontal.** El procedimiento de calificación debe ser el indicado en 6.24.1.

**6.29.1.5 Calificación del Control de Ganancia (Atenuación).** El procedimiento de calificación debe ser de acuerdo con 6.24.2, o debe ser usado un método alternativo, de acuerdo con 6.24.2.

### 6.29.2 Modo de Onda de Corte (Transversal).

**6.29.2.1 Punto Índice.** El punto de entrada de sonido del transductor (punto índice) debe ser localizado o verificado por el procedimiento siguiente:

(1) El transductor debe ser colocado en la posición D sobre el bloque IIW.

(2) El transductor debe ser movido hasta que la señal del radio es maximizada. El punto sobre el transductor, el cual esté alineado con la línea del centro del radio sobre el bloque de calibración, es el punto de entrada del sonido (Ver Anexo H, H2.1 para el método alternativo).

**6.29.2.2 Ángulo.** El ángulo al que viaja el sonido, producido por el transductor, debe verificarse o determinarse por medio de uno de los siguientes procedimientos:

(1) El transductor debe ser colocado en la posición B sobre el bloque IIW para ángulos de 40° a 60°, o en la posición C sobre el bloque IIW para ángulos entre 60° y 70°. (Ver Figura 6.23).

(2) Para el ángulo seleccionado, el transductor debe ser movido hacia atrás y hacia delante, sobre la línea indicativa del ángulo del transductor, hasta que la señal del radio es maximizada. El punto de entrada del sonido, en el transductor, debe ser comparado con el ángulo marcado sobre el bloque de calibración (con una tolerancia de  $\pm 2^\circ$ ). (Ver Anexo H, H2.2 para los métodos alternos).

**6.29.2.3 Procedimiento para la Calibración en Distancia.** El transductor debe ser colocado en la posición D sobre el bloque IIW (para cualquier ángulo). El instrumento debe ser ajustado para obtener indicaciones, sobre la pantalla, de 4 pulgadas [100 mm sobre un bloque en sistema métrico] y 8 pulgadas [200 mm] o 9 pulgadas [225 mm]; 4 pulgadas [100 mm] y 9 pulgadas [225 mm] en el bloque Tipo 1; o 4 pulgadas [100 mm] y 8 pulgadas (200 mm) en el bloque Tipo 2 (Ver Anexo H, H2.3 para el método alternativo).

**6.29.2.4 Procedimiento para la Calibración de Amplitud o Sensibilidad.** El transductor debe ser colocado en la posición A sobre el bloque IIW (para cualquier ángulo). La señal maximizada del orificio de 0.060 pulgadas [1.59 mm] debe ser ajustada hasta que la altura de la indicación alcance una línea de referencia horizontal (Ver Anexo H, H2.4 para el método alternativo). La máxima lectura obtenida en decibeles debe ser usada como la lectura del "Nivel de referencia, b" en la hoja del Reporte de Inspección (Anexo M, Forma M11) de acuerdo con 6.23.1.

#### 6.29.2.5 Resolución.

(1) El transductor debe ser colocado sobre el bloque de resolución RC en la posición Q para el ángulo de 70°, en la posición R para el ángulo de 60°, o en la posición S para el ángulo de 45°.

(2) El transductor y el instrumento deben resolver los tres orificios de prueba, al menos se deben distinguir los picos de las indicaciones de los tres orificios.

**6.29.2.6 Distancia Aproximada del Palpador.** La distancia mínima permitida entre el extremo (dedo) del palpador y la orilla del bloque IIW debe ser como sigue (Ver Figura 6.18):

para transductores de 70°,  
X = 2 pulgadas (50 mm)

para transductores de 60°,  
X = 1-7/16 pulgadas (37 mm)

para transductores de 45°.  
X = 1 pulgada (25 mm)

## 6.30 Procedimiento para la Calificación del Equipo

**6.30.1 Procedimiento para la Linealidad Horizontal.** *NOTA: Ya que éste procedimiento de calificación se realiza con un palpador de haz recto, el cual produce ondas longitudinales con una velocidad de sonido de casi el doble que las ondas de corte, es necesario que sea usado el doble de los rangos de distancia para la onda de corte en la aplicación de éste procedimiento.*

Por ejemplo: El uso de una pantalla de calibración de 10 pulgadas [250 mm] en onda de corte, puede requerir una pantalla de calibración de 20 pulgadas [500 mm] para este procedimiento de calificación.

El siguiente procedimiento debe ser usado para la calificación del instrumento: (Ver Anexo H, H3 para el método alterno)

(1) Un palpador de haz recto debe ser acoplado, cumpliendo los requisitos de 6.22.6, al bloque IIW o DS, en las Posiciones G, T o U (ver Figura 6.23), como sea necesario para obtener 5 reflexiones de pared posterior en el rango de calificación que está siendo certificado (Ver Figura 6.23).

(2) La primera y quinta reflexión de pared posterior deben ser ajustadas en su posición adecuada, con el uso de los controles de ajuste de calibración de distancia y retardo de cero.

(3) Cada indicación debe ser ajustada al nivel de referencia con el control de ganancia o atenuación para verificar la posición horizontal.

(4) Cada posición intermedia de la deflexión del trazo debe ser corregida con una tolerancia de 2% del ancho de la pantalla.

### 6.30.2 Exactitud de Decibeles (dB).

**6.30.2.1 Procedimiento.** *NOTA: Con el fin de alcanzar la exactitud requerida ( $\pm 1\%$ ) en la lectura de la altura de la indicación, la pantalla debe estar graduada verticalmente a intervalos del 2%, o 2.5% para instrumentos con lector digital de amplitud, en la altura media horizontal de la pantalla. Estas graduaciones, deben ser colocadas sobre la pantalla entre el 60% y 100% de la altura de la pantalla. Esto puede efectuarse con el uso de una pantalla transparente graduada sobrepuesta. Si esta pantalla sobrepuesta se aplica como una parte permanente de la unidad ultrasónica, debe tenerse cuidado que esta no oscurezca la presentación normal de la inspección.*

(1) Un palpador de haz recto debe ser acoplado, cumpliendo los requisitos de 6.22.6, sobre el bloque DS mostrado en la Figura 6.20 y en la Posición "T", Figura 6.23.

(2) La calibración en distancia debe ser ajustada para que la primera indicación de pared posterior de 2 pulgadas [50 mm] (de aquí en adelante llamada "la indicación") esté a la mitad horizontal de la pantalla.

(3) El control de ganancia calibrada o de atenuación debe ser ajustado para que la indicación esté exactamente en o ligeramente arriba del 40% de la altura de la pantalla.

(4) El palpador debe ser movido hacia la posición U, ver Figura 6.23, hasta que la indicación esté exactamente al 40% de la altura de la pantalla.

(5) La amplitud se debe incrementar en 6 dB con el control de ganancia calibrada o de atenuación. Teóricamente el nivel de la indicación, debería estar exactamente al 80% de la altura de la pantalla.

(6) La lectura en dB debe ser registrada en el renglón "a" y el porcentaje actual de la altura de pantalla en el renglón "b", del paso (5), en el reporte de certificación (Anexo M, Forma M-8), Línea 1.

(7) El palpador debe ser movido hacia la posición U, Figura 6.23, hasta que la indicación esté exactamente al 40% de la altura de pantalla.

(8) El paso 5 debe ser repetido.

(9) El paso 6 debe ser repetido; excepto que, la información deberá anotarse en la siguiente línea consecutiva en el Anexo M, Forma M-8.

(10) Los pasos 7, 8 y 9 deben ser repetidos consecutivamente hasta que el rango total del control de ganancia (atenuador) es alcanzado (60 dB mínimo).

(11) La información de los Renglones "a" y "b" debe ser aplicada en la fórmula 6.30.2.2 o en el nomograma descrito en 6.30.2.3, para calcular los decibeles corregidos.

(12) Los decibeles corregidos del paso 11 deben ser registrados en el Renglón "c".

(13) El valor del Renglón "c" debe ser restado al valor del Renglón "a" y la diferencia registrada en el Renglón "d", error en decibeles que debe ser aplicado.

*NOTA: Estos valores pueden ser positivos o negativos y deben registrarse así. Ejemplos de la Aplicación de las Formas M-8, M-9 y M-10 se encuentran en el Anexo M.*

(14) La información debe ser tabulada en una forma, incluyendo la información mínima equivalente como la presentada en la Forma M-8, y la unidad evaluada de acuerdo con las instrucciones mostradas en esa forma.

(15) La Forma M-9 proporciona un medio relativamente simple de la evaluación de datos desde el paso (14). Las instrucciones para ésta evaluación están dadas desde el paso (16) al (18).

(16) La información en decibeles del Renglón "e" (Forma M-8) debe ser registrada verticalmente y la lectura en decibeles del Renglón "a" (Forma M-8) horizontalmente, como coordenadas X y Y, para trazar una curva de decibeles en la Forma M-9.

(17) La mayor longitud horizontal, como es representada por la diferencia de lectura en decibeles, la cual puede ser inscrita en un rectángulo representando 2 dB en altura, denota el rango en decibeles dentro del cual el equipo cumple los requisitos del código. El rango mínimo permitido es de 60 decibeles.

(18) El equipo que no cumpla los requisitos mínimos puede ser usado, siempre y cuando sean proporcionados los factores de corrección desarrollados y que sean usados para la evaluación de las discontinuidades que estén fuera del rango de linealidad aceptable del instrumento, o que la inspección de soldadura y la evaluación de las discontinuidades sea mantenida dentro del rango de linealidad vertical aceptable del instrumento.

*NOTA: Las figuras de error en dB (Renglón "d") pueden ser usadas como factores de corrección.*

#### 6.30.2.2 Ecuación para calcular los Decibeles.

La siguiente ecuación debe ser usada para calcular los decibeles:

$$dB_2 - dB_1 = 20 \times \text{Log} ( \%_2 / \%_1 )$$

$$dB_2 = 20 \times \text{Log} ( \%_2 / \%_1 ) + dB_1$$

Como está relacionado al Anexo M, Forma M-8

$dB_1$  = Renglón "a"

$dB_2$  = Renglón "c"

$\%_1$  = Renglón "b"

$\%_2$  = Definido en la Forma M-8

**6.30.2.3 Anexo M.** Las siguientes notas aplican al uso del nomograma del Anexo M, Forma M-10:

(1) Los Renglonos a, b, c, d y e están en la hoja de certificación, Anexo M, Forma M-10.

(2) Las escalas A, B y C están en el nomograma, Anexo M, Forma M-10.

(3) Los puntos cero en la escala C deben ser prefijados, agregando el valor necesario que corresponda con los ajustes del instrumento; por ejemplo, 0, 10, 20, 30, etc.

**6.30.2.4 Procedimiento.** Los siguientes procedimientos deben ser aplicados para el uso del nomograma del Anexo M, Forma M-10:

(1) Debe trazarse una línea recta entre la lectura de decibeles del Renglón "a", aplicada a la escala C, y el porcentaje correspondiente del Renglón "b", aplicado a la escala "A".

(2) El punto donde la línea recta del paso 1 cruza la línea pivote B, debe ser usado como punto pivote para una segunda línea recta.

(3) Se debe trazar una segunda línea recta a partir del punto del porcentaje promedio en la escala A, a través del punto pivote determinado en el paso 2 y hacia la escala C en dB.

(4) Éste punto en la escala C indica de los dB corregidos que deben usarse en el Renglón "c".

**6.30.2.5 Nomograma.** Para un ejemplo del uso del nomograma, ver Anexo M, Forma M-10.

#### 6.30.3 Procedimiento para Reflexiones Internas.

(1) Calibre el equipo de acuerdo con 6.25.5.

(2) Remueva el palpador del bloque de calibración sin cambiar cualquier otro ajuste del equipo.

(3) Incremente la ganancia calibrada o atenuación en 20 dB más sensible que el nivel de referencia.

(4) El área de la pantalla más allá de 1/2 pulgada [12 mm] de recorrido del haz de sonido y arriba de la altura del nivel de referencia debe estar libre de cualquier indicación.

### 6.31 Procedimiento para la Evaluación del Tamaño de la Discontinuidad

#### 6.31.1 Inspección con Haz Recto (Longitudinal).

No siempre es fácil determinar el tamaño de discontinuidades laminares, especialmente aquellas que son más pequeñas que el tamaño del transductor. Cuando la discontinuidad es mayor que el transductor, ocurre la pérdida total de la reflexión de pared posterior y la pérdida de 6 dB de amplitud y la medición al centro del transductor es normalmente confiable para determinar los extremos de las discontinuidades. Sin embargo, la evaluación del tamaño aproximado de aquellos reflectores, los cuales son más pequeños que el transductor, debe hacerse empezando desde el exterior de la discontinuidad con el equipo calibrado de acuerdo con 6.25.4, y moviendo el transductor hacia el área de la discontinuidad hasta que comienza a formarse una indicación en la pantalla. El borde del palpador es el punto que indica el extremo de la discontinuidad.



**6.31.2 Inspección con Haz Angular (Corte).** El siguiente procedimiento debe ser usado para determinar la longitud de las indicaciones que tienen relaciones en dB más serias que para indicaciones de la Clase D. La longitud de tal indicación debe ser determinada midiendo la distancia entre las posiciones del centro del transductor, donde la relación de la amplitud de la indicación cae al 50% (6 dB) abajo de la relación para la clasificación aplicable de la discontinuidad. Esta longitud debe ser registrada como "longitud de la discontinuidad" en el reporte de inspección. Donde sea garantizado por la amplitud de la discontinuidad, éste procedimiento debe ser repetido para determinar la longitud de las discontinuidades Clase A, B y C.

## 6.32 Patrones de Barrido (Ver Figura 6.21)

### 6.32.1 Discontinuidades longitudinales

**6.32.1.1 Movimiento A.** Ángulo de rotación  $a = 10^\circ$ .

**6.32.1.2 Movimiento B.** La distancia de barrido "b" debe ser tal que sea cubierta la sección de la soldadura que está siendo inspeccionada.

**6.32.1.3 Movimiento C.** La distancia de avance "c", debe ser aproximadamente la mitad del ancho del transductor.

*NOTA: Los movimientos A, B y C son combinados en un patrón de barrido.*

### 6.32.2 Discontinuidades Transversales

**6.32.2.1 Soldaduras Esmeriladas a Ras.** Cuando las soldaduras son esmeriladas a ras, debe ser usado el patrón de barrido D.

**6.32.2.2 Soldaduras Sin Esmerilar.** Cuando el refuerzo de la soldadura no es esmerilado a ras, debe ser usado el patrón de barrido E. El ángulo de barrido "e" =  $15^\circ$  máximo.

*NOTA: El patrón de barrido debe ser tal que cubra completamente la sección soldada.*

**6.32.3 Soldaduras ESW o EGW (Patrones de Barrido Adicionales).** Con el patrón de Barrido E el ángulo de rotación "e" del transductor debe ser entre  $45^\circ$  y  $60^\circ$ .

*NOTA: El patrón de barrido debe ser tal que cubra completamente la sección soldada.*

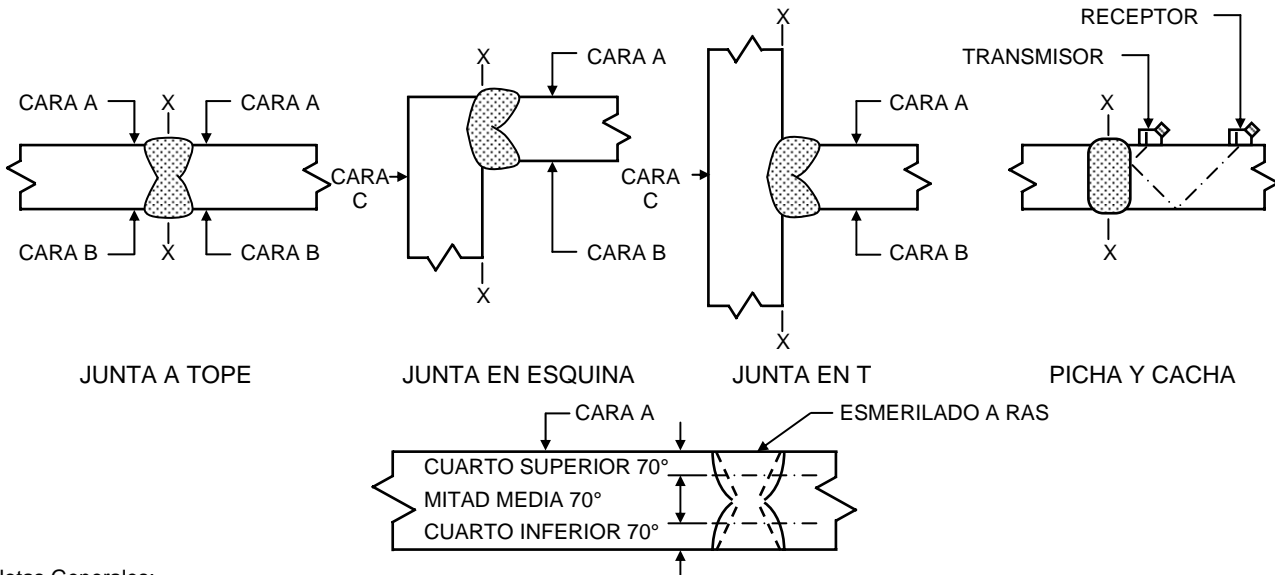
## 6.33 Ejemplos de la Certificación de la Exactitud de dB

El Anexo m muestra ejemplos del uso de la Formas M-8, M-9 y M-10, para la solución de una aplicación típica de 6.30.2.

**Tabla 6.7**  
**Ángulo de Inspección (ver 6.26.5.2)**

Representación Gráfica del Procedimiento

		Espesor de Material, pulgadas (mm)																	
Tipo de Junta	5/16 [8]	>1-1/2 [38]	>1-3/4 [45]	>2-1/2 [60]	>3-1/2 [90]	>4-1/2 [110]	>5 [130]	>6-1/2 [160]	>7 [180]										
	1-1/2 [38]	1-3/4 [45]	2-1/2 [60]	3-1/2 [90]	4-1/2 [110]	5 [130]	6-1/2 [160]	7 [180]	8 [200]										
	*		*		*		*		*		*		*		*		*		
Tope	1	O	1	F	1G	F	1G	F	6	F	8	F	9	F	12	F	12	F	
					o		o		o		o		o		o		o		
					4		5		7		10		11		13				
T	1	O	1	F	4	F	5	F	7	F	10	F	11	F	13	F	—	—	
					o		o		o		o		o		o				
					XF		XF		XF		XF		XF		XF				
Esquina	1	O	1	F	1G	F	1G	F	6	F	8	F	9	F	13	F	—	—	
					o		o		o		o		o		o				
					4	XF	5	XF	7	XF	10	XF	11	XF	14	XF			
Electrogas y Electroesc.	1	O	1	O	1G	1**	1G	P1	6	P3	11	P3	11	P3	11	P3	11	P3	
					o		o		o		o		o		o		o		
					4		3	P3	7		15		15		15		15**		



Notas Generales:

- Donde sea posible, todos los exámenes deben hacerse desde la Cara A y en la Pierna I, a menos que sea especificada otra cosa en esta Tabla.
- Las áreas de raíz de juntas soldadas de ranura sencilla, las cuales tienen placas de respaldo que por contrato no requieren removerse, deben ser examinadas en la Pierna I, donde sea posible, siendo la Cara A la opuesta al respaldo (puede ser necesario esmerilar la cara de la soldadura o examinar desde las caras adicionales de la soldadura, para permitir un barrido completo de la raíz de la soldadura).
- El examen con la Pierna II o III debe hacerse únicamente para cumplir con los requisitos de esta tabla o cuando sea necesario para examinar las áreas de soldadura inaccesibles debido a una superficie soldada sin esmerilar, o por interferencia con otra parte de la soldadura, o para cumplir los requisitos de 6.26.6.2.
- Debe usarse como máximo la Pierna III, únicamente donde el espesor o la geometría evite un barrido completo de las áreas soldadas y zonas afectadas por el calor con la Pierna I o la Pierna II.
- En soldaduras a tensión en estructuras cíclicamente cargadas, el cuarto superior del espesor debe examinarse con el final de la pierna del sonido proveniente de la Cara B hacia la Cara A, el cuarto inferior del espesor, debe ser examinado con el final de la pierna del sonido proveniente de la Cara A hacia la Cara B; por ejemplo, el cuarto superior del espesor debe examinarse ya sea desde la Cara A en la pierna II o desde la Cara B en la pierna I, a opción del contratista, a menos que se especifique otra cosa en los documentos del contrato.
- La cara de la soldadura indicada, debe ser esmerilada a ras antes de usar el procedimiento 1G, 6, 8, 9, 12, 14 ó 15. La Cara A, para los miembros conectados, debe estar en el mismo plano.

**Tabla 6.7 (Continuación)**

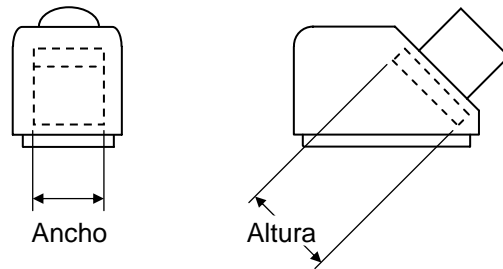
Leyenda:

- X — Inspeccionar desde la Cara "C".
- G — Esmerilar la cara de la soldadura.
- O — No se requiere.
- Cara A — La cara del material desde la cual se hace el barrido inicial (en juntas en T y en esquina, siga los esquemas anteriores).
- Cara B — Cara opuesta a la Cara "A" (misma placa).
- Cara C — La cara opuesta a la soldadura en los miembros conectados o juntas en T o en esquina.
- \* — Se requiere solamente donde la indicación de la discontinuidad presenta la altura de referencia, y es detectada en la interfase metal de aporte - metal base, mientras se inspecciona en el nivel de barrido con procedimientos primarios seleccionados de la primera columna.
- \*\* — Usar 15 pulgadas (381 mm) ó 20 pulgadas (508 mm) de calibración de distancia de la pantalla.
- P — La técnica picha y cacha (emisor y receptor) debe hacerse únicamente para la evaluación de las discontinuidades en la parte media del espesor de la soldadura con palpadores de 45° ó 70° de igual especificación, ambos en una misma superficie de la soldadura (los palpadores deben mantenerse en una posición fija para controlar la posición — ver esquema). Para la técnica picha y cacha, la calibración de la amplitud normalmente se hace calibrando con un solo palpador. Cuando se conecta al modo dual, para la técnica picha y cacha, debe haber la seguridad de que ésta calibración no cambia como resultado de las variables del instrumento.
- F — Las indicaciones en la interfase metal base - soldadura deben evaluarse con transductores de 70°, 60° ó 45° — cualquiera cuya trayectoria del sonido se acerque más a la perpendicular a la superficie de fusión esperada.

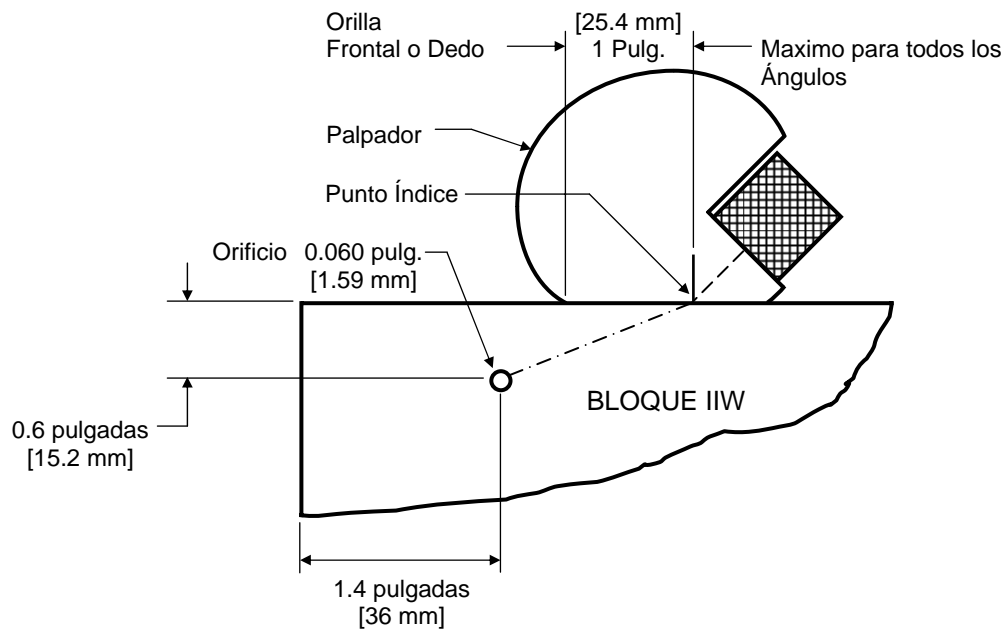
Leyenda del procedimiento

Área del espesor de la soldadura

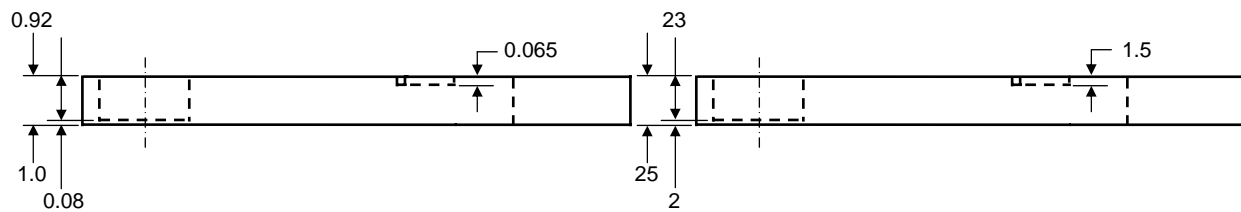
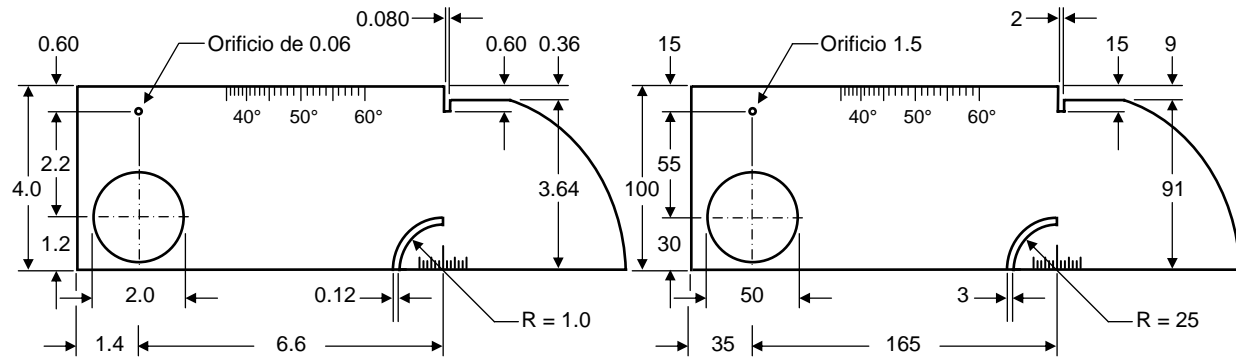
No.	Cuarto Superior	Mitad Media	Cuarto Inferior
1	70°	70°	70°
2	60°	60°	60°
3	45°	45°	45°
4	60°	70°	70°
5	45°	70°	70°
6	70°GA	70°	60°
7	60° B	70°	60°
8	70°GA	60°	60°
9	70°GA	60°	45°
10	60° B	60°	60°
11	45° B	70°**	45°
12	70°GA	45°	70°GB
13	45° B	45°	45°
14	70°GA	45°	45°
15	70°GA	70°AB	70°GB



**Figura 6.17-Cristal Transductor  
(ver 6.22.7.2)**



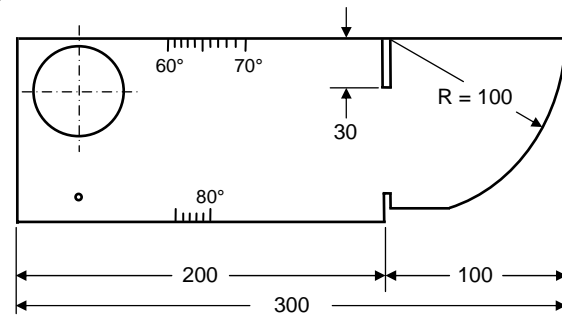
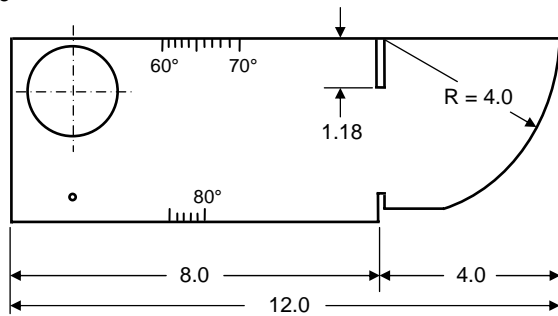
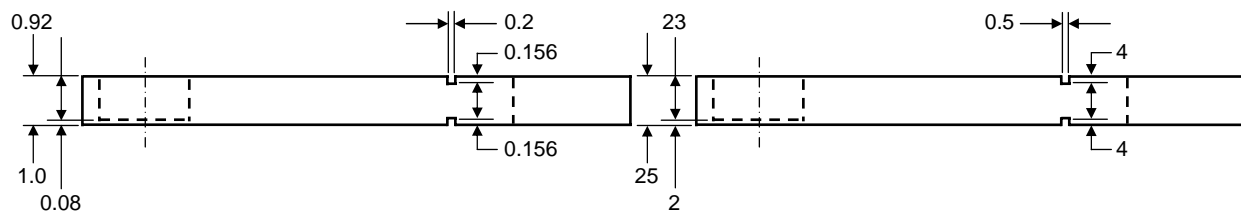
**Figura 6.18—Procedimiento de Calificación del Palpador  
Usando el Bloque de Referencia IIW (ver 6.22.7.7)**



DIMENSIONES EN SISTEMA INGLÉS

DIMENSIONES EN SI (mm)

(A) TIPO 1 (TÍPICO)



DIMENSIONES EN SISTEMA INGLÉS

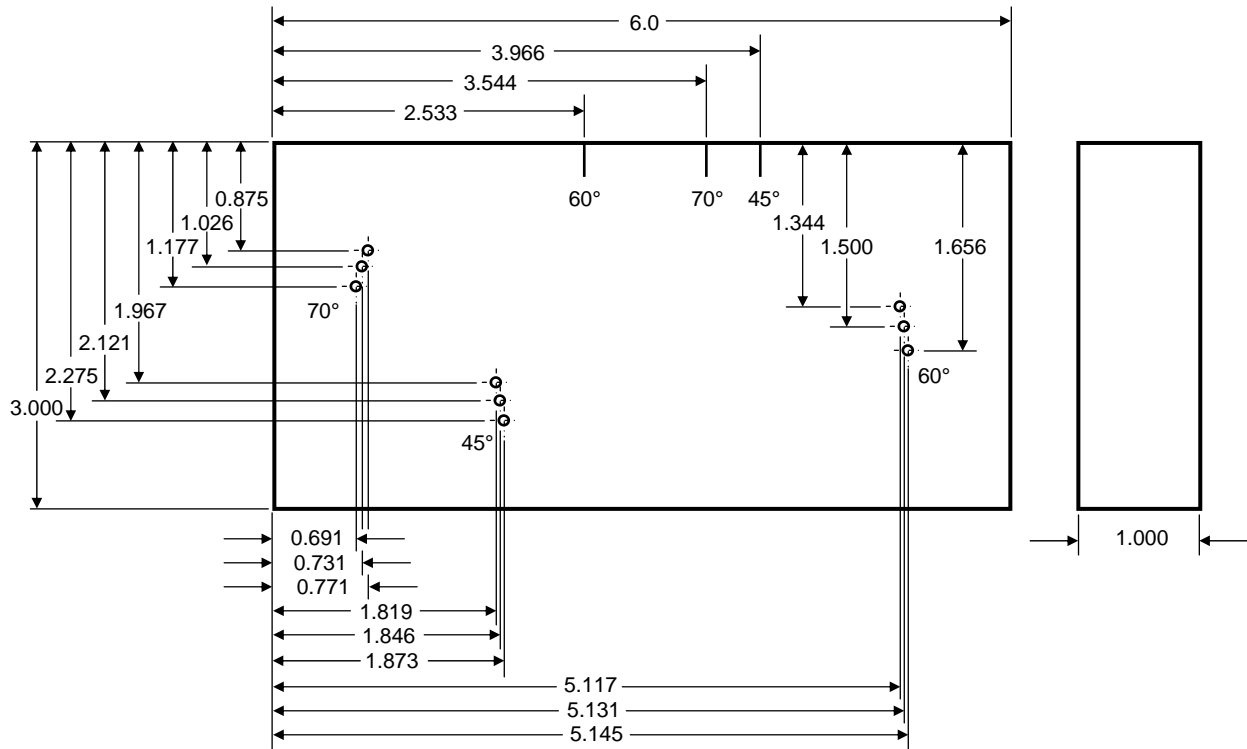
DIMENSIONES EN SISTEMA INTERNACIONAL

(B) TIPO 2 (TÍPICO)

Notas:

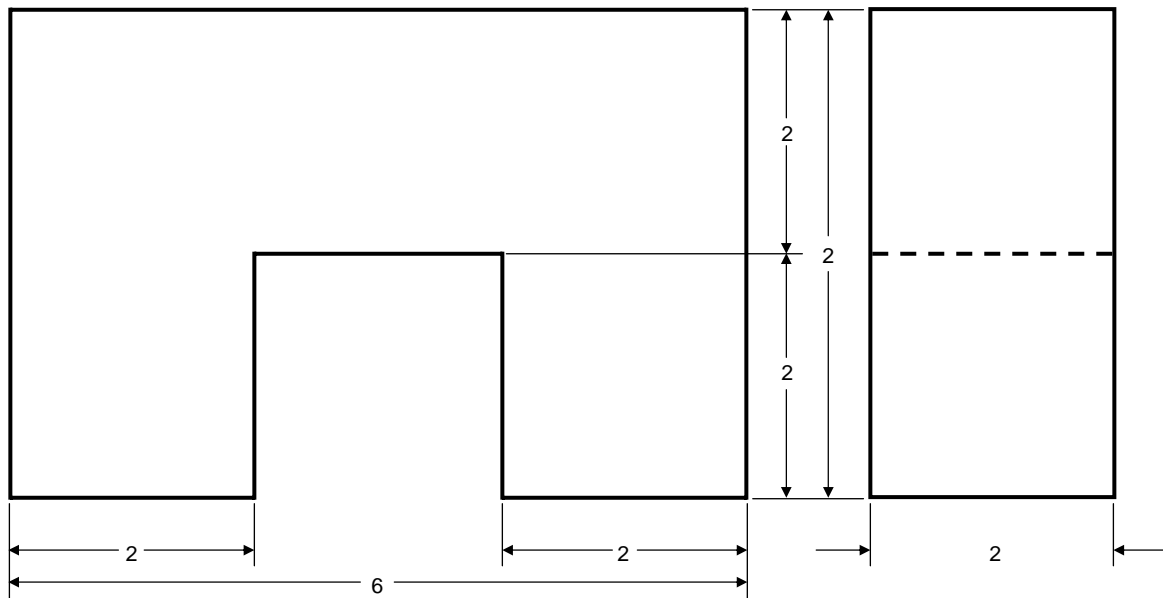
- Las tolerancias en dimensiones entre todas las superficies involucradas de referencia o calibración, deben estar entre  $\pm 0.005$  pulgadas [0.13 mm.] de la dimensión indicada.
- El acabado de todas las superficies donde es aplicado o reflejado el sonido, deben tener un máximo de 125  $\mu$ pulgadas.[3  $\mu$ m] r.m.s.
- Todo el material debe ser ASTM-A36 o acústicamente equivalente.
- Todos los orificios deben tener un acabado interno liso y deben estar barrenados a 90° con respecto a la superficie del material.
- Las líneas de grados y marcas de identificación deben ser identadas en la superficie del material para que pueda mantenerse su orientación permanente.
- Otros bloques de referencia aprobados, con dimensiones ligeramente diferentes o ranuras de calibración de distancia, son permitidos (ver Anexo H).
- Estas notas deben aplicar a todos los esquemas en las Figuras 6.19 y 6.20.

**Figura 6.19—Bloques de referencia ultrasónica del Instituto Internacional de Soldadura (IIW)**



Nota: Todos los orificios son de 1/16 de pulgada de diámetro

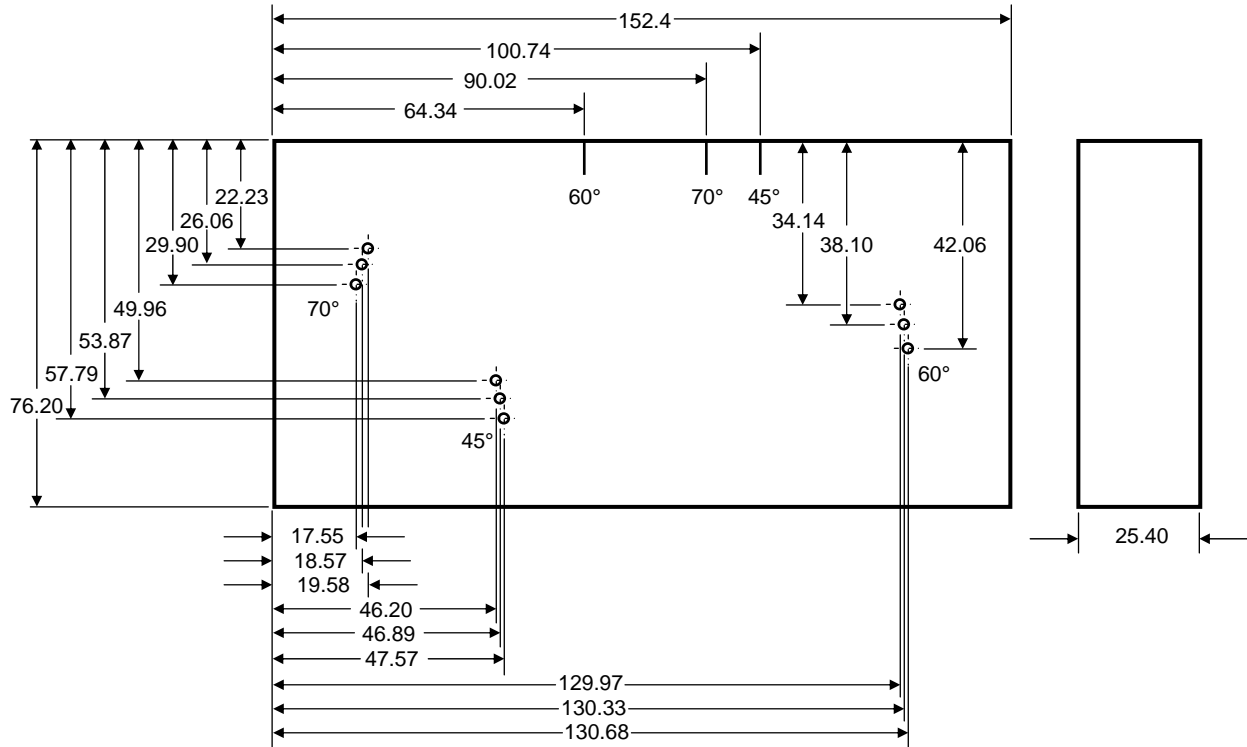
RC – BLOQUE DE REFERENCIA DE RESOLUCIÓN



TIPO – BLOQUE DE REFERENCIA DE DISTANCIA Y SENSIBILIDAD

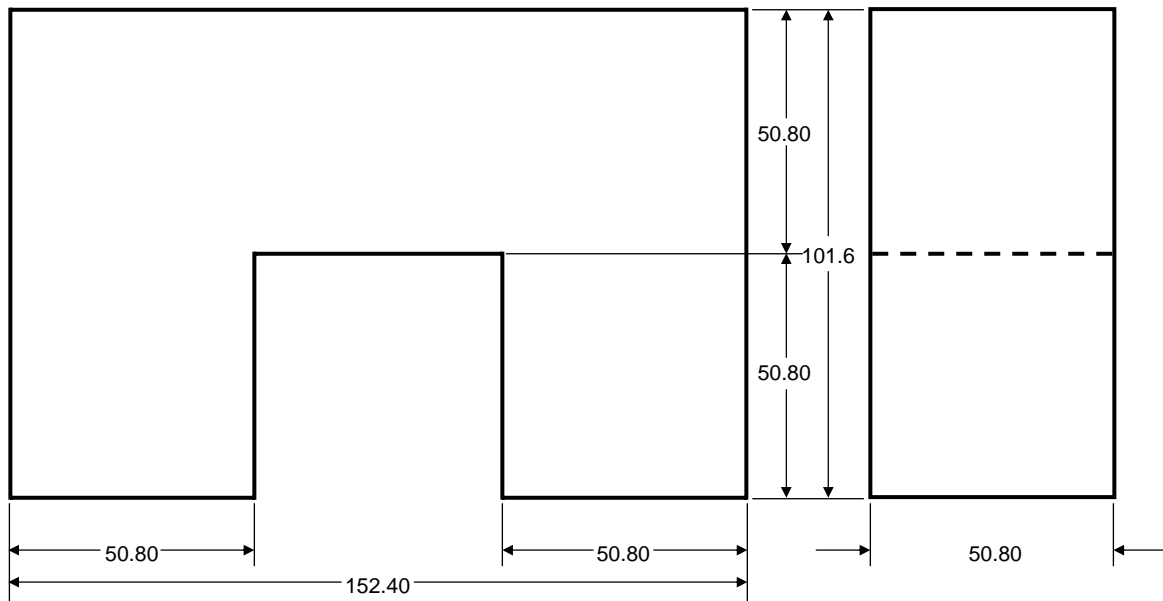
Dimensiones en Pulgadas

Figura 6.20—Bloques de Calificación (ver 6.23.3)



Nota: Todos los orificios son de 1.59 milímetros de diámetro

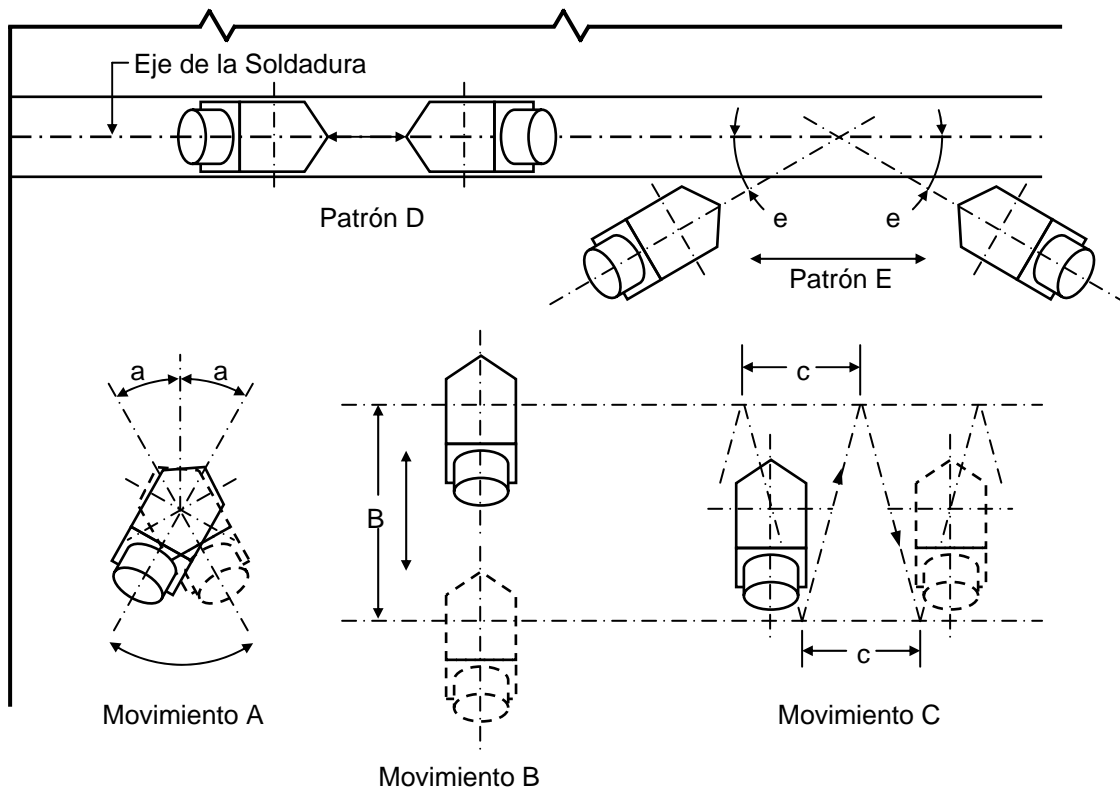
RC – BLOQUE DE REFERENCIA DE RESOLUCIÓN



TIPO – BLOQUE DE REFERENCIA DE DISTANCIA Y SENSIBILIDAD

Dimensiones en Milímetros

Figura 6.20 (Continua)—Bloques de Calificación (ver 6.23.3) (Métrico)

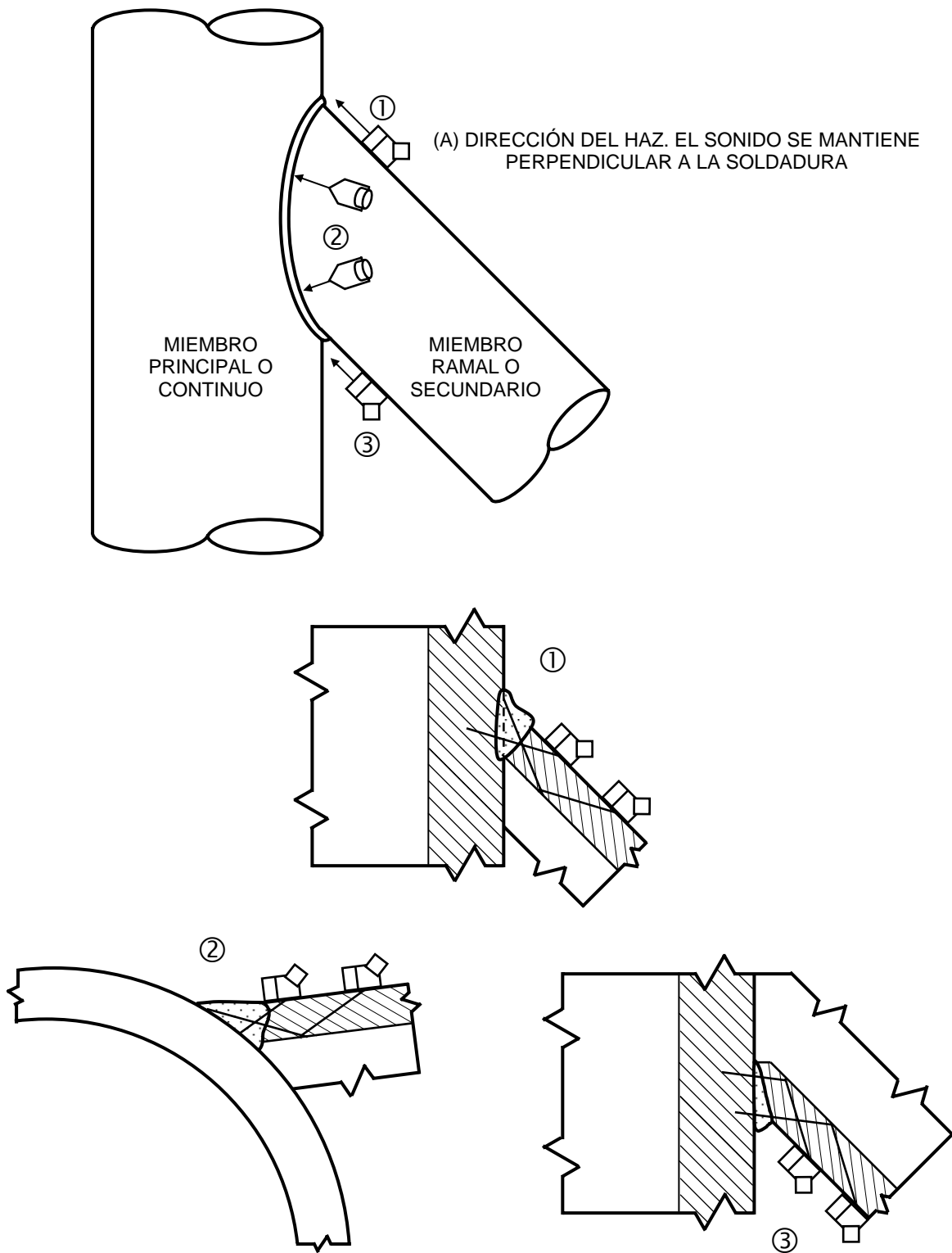


Notas:

1. Los patrones de inspección son todos simétricos alrededor del eje de la soldadura con excepción del patrón D el cual se realiza directamente sobre el eje de la soldadura.
2. La inspección desde ambos lados del eje de la soldadura debe ser realizada hasta donde sea mecánicamente posible.

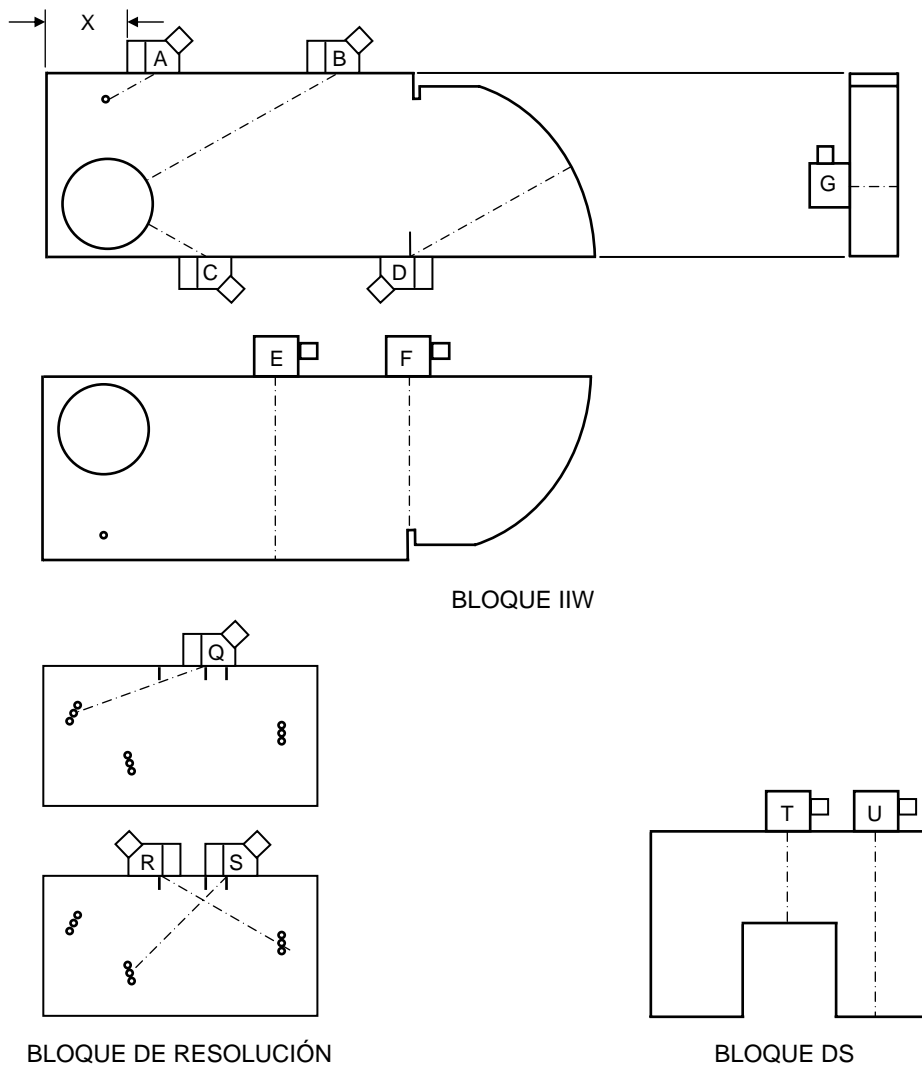
**Figura 6.21—Vista del Plan de Patrones de Barrido de Ultrasonido (ver 6.32)**





(B) TRAYECTORIAS EN "V". UTILICE UNA SOLA O PIERNAS MÚLTIPLES Y VARIOS ÁNGULOS, COMO SEA REQUERIDO, PARA CUBRIR LA SOLDADURA COMPLETAMENTE INCLUYENDO EL ÁREA DE LA RAÍZ.

**Figura 6.22—Técnicas de Barrido (ver 6.27.5)**



**Figura 6.23—Posiciones de Transductores (Típicas) (ver 6.29)**

## ANEXO H (Normativo)

### Calificación y Calibración del Instrumento Ultrasonico con Otros Bloques de Referencia Aprobados (Ver Figura H.1)

(Éste Anexo es una parte de ANSI/AWS D1.1/D1.1M:2008, *Código para Estructuras Soldadas-Acero*, incluye elementos obligatorios para usarse con éste estándar).

## H1. Modo Longitudinal

### H1.1 Calibración en Distancia

**H1.1.1** El transductor debe ser colocado en la posición H sobre el bloque DC, o M sobre el bloque DSC.

**H1.1.2** El instrumento debe ser ajustado para producir indicaciones sobre la pantalla a 1 pulgada [25 mm], 2 pulgadas [50 mm], 3 pulgadas [75 mm], 4 pulgadas [100 mm], etc.

*NOTA: Con este procedimiento se establece una calibración en pantalla de 10 pulgadas [250 mm] y puede ser modificado para establecer otras distancias como es permitido por 6.25.4.1.*

**H1.2 Amplitud.** Con el transductor en la posición descrita en H1.1, la ganancia debe ser ajustada hasta que la indicación maximizada de la primera reflexión de pared posterior alcance entre 50 y 75% de la altura de pantalla.

## H2. Modo de Onda de Corte (Transversal)

### H2.1 Verificación del Punto de Entrada (Índice) del Sonido

**H2.1.1** El palpador debe ser colocado en la posición J o L sobre el bloque DSC; o I sobre el bloque DC.

**H2.1.2** El palpador debe ser movido hasta que la señal que proviene del radio es maximizada.

**H2.1.3** El punto en el Palpador que esté alineado con la línea sobre el bloque de calibración es indicativo del punto de entrada del sonido.

*NOTA: Este punto de entrada del sonido debe ser usado para todas las verificaciones posteriores de distancia y ángulos.*

### H2.2 Verificación del Ángulo del Recorrido del Sonido

**H2.2.1** El transductor debe ser colocado en la posición:

K sobre el bloque DSC para ángulos desde 45° hasta 70°

N sobre el bloque SC para 70°

O sobre el bloque SC para 45°

P sobre el bloque SC para 60°

**H2.2.2** El transductor debe ser movido hacia atrás y hacia adelante sobre la línea que indica el ángulo del transductor hasta que la señal que proviene del radio es maximizada.

**H2.2.3** El punto de entrada del sonido, sobre el transductor, debe ser comparado con la marca del ángulo sobre el bloque de calibración (tolerancia de 2°).

### H2.3 Calibración en Distancia

**H2.3.1** El transductor debe ser colocado en la posición L (Figura H-1) sobre el bloque DSC. El instrumento debe ser ajustado para que las indicaciones en la pantalla sean colocadas a 3 pulgadas [75 mm] y 7 pulgadas [180 mm].

**H2.3.2** El transductor debe ser colocado en la posición J sobre el bloque DSC (para cualquier ángulo). El instrumento debe ser ajustado para que las indicaciones en la pantalla sean colocadas a 1 pulgada [25 mm], 5 pulgadas [125 mm] y 9 pulgadas [230 mm].

**H2.3.3** El transductor debe ser colocado en la posición I sobre el bloque DC (para cualquier ángulo). El instrumento debe ser ajustado para que las indicaciones en la pantalla sean colocadas a 1 pulgada [25 mm], 2 pulgadas [50 mm], 3 pulgadas [75 mm], 4 pulgadas [100 mm], etc.

*NOTA: Con este procedimiento se establece una calibración en pantalla de 10 pulgadas [250 mm] y puede ser modificado para establecer otras distancias como es permitido por 6.25.5.1.*

#### **H2.4 Calibración de Amplitud o Sensibilidad**

**H2.4.1** El transductor debe ser colocado en la posición L sobre el bloque DSC (para cualquier ángulo). La señal maximizada de la ranura de 1/32 de pulgada [0.8 mm] debe ser ajustada para que la altura de la indicación alcance una línea de referencia horizontal.

**H2.4.2** El transductor debe ser colocado sobre el bloque SC en la posición:

N para un ángulo de 70°

O para un ángulo de 45°

P para un ángulo de 60°

La señal maximizada del orificio de 1/16 de pulgada [1.6 mm] debe ser ajustada para que la altura de la indicación alcance una línea de referencia horizontal.

**H2.4.3** La lectura en decibeles obtenida en H2.4.1 o H2.4.2 debe ser usada como el “nivel de referencia, b” en la hoja del Reporte de Inspección (Anexo M, Forma M-11), de acuerdo con 6.23.1.

### **H3. Procedimiento para la Linealidad Horizontal**

*NOTA: Ya que este procedimiento se realiza con un transductor de haz recto el cual produce ondas longitudinales con una velocidad del sonido de casi el doble que las ondas de corte, es necesario que sean usados rangos dobles de distancia para ondas de corte en la aplicación de éste procedimiento.*

**H3.1** Un transductor de haz recto, que cumpla con los requisitos de 6.22.6, debe ser acoplado en la posición:

G sobre el bloque IIW (Figura 6.23)

H sobre el bloque DC (Figura H.1)

M sobre el bloque DSC (Figura H.1)

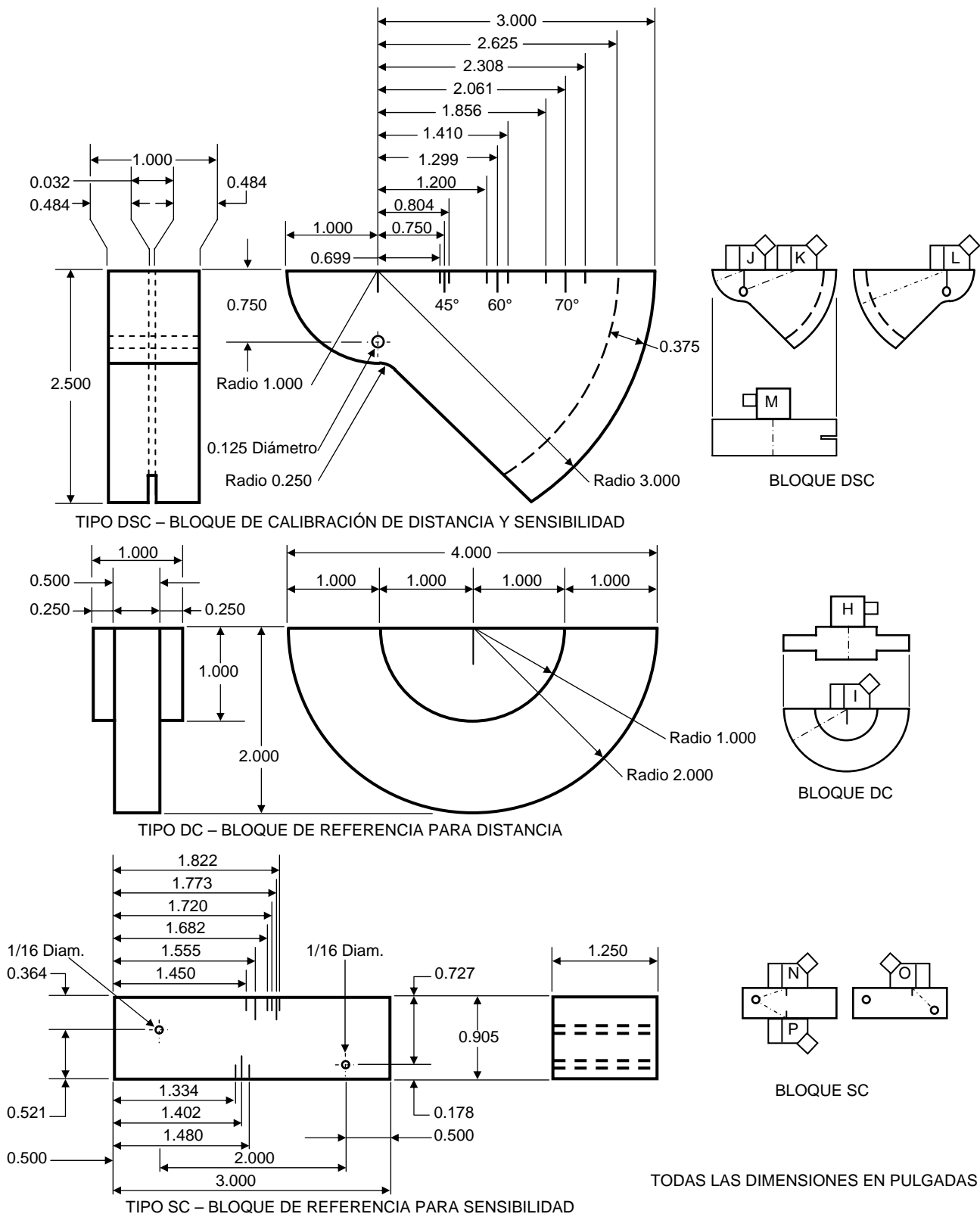
T o U sobre el bloque DS (Figura 6.23)

**H3.2** Deben obtenerse un mínimo de cinco reflexiones de pared posterior en el rango de calificación que está siendo certificado.

**H3.3** La primera y la quinta reflexión posterior deben ser ajustadas en su posición adecuada con el uso de los controles de calibración en distancia y retardo de cero.

**H3.4** Cada indicación debe ser ajustada al nivel de referencia con el control de ganancia o atenuación para la verificación de la posición horizontal.

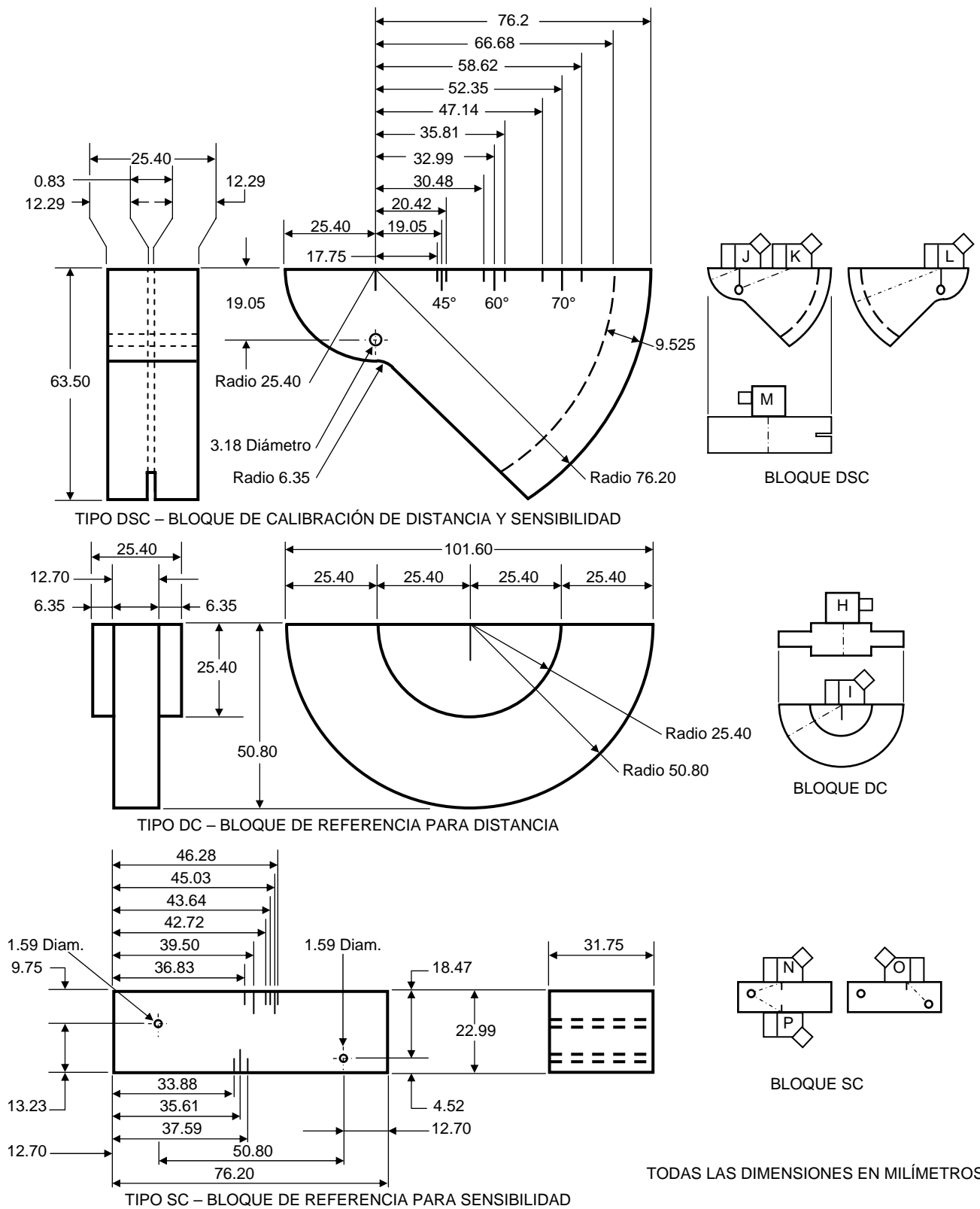
**H3.5** La posición de cada una de las deflexiones intermedias del trazo debe ser corregida dentro de  $\pm 2\%$  del ancho de la pantalla.



Notas:

1. La tolerancia en dimensiones entre todas las superficies involucradas en referencia o calibración deben estar entre  $\pm 0.005''$  de la dimensión indicada.
2. El acabado de todas las superficies donde es aplicado o reflejado el sonido, deben tener un máximo de  $125 \mu\text{pulgadas}$  r.m.s.
3. Todo el material debe ser ASTM A36 o acústicamente equivalente.
4. Todos los orificios deben tener un acabado interno terso y deben estar barrenados a  $90^\circ$  con respecto a la superficie del material.
5. Las líneas de grados y marcas de identificación deben ser indentadas en la superficie del material para que pueda mantenerse su orientación permanente.

**Figura H.1—Otros Bloques Aprobados y Posición Típica del Transductor (ver H2.3.1)**



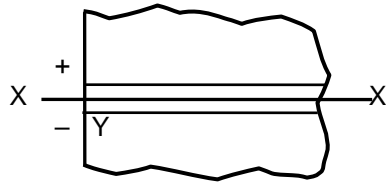
Notas:

1. La tolerancia en dimensiones entre todas las superficies involucradas en referencia o calibración deben estar entre  $\pm 0.13$  mm de la dimensión indicada.
2. El acabado de todas las superficies donde es aplicado o reflejado el sonido, deben tener un máximo de  $3.17 \mu\text{m}$ . r.m.s.
3. Todo el material debe ser ASTM A36 o acústicamente equivalente.
4. Todos los orificios deben tener un acabado interno terso y deben estar barrenados a  $90^\circ$  con respecto a la superficie del material.
5. Las líneas de grados y marcas de identificación deben ser indentadas en la superficie del material para que pueda mantenerse su orientación permanente.

**Figura H.1 (Continua)—Otros Bloques Aprobados y Posición Típica del Transductor (ver H2.3.1)(Métrico)**

Forma M-11  
**REPORTE DE INSPECCIÓN ULTRASÓNICA DE SOLDADURAS**

Proyecto \_\_\_\_\_ Reporte no. \_\_\_\_\_



Identificación de la soldadura \_\_\_\_\_  
 Espesor del Material \_\_\_\_\_  
 Junta soldada AWS \_\_\_\_\_  
 Proceso de soldadura \_\_\_\_\_  
 Requisitos de calidad —sección no. \_\_\_\_\_  
 Observaciones \_\_\_\_\_

Número de Línea	Indicación Número	Ángulo del Transductor	Desde la Cara	Pierna*	Decibeles				Discontinuidad				Evaluación de la Discontinuidad	Observaciones	
					Nivel de Indicación	Nivel de Referencia	Factor de Atenuación	Relación Indicación	Longitud	Distancia Angular (recorrido)	Profundidad Desde sup. "A"	Distancia			
												a			b
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															

Nosotros, los que firmamos, certificamos que lo establecido en éste registro es correcto y que las soldaduras fueron preparadas e inspeccionadas de acuerdo con los requisitos de la Cláusula 6, Parte F de AWS D1.1/D1.1M (\_\_\_\_\_) Código Estructural para Soldaduras—Acero. (año)

Fecha de la Inspección \_\_\_\_\_

Fabricante o contratista \_\_\_\_\_

Inspeccionado por \_\_\_\_\_

Autorizado por \_\_\_\_\_

Nota: Esta forma es aplicable a la Cláusula 2, Partes B o C (Estructuras Estática y Cíclicamente cargadas). NO se use para Estructuras Tubulares (Cláusula 2, Parte D).

Fecha \_\_\_\_\_



EL PRIMER NOMBRE  
EN PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

PAGINA			TITULO: <b>PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN ULTRASÓNICA DE PLACAS DE ACERO</b>	PROCEDIMIENTO
1	DE	6		<b>LLOG-UT-005</b>
REVISION				
ORIGINAL				

**OBJETIVO**

Establecer los parámetros necesarios para la inspección ultrasónica por la técnica de pulso eco de placas de acero roladas

	NOMBRE	TITULO	FIRMA	FECHA
<b>ELABORADO POR:</b>	JUAN PEREZ	NIVEL II SNT-TC-1A		
<b>REVISADO Y APROBADO POR:</b>	PEDRO SANCHEZ	NIVEL III SNT-TC-1A		

**CONTROL DE REVISIONES**

REVISIÓN	FECHA DE VIGENCIA	RESPONSABLE DE LA REVISION
ORIGINAL	FEBRERO 30, 2000	ANTONIO LOPEZ





EL PRIMER NOMBRE  
EN PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

P A G I N A		TITULO: <b>PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN ULTRASÓNICA DE PLACAS DE ACERO</b>	PROCEDIMIENTO
<b>2</b>	DE <b>6</b>		<b>LLOG-UT-005</b>
R E V I S I O N			
<b>ORIGINAL</b>			

### 1.0 OBJETIVO

Establecer los parámetros necesarios para la inspección ultrasónica por la técnica de pulso eco de placas de acero roladas.

### 2.0 ALCANCE

- 2.1 Éste procedimiento describe el método y criterios de aceptación y rechazo para la inspección ultrasónica por la técnica de pulso eco y con haz recto de placas de acero roladas.
- 2.2 Éste procedimiento es aplicable para la inspección de placas de acero al carbón y de acero aleado con espesores de 1/2 pulgada y mayores.

### 3.0 RESPONSABILIDADES

- 3.1 Es responsabilidad del personal técnico de ABC, S.A. de C.V. nivel II o nivel III, realizar las inspecciones, interpretar, evaluar y reportar los resultados de las inspecciones de acuerdo a los requisitos de éste procedimiento.
- 3.2 Es responsabilidad del Gerente de Control de Calidad de ABC, S.A. de C.V., el control y actualización de éste procedimiento.

### 4.0 REQUISITOS DE PERSONAL

- 4.1 El personal que realice las inspecciones debe estar calificado y certificado de acuerdo al Procedimiento de Capacitación, Calificación y Certificación del personal de ABC, S.A. de C.V. No. ABC-END-CCC-001.
- 4.2 El personal que realice las inspecciones, interprete, evalúe y elabore el reporte de resultados de las inspecciones debe estar calificado y certificado como nivel II o III en el método de inspección por ultrasonido.

### 5.0 NORMAS Y DOCUMENTOS DE REFERENCIA

Éste procedimiento se apega al siguiente documento

- 5.1 ASTM A 435 Ed. 1990 Standard Specification for Straight Beam Ultrasonic Examination of Steel Plates (ASTM A 435 Ed. 1990 Especificación Normalizada para el Examen Ultrasónico con Haz Recto de Placas de Acero).



EL PRIMER NOMBRE  
EN PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

P A G I N A		TITULO: <b>PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN ULTRASÓNICA DE PLACAS DE ACERO</b>	PROCEDIMIENTO
<b>3</b>	DE <b>6</b>		<b>LLOG-UT-005</b>
R E V I S I O N			
<b>ORIGINAL</b>			

## 6.0 REQUISITOS GENERALES

### 6.1 Equipo y accesorios.

6.1.1 **Instrumento ultrasónico.** Se empleará un detector de fallas ultrasónico de tipo pulso eco, con tubo de rayos catódicos o del tipo monitor de video (presentación A-scan).

6.1.2 **Calibración de instrumentos ultrasónicos.** Los instrumentos ultrasónicos se deben verificar y evaluar, en su funcionamiento, periódicamente de acuerdo con lo establecido en el procedimiento LLOG-UT-002.

6.1.3 **Frecuencia.** El detector de fallas ultrasónico debe ser capaz de generar frecuencias sobre un rango de al menos 1 MHz a 5 MHz. Se pueden utilizar instrumentos que operen a otras frecuencias si la sensibilidad es igual o mejor y es demostrado y documentado. Se recomienda una frecuencia nominal de trabajo de 2.25 MHz. El espesor, tamaño de grano o microestructura del material y la naturaleza del equipo o del método pueden requerir frecuencias de inspección mayores o menores. Sin embargo, frecuencias menores de 1 MHz pueden ser utilizadas solamente cuando el cliente esté de acuerdo y quede establecido por escrito.

6.1.4 **Verificación y calibración del equipo.** El equipo para realizar la inspección debe calibrarse y verificarse en el lugar donde será hecha la inspección, al principio y al final de cada inspección, cuando se cambia al personal y en cualquier momento que se sospeche un mal funcionamiento. Si durante cualquier verificación se determina que el equipo de prueba no está funcionando adecuadamente, todas las inspecciones realizadas desde la última calibración válida del equipo deben volver a inspeccionarse.

6.2 **Palpadores.** Se utilizarán palpadores de haz recto, con elementos transductores con diámetros de 1" a 1 1/8" (25 a 30 mm), o 1" (25 mm) cuadrada. Sin embargo, cualquier transductor que tenga un área activa 0.7" cuadradas (450 mm<sup>2</sup>) puede ser utilizado. Otros palpadores podrán ser usados para evaluar y delimitar las zonas con discontinuidades.

6.3 **Acoplante.** Se puede emplear ya sea agua, aceite, goma de celulosa o vaselina como acoplante. Se debe emplear el mismo acoplante para la calibración y la inspección. La selección del acoplante será de acuerdo al acabado superficial, posición u orientación de la superficie, a la temperatura de la superficie del material a inspeccionar o a posibles reacciones químicas del acoplante con el material.



EL PRIMER NOMBRE  
EN PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

P A G I N A		TITULO: <b>PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN ULTRASÓNICA DE PLACAS DE ACERO</b>	PROCEDIMIENTO
4	DE 6		<b>LLOG-UT-005</b>
R E V I S I O N			
<b>ORIGINAL</b>			

6.4 **Calibración.** El sistema de inspección debe ser calibrado en el lugar donde se va a efectuar la inspección y utilizando como referencia una sección de la misma placa a inspeccionar que esté libre de indicaciones de discontinuidades.

6.5 Las inspecciones deben realizarse por el método de contacto directo.

### 7.0 ETAPAS Y ÁREAS DE EXAMEN.

7.1 La inspección ultrasónica por la técnica pulso eco y con haz recto de placas de acero roladas se llevará a cabo cuando el cliente así lo solicite.

7.2 Se deberá realizar la localización y marcaje de las líneas de barrido de la siguiente forma:

7.2.1 Trazar un cuadrículado con líneas continuas y perpendiculares con una separación entre líneas de 9"x9".

7.2.2 Las líneas de barrido deben ser medidas desde el centro de la placa o desde una de las esquinas.

### 8.0 DESARROLLO DE LA INSPECCIÓN.

#### 8.1 Preparación de las superficies.

8.1.1 Toda la superficie de cada placa a inspeccionar debe estar lo suficientemente limpia y con un acabado superficial adecuado para mantener la reflexión de pared posterior de referencia a un nivel de por lo menos 50% de la escala vertical de la pantalla durante toda la inspección.

8.1.2 Se deberá eliminar cualquier material extraño que pudiera interferir con la inspección tal como grasa de inspecciones anteriores, suciedad, grumos de pintura, grumos de soldadura, aceite, cáscara de tratamiento térmico, etc.

8.1.3 Cuando sea necesario se utilizarán medios mecánicos adecuados para la eliminación de contaminantes de la superficie. Medios mecánicos tales como esmerilado, limpieza con chorro de granalla, etc.

#### 8.2 Calibración del instrumento ultrasónico.

8.2.1 La calibración o ajuste del instrumento ultrasónico debe realizarse de acuerdo con lo siguiente:

8.2.1.1 Calibrar la escala horizontal de la pantalla a un rango adecuado dependiendo del espesor a inspeccionar.



EL PRIMER NOMBRE  
EN PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

P A G I N A		TITULO: <b>PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN ULTRASÓNICA DE PLACAS DE ACERO</b>	PROCEDIMIENTO
5	DE 6		<b>LLOG-UT-005</b>
R E V I S I O N			
<b>ORIGINAL</b>			

8.2.1.2 Obtener la reflexión de pared posterior en una zona de la placa y ajustar su amplitud a un nivel de referencia de entre el 50% y el 75% de la escala vertical de la pantalla.

8.2.1.3 Después de la calibración realizar un barrido lineal en una distancia de, por lo menos, 1T o 6" (150 mm), lo que sea mayor y verificar la posición de la reflexión de pared posterior. Cualquier cambio en la localización de la reflexión de pared posterior durante la calibración es motivo para la recalibración del instrumento ultrasónico.

### 8.3 Inspección.

8.3.1 Se debe realizar un barrido continuo sobre las líneas del cuadrículado indicado en el párrafo 7.2.1.

8.3.2 Adicionalmente se debe realizar un barrido al 100% sobre una franja de 2" (50 mm) de ancho, a todo lo largo y en todas las orillas de la superficie de cada placa.

8.3.3 Cuando se realice el barrido de inspección sobre el cuadrículado y se obtenga la pérdida total de la reflexión de pared posterior acompañada por una indicación continua detectada a lo largo de una línea dada del cuadrículado, el área superficial completa de los cuadros adyacente a la indicación deben ser inspeccionados 100%.

### 8.4 Marcado de las placas.

8.4.1 Las placas aceptadas, de acuerdo a éste procedimiento, deben ser identificadas por estampado mecánico o con pintura, y con la siguiente leyenda: UT 435, adyacente al número de reporte de la inspección.

### 9.0 INDICACIONES REGISTRABLES.

9.1 Se debe registrar y reportar toda indicación de discontinuidad que tenga una amplitud igual o mayor al 20% del nivel de amplitud de referencia.

### 10.0 MÉTODO DE EVALUACIÓN.

10.1 Donde se presenten las condiciones indicadas del párrafo 8.3.3, se deben establecer los bordes verdaderos de la discontinuidad siguiendo el procedimiento siguiente:

10.1.1 Mover el palpador más allá del centro de la discontinuidad hasta que la altura de la reflexión de pared posterior y la reflexión de la discontinuidad sean iguales.





EL PRIMER NOMBRE  
EN PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

## REPORTE DE INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO

### 1.-GENERALIDADES.

REPORTE No.:	FECHA:	HOJA: _____ DE _____
CLIENTE:	COTIZACION No:	

### 2.-DATOS DE LA PIEZA.

DESCRIPCION DE LA PIEZA:	
DIMENSIONES:	TIPO DE MATERIAL:
No. DE SERIE:	No. DE PARTE:
PROCESO DE FABRICACIÓN:	
ACABADO SUPERFICIAL:	

### 3.-INFORMACION SOBRE LA INSPECCION.

PROCEDIMIENTO No.:	REVISION:	NORMA:
AJUSTE DE SENSIBILIDAD:		
BLOQUE DE REFERENCIA:		
ETAPA DE LA INSPECCION:	ACOPLANTE:	
ZONA INSPECCIONADA:		

### 4.-EQUIPO.

MARCA:	MODELO:	No. DE SERIE:
--------	---------	---------------

### 5.-PALPADOR.

MARCA:	MODELO:	TIPO:
DIMENSIONES:	FRECUENCIA:	ANGULO:

### 6.-OBSERVACIONES.

_____ _____
----------------

### 7.-RESULTADOS DE LA INSPECCION.

ACEPTADO <input type="checkbox"/> RECHAZADO <input type="checkbox"/>	CRITERIO DE ACEPTACIÓN: _____ _____ _____
--	---

ELABORO:	APROBO:	CLIENTE:
NIVEL _____ SNT-TC-1A	NIVEL _____ SNT-TC-1A	NOMBRE:
FECHA:	FECHA:	FECHA:

# CAPITULO SIETE: FÓRMULAS Y TABLAS

## VII

### Fórmulas

$$1. \quad \text{Longitud de onda (mm)} = \frac{\text{Velocidad (km/seg)}}{\text{Frecuencia (MHz)}}$$

$$2. \quad \% \text{ Energía reflejada} = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2} \times 100$$

$$3. \quad \% \text{ Presión reflejada} = \frac{(Z_2 - Z_1)}{(Z_2 + Z_1)} \times 100$$

$$4. \quad \% \text{ Presión transmitida} = \frac{4 Z_2 Z_1}{(Z_2 + Z_1)^2} \times 100$$

Donde:  $Z_1$  = Impedancia acústica en el primer medio  
 $Z_2$  = Impedancia acústica en el segundo medio

$$5. \quad \text{dB} = 20 \log_{10} \frac{A_2}{A_1}$$

$$6. \quad \text{Relación de amplitudes } (A_2 / A_1) = \text{antilog} \frac{\text{dB}}{20}$$

Donde:  $A_2 / A_1$  = Relación de amplitudes  
 dB = Relación de amplitudes expresada en decibeles

$$7. \quad \text{Ley de Snell} \quad \frac{\text{Sen } \alpha}{\text{Sen } \theta} = \frac{V_1 \text{ (km/seg)}}{V_2 \text{ (km/seg)}}$$

Donde:  $\alpha$  = Ángulo de incidencia  
 $\theta$  = Ángulo de refracción

$$8. \quad \text{Campo cercano (mm)} = \frac{D^2 \text{ (mm)} \times f \text{ (MHz)}}{4 V \text{ (km/seg)}}$$

$$9. \quad \text{Divergencia del haz} = \text{Arc Sen} \frac{1.22 V \text{ (km/seg)}}{D \text{ (mm)} \times f \text{ (MHz)}}$$

### ***Focalización del haz ultrasónico***

$$10. \quad F = R \left( \frac{n}{n - 1} \right)$$

$$11. \quad R = F \left( \frac{n - 1}{n} \right)$$

Donde: R = Radio de curvatura del lente  
 F = Longitud focal  
 n = Índice de refracción (relación) de velocidades



**Haz angular**

12. Distancia de brinco (SD) =  $2e \times \tan \theta$

13. Longitud de pierna =  $\frac{e}{\cos \theta}$

14. Trayectoria en "V" =  $\frac{2e}{\cos \theta}$

15. Distancia superficial = Distancia angular x  $\sin \theta$

16. Profundidad en primera pierna = Distancia angular x  $\cos \theta$

17. Profundidad en segunda pierna =  $2e - (\text{Distancia angular} \times \cos \theta)$

18. Profundidad en tercera pierna =  $(\text{Distancia angular} \times \cos \theta) - 2e$

19. Profundidad en cuarta pierna =  $4e - (\text{Distancia angular} \times \cos \theta)$

Donde: e = Espesor

$\theta$  = Ángulo de refracción

Distancia angular = Distancia de recorrido del haz

### Propiedades Acústicas

Material	Velocidad Longitudinal		Velocidad de Corte		Impedancia Acústica
	pulg/ $\mu$ seg	cm/ $\mu$ seg	pulg/ $\mu$ seg	cm/ $\mu$ seg	gr/cm <sup>2</sup> $\mu$ seg
Aceite de motor	0.069	0.174	---	---	0.151
Acero 1020	0.232	0.589	0.128	0.324	4.541
Acero 4340	0.230	0.585	0.128	0.324	4.563
Acero 316	0.23	0.58	0.12	0.31	4.6
Agua	0.058	0.148	---	---	0.148
Aire	0.013	0.033	---	---	0.00003
Aluminio	0.249	0.632	0.123	0.313	1.706
Babbit	0.091	0.23	---	---	2.32
Berilio	0.508	1.290	0.350	0.888	2.35
Bronce	0.14	0.35	0.088	0.22	3.13
Cobre	0.183	0.466	0.089	0.226	4.161
Estaño	0.131	0.332	0.066	0.167	2.420
Gasolina	0.049	0.13	---	---	0.10
Glicerina	0.076	0.192	---	---	0.242
Hierro	0.232	0.590	0.127	0.323	4.543
Hierro (Gris)	0.19	0.48	0.095	0.24	3.74
Hierro (Nodular)	0.22	0.56	---	---	---
Inconel	0.229	0.582	0.119	0.302	4.947
Latón	0.174	0.443	0.083	0.212	3.730
Lucita	0.106	0.268	0.050	0.126	0.316
Magnesio	0.23	0.58	0.12	0.30	1.06
Mercurio	0.057	0.145	---	---	1.966
Molibdeno	0.246	0.625	0.132	0.335	6.375
Monel	0.21	0.54	0.11	0.27	4.76
Níquel	0.222	0.563	0.117	0.296	4.999
Oro	0.128	0.324	0.047	0.120	6.260
Perspex	0.107	0.273	0.056	0.143	0.322
Plata	0.142	0.360	0.063	0.159	3.776
Platino	0.156	0.396	0.066	0.167	8.474
Plexiglass	0.11	0.28	0.043	0.11	0.35
Plomo	0.085	0.216	0.028	0.07	2.449
Poliamida (Nylon)	0.102	0.260	0.047	0.120	0.310
Poliestireno	0.092	0.234	---	---	0.247
Polietileno	0.11	0.27	---	---	0.23
PVC	0.094	0.2395	0.042	0.106	0.335
Titanio	0.240	0.610	0.123	0.312	2.769
Tungsteno	0.204	0.518	0.113	0.287	9.972
Uranio	0.133	0.337	0.078	0.198	6.302
Vidrio	0.22	0.57	0.14	0.35	1.45
Zinc	0.164	0.417	0.095	0.241	2.961
Zirconio	0.183	0.465	0.089	0.225	3.013