



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



*Diseño de una práctica para la detección de fallas por  
ultrasonido para el Laboratorio de Ensayos No  
Destructivos del Departamento de Materiales y Procesos  
de Fabricación*

*Trabajo especial de grado presentado ante la Ilustre Universidad de Carabobo  
para optar al título de Ingeniero Mecánico*

**Tutor académico:**

Ing. Sandra Cabello

**Autores:**

Mercado Prado, Enzo  
Quevedo Rodríguez, Orlando

Naguanagua, 30 de Octubre del 2012

# *Dedicatoria*

---

A Dios, por darme salud y guiarme en todo momento.

A mis abuelos, que aunque no estén presentes físicamente me acompañan en todo momento.

A mis padres, por su incondicional amor y apoyo, gracias a ellos soy lo que soy.

*Enzo F. Mercado Prado.*

# *Dedicatoria*

---

A mis padres, que por su inmensurable amor y esfuerzos me han dado la gran oportunidad de estar presentándoles esta obra de la ingeniería mecánica, por su apoyo tanto emocionalmente como económicamente.

A mi hermana y hermano, que igualmente me dieron todo su apoyo incondicional.

A mis amigos, por compartir conmigo todos esos gratos momentos y ayudarme en mi superación personal.

*Orlando R. Zuevedo Rodríguez.*

# Agradecimientos

---

Me siento agradecido en primer lugar por estar vivo y de poder disfrutar de la vida como me lo ha ido mostrando el destino. Eterno agradecimiento a Dios por brindarme los conocimientos, la sabiduría y la paciencia necesaria para poder sobrellevar y culminar mi carrera.

Agradezco a mi familia por el apoyo incondicional que me han brindado para llevar a cabo este trabajo y poder cumplir con mis metas, mi madre Ada Prado de Mercado, mi padre Fernando Mercado, mi hermana Yngrid Mercado Prado, mi hermano Hachiko Mercado Prado.

A mi amigo y compañero de tesis Orlando Quevedo, por ser una excelente persona y a mis amigos más cercanos Jerar Briceño, Laura Basanet, Julio Gelves, Carlos Galeán, Omar Pérez, Ángel Subero y Jorihanny Rivera, entre otros.

A la Ing. Sandra Cabello, por realizar una excelente labor como tutora durante este proyecto.

A mi tutor empresaria el Sr. Emilio Jelambi, por su apoyo y comprensión durante estos meses.

*Enzo F. Mercado Prado.*

# *Agradecimientos*

---

A Dios, por darme salud y permitirme vivir este momento tan especial al lado de mis seres queridos.

A mi familia, en especial a mi madre por siempre estar presente y a mi padre que a pesar de no estar presente en todo momento siempre conté y cuento con su apoyo incondicional.

Agradezco a mi compañero y gran amigo, Enzo Mercado, por ser un buen compañero de tesis, brindarme todo su apoyo y compartir gratos momentos a lo largo de toda la carrera.

A mis amigos, Jerar Briceño, Laura Toro, Carlos Galeán, Duviana Pedraza, Daniella García y Ángel Subero, entre otros.

A la Ing. Sandra Cabello, por realizar una excelente labor como tutora durante este proyecto.

Al Ing. Carlos Guinand y a su hijo Ing. Carlos Guinand II, por proporcionarnos la ayuda necesaria para que este trabajo fuese posible.

*Orlando R. Zuevedo Rodríguez.*





UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



## **Ensayo de Ultrasonido**

### **1. Objetivo general:**

Conocer el comportamiento de las señales ultrasónicas obtenidas asociadas a distintos tipos de fallas.

### **2. Bases teóricas:**

#### **2.1. Introducción:**

En los últimos años se ha visto un aumento dramático en el uso de ensayos de ultrasonido como método de detección de fallas gracias a su condición no destructiva a diferencia de ensayos convencionales. Estos ensayos ofrecen un gran potencial para aumentar la calidad de inspección, reducir el tiempo de éste y se tiene la ventaja de producir imágenes inmediatas de los defectos presentes en el material. Estas ventajas han llevado a la rápida adopción de los ensayos en el campo de la ingeniería.

Se considera ultrasonido aquellas oscilaciones de presión que poseen frecuencias por encima de la gama perceptible (esto es, superior a 20 000 Hz).

El método consiste en generar y emitir ondas muy bien definidas, para luego captarlas apoyándose en las leyes de reflexión al encontrar en su trayectoria un cambio en las propiedades físicas del medio en el cual se propagan. El procedimiento del ensayo consiste en introducir un haz sónico de alta frecuencia en el material a analizar, con el objetivo de detectar discontinuidades internas y superficiales. El sonido que recorre el material es reflejado por las interfaces y es detectado y analizado para determinar la presencia y localización de discontinuidades.

## **2.2. Características de la propagación de las ondas ultrasónicas.**

**2.2.1. Propagación del sonido:** el sonido se propaga a través de los materiales en forma de ondas. Una onda completa es denominada un ciclo. El sonido se mide por el número de ciclos u ondas que pasan por un punto dado en un periodo de tiempo.

**2.2.2. Ciclo:** es el proceso de completar un movimiento que se inicia en una condición determinada y termina en la misma condición.

**2.2.3. Duración de una onda.** De acuerdo a la duración de una onda, se distingue entre onda continua e impulso. La mayoría de los equipos de ultrasonido trabajan con impulsos, es decir, ondas de poca duración.

## **2.3. Longitud de ondas. Frecuencia y velocidad acústica.**

**2.3.1. Longitud de onda:** es la distancia de separación entre un punto sobre una onda y el próximo punto similar a la siguiente onda.

**2.3.2. Frecuencia:** es el número de ciclos completos que pasan por un punto dado en un segundo. En la inspección ultrasónica, la frecuencia esta relacionada con el numero de veces que vibra el cristal en el intervalo de un segundo. La unidad de la frecuencia es el Hertz.

Las frecuencias comúnmente utilizadas en el método de contacto directo son: 1 MHz, 2 MHz, 2.25 MHz, 4 MHz, 5 MHz y 10 MHz.

La frecuencia de 2.25 MHz es muy recomendable para la inspección ultrasónica porque proporciona adecuada sensibilidad y resolución; a la vez que logra una gran distancia de penetración.

#### **2.4. Tipos o modos de ondas ultrasónicas**

Se distinguen dos tipos principales de ondas en medios ilimitados, las ondas longitudinales y las ondas transversales. Aunque existen otros tipos de ondas, también utilizadas en los ensayos pero con menor frecuencia, tales como las ondas superficiales y las ondas de Lamb.

##### **2.4.1. Ondas longitudinales:**

Son aquellas que se propagan o se desplazan en la misma dirección del movimiento de las partículas. También se les llama ondas de presión o compresión, ya que originan zonas de compresión y dilatación; poseen una gran velocidad de propagación en la mayoría de los materiales y son susceptibles de viajar en líquidos, sólidos y gases. Estas son conocidas normalmente como ondas L.

##### **2.4.2. Ondas transversales:**

Estas ondas se desplazan en dirección perpendicular al movimiento de las partículas. Se les conoce como Ondas S, y su velocidad es aproximadamente la mitad de las ondas longitudinales. No viajan a través de líquidos o gases, por que necesitan para su propagación cierta elasticidad en el medio, la cual es muy baja en materiales no sólidos. También se les llama ondas de corte.

### **2.4.3. Ondas superficiales o de Rayleigh:**

Cuando el haz incidente forma un ángulo igual al segundo ángulo crítico, y las ondas cizallantes se desplazan por la superficie, tiene lugar la aparición de una tercera forma ondular conocida como Ondas de Rayleigh o Superficiales. Estas ondas tienen un movimiento de partículas elípticas. Las ondas de Rayleigh se propagan solo por sobre la superficie de los sólidos y guardan cierto parecido con las ondas superficiales del agua. Si existen grietas o discontinuidades en la superficie o justo debajo de ellas en una pieza, es posible obtener señales en la pantalla del equipo.

### **2.4.4. Ondas Lamb:**

Estas ondas se producen cuando una lámina cuyo espesor es comparable a una longitud de onda es atravesada por Ondas Ultrasónicas. Pueden ser generadas en laminas muy delgadas de metal usando ondas longitudinales de escogida velocidad y frecuencia y con cierto ángulo de incidencia el cual puede ser calculado mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Sen}(\theta) = C_l / C_p$$

Donde  $C_l$  = Velocidad de la onda incidente longitudinal  
 $C_p$  = Velocidad de la onda de Lamb deseada.

## **2.5. Reflexión y Refracción**

La reflexión se conoce como la acción de reflejar una onda sonora cuando incide sobre una interface. La interface es la superficie sobre la cual se encuentra otro medio de impedancia y es donde ocurre la reflexión.

La refracción es el cambio en la dirección de propagación de las ondas transmitidas, que se origina cuando una onda incide con un ángulo diferente de 0 sobre la superficie de interfase de dos medios con diferentes velocidades del sonido. En un mismo material no existe refracción, ya que no hay desviación de las ondas de incidencia, en este caso las ondas se transmiten. Para que se cumpla refracción deben cumplirse que existe incidencia angular, que las velocidades de los dos medios sean diferentes y que la diferencia de impedancia acústica entre los dos medios no sea muy grande.

## **2.6. Equipos impulso - Eco.**

Los equipos más utilizados en la inspección ultrasónica son los impulso – eco. El circuito electrónico de todas las marcas de estos equipos es más o menos similar, puesto que las funciones básicas son comunes a todas ellas. La nomenclatura de las funciones y la forma de presentarlas es lo que varía de un instrumento a otro. Toda unidad comprende las siguientes componentes:

### **2.6.1. Fuentes de corriente.**

Los circuitos que suministran la corriente necesaria para el funcionamiento de instrumento lo constituye la fuente de corriente de la red de servicios o las baterías contenidas en la unidad.

### **2.6.2. Palpador o transductor.**

El palpador consta de cristal y su soporte. El cristal convierte la energía eléctrica en energía ultrasónica e introduce vibraciones en la pieza sometida a pruebas; también recibe vibraciones reflejadas dentro de la pieza y las convierte en señales eléctricas, las cuales se amplifican y se representan en la pantalla.

### **2.6.3. Pulsador/Receptor.**

El pulsador o generador de impulsos constituye la fuente de impulsos cortos de intensa energía eléctrica, disparados por el generador de tiempo (timer), los cuales son aplicados al transductor. Los amplificamos y enviados a la unidad de presentación.

### **2.6.4. Presentación / Generador de tiempo.**

La presentación se obtiene mediante un osciloscopio o pantalla con generador de barrido, en algunos equipos un generador de marcadores, y los controles necesarios para obtener una imagen visual de las señales recibidas del espécimen. El generador constituye la fuente de todas las señales de tiempo para el pulsador y a veces se le denomina generador de repetición o reloj.

## **2.7. Controles.**

Existen controles para las diversas funciones del sistema, tales como fuentes de corriente, pulsador, receptor, generador de tiempo y presentación. La nomenclatura empleada en la siguiente descripción puede variar de una unidad a otra.

### **2.7.1. Encendido.**

Usualmente la fuente de corriente se controla mediante interruptores de encendido, apagado y fusibles. Después de encender la unidad entran en función ciertos elementos retardadores que protegen los elementos del circuito durante el periodo de arranque del instrumento e inicio de programas.

## **2.7.2. Pulsador / Receptor.**

Dentro de las funciones incluidas en este contacto están:

**2.7.2.1. Energía o Voltaje:** la energía del impulso transmitido a la pieza puede ser de alto o bajo voltaje (high or low), aunque hay equipos tienen un rango de 50 a 500 voltios. Este control influye en la duración de las baterías y se ajusta mediante los controles “Voltaje” o “Baja o Alta” energía (low / high).

**2.7.2.2. Frecuencia:** existe también un selector para las frecuencias de operaciones que señala las frecuencias que dispone el instrumento en megaciclos (MHz). Se debe utilizar la frecuencia más cercana a la del palpador a utilizar o el rango que la incluya.

**2.7.2.3. Ganancia:** los valores de ganancia (GAIN) se miden en decibeles y presentan dos funciones de ganancia, fina y gruesa (fine & coarse). La ganancia ajusta la amplitud de la señal en la pantalla, el uso de ganancias excesivas no es conveniente.

**2.7.2.4. Rechazo (Reject):** a fin de obtener una presentación clara, libre de ruidos de bajo nivel o grama existe este control que permite suprimirlos.

**2.7.2.5. Amortiguación:** (Damping) este control que permite acortar la duración de los tiempos del impulso mediante, el cual ajusta la longitud del tren de ondas aplicado al palpador. Una amortiguación intensa mejora la resolución.

**2.7.3. Conectores:** para conectar el palpador el equipo tiene dos conectores al frente, uno emisor y uno receptor, en caso de usar palpador emisor – receptor, se puede conectar a cualquiera de las dos, si se va usar uno emisor y otro receptor se deben conectar en su posición correspondiente e indicar que se va a trabajar en dual.

#### **2.7.4. Presentación de pantalla:**

Los controles básicos para ajustar la base de tiempo de la pantalla son:

**2.7.4.1. Rango:** permite definir el rango de barrido de la pantalla, puede variar dependiendo del equipo, usualmente desde 10 mm hasta 1000 mm o mas dependiendo del equipo. Se debe seleccionar el rango de pantalla en función del recorrido sónico que se vaya a utilizar para examinar la pieza.

**2.7.4.2. Retardo:** el retardo del equipo permite ajustar a "0", al lado izquierdo de la pantalla, el impulso inicial o eco de trasmisión, así como los ecos de recorridos sónico conocidos. Con el retardo las señales se pueden desplazar manteniendo las distancias entre ellas.

**2.7.4.3. Velocidad:** se debe seleccionar la velocidad correcta de acuerdo al tipo de material y al tipo de onda, longitudinal o transversal, que se vayan a utilizar. Los equipos ya tiene preestablecidas las velocidades de los materiales más utilizados.

Ajustando los controles de retardo y la velocidad sea calibra el recorrido del sonido necesario para hacer el examen.

#### **2.7.5. Otros controles.**

Son controles que no siempre existen, pues son refinamientos tales como:

**2.7.5.1. Variables del ensayo:** Menú que permite indicarle al equipo el ángulo del palpador a utilizar, en caso de palpador de has recto el ángulo es  $0^{\circ}$ , espesor del material, valor de X del palpador y diámetro de la pieza a ensayar.

**2.7.5.2. Compuertas (Gates):** Son controles que permiten definir dentro de la presentación de la pantalla (la pieza bajo examen) zonas que requieren de nuestra atención, esta clase de compuertas generalmente tienen tres (3) controles:

- **Inicio de Compuerta:** El control de arranque o retardo (Star-Delay) se utiliza para ajustar la posición del borde de inicio de la compuerta en la pantalla del osciloscopio.
- **Longitud de Ancho de Compuerta:** El ancho o longitud de la compuerta (Length or WIDTH) se usa para el ajuste de la longitud o para la localización del borde de la compuerta.

### **3. Actividad práctica:**

#### **3.1. Materiales y equipos.**

- Equipo de ultrasonido marca Olympus EPOCH 600
- Patrón de calibración V1
- Vernier
- Acoplante
- Probeta

#### **3.2. Procedimiento.**

##### **3.2.1. Actividad 1. Calibración del equipo de ultrasonido con palpador de haz recto.**

- Encender el equipo de ultrasonido
- Ajustar la ganancia en dB a una resolución adecuada

- Medir con el vernier el espesor del Patrón de calibración V1.
- Acceder al menú básico, ajustar el rango a 50mm para la obtención de 2 ecos y ajustar la velocidad a 5900 m/s
- Acceder al menú de receptor (F3) y seleccionar el rango frecuencia del palpador adecuada si se trabaja con un palpador de Hz.
- Acceder al menú de trigonometría, seleccionar:
  - ✓ Angulo: 0 grados (haz recto)
  - ✓ Espesor del patrón de calibración: 25mm
  - ✓ Valor de X: cero
  - ✓ Diámetro: Valor máximo.
- Ajustar la compuerta a un nivel de 40% y colocarla sobre el primer eco hacia la izquierda.
- Llevar las señales ultrasónicas al 80% de la pantalla pulsando 2 ndF seguido de GATES (compuerta).
- Acceder al menú de autocalibración, seleccionar Cal – Zero: 25mm. Luego presione CONTINUE.
- Colocar la compuerta en el eco hacia la derecha y llevar las señales ultrasónicas al 80% de la pantalla pulsando 2 ndF seguido de GATES (compuerta).
- El menú de autocalibración seleccionar Cal-Vel: 50mm. Luego presione DONE.
- Mover la compuerta hacia la izquierda para comprobar el valor del primer eco y luego comprobar el segundo

### **3.2.2. Actividad 2. Calibración del equipo de ultrasonido con palpador de haz angular.**

- Acceder al menú básico, ajustar el rango a 200mm para la obtención de 2 ecos y ajustar la velocidad a 3600 m/s
- Acceder al menú de receptor (F3) y seleccionar el rango frecuencia del palpador adecuada si se trabaja con un palpador de Hz.
- Acceder al menú de trigonometría, seleccionar:
  - ✓ Angulo: grados (haz recto)
  - ✓ Espesor del patrón de calibración: 25mm
  - ✓ Valor de X: cero
  - ✓ Diámetro: Valor máximo.
- Ajustar la compuerta a un nivel de 40% y colocarla sobre el primer eco hacia la izquierda.
- Llevar las señales ultrasónicas al 80% de la pantalla pulsando 2 ndF seguido de GATES (compuerta).
- Acceder al menú de autocalibración, seleccionar Cal – Zero: 25mm. Luego presione CONTINUE.
- Colocar la compuerta en el eco hacia la derecha y llevar las señales ultrasónicas al 80% de la pantalla pulsando 2 ndF seguido de GATES (compuerta).

- El menú de auto calibración seleccionar Cal-Vel: 50mm. Luego presione DONE.
- Mover la compuerta hacia la izquierda para comprobar el valor del primer eco y luego comprobar el segundo

### **3.2.3. Actividad 3. Determinación del punto de salida del eje del haz.**

- Colocar el palpador de haz angular en la parte superior del bloque de calibración IIW con respecto al radio 50mm o 25mm.
- Mover el palpador horizontalmente en ambos sentidos hasta obtener la máxima amplitud de la señal que proviene de los radios anteriores.
- El punto del palpador que esta en la línea con la marca del “0” del bloque es el punto de salida del sonido.

### **3.2.4. Actividad 4. Determinación de la sensibilidad del palpador.**

- Colocar el palpador de haz angular en la siguiente posición
- Mover el palpador en ambos sentidos hasta que la refracción del agujero de 1.5mm (0,060 pulgadas) alcanza un eco máximo en la pantalla del equipo.

### **3.2.5. Actividad 5. Ubicación de falla**

- Con el palpador angular realizar un movimiento transversal para poder inspeccionar toda la sección transversal del cordón de soldadura. Se debe mover el palpador perpendicularmente al cordón, desde un punto situado a la mitad de un rebote completo o Paso, medida desde el centro de la soldadura, hasta una posición situada exactamente a un rebote completo (P), calculada desde el mismo centro pero que debe medirse desde el borde de la soldadura para garantizar el examen de toda la sección.
- Con el palpador angular realizar un movimiento lateral para inspeccionar la longitud de la soldadura. El movimiento transversal y el movimiento lateral deben combinarse simultáneamente en forma zigzagueante, de manera que cada desplazamiento sucesivo del palpador paralelamente al cordón de soldadura no sea mayor que el espesor del palpador.
- Observar la pantalla del equipo mientras se realiza los movimientos antes mencionados y notar si hay ondas reflejadas en el barrido la cuales se puedan relacionar con discontinuidades.

## **4. Resultados y análisis.**

En esta parte anotar los resultados obtenidos proporcionados por la maquina de ultrasonido y realizar el análisis sobre las discontinuidades localizadas.

## **5. Conclusiones y Recomendaciones.**

# Índice General

---

---

Índice general	i
Índice de figuras	iv
Introducción	V
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>El problema</b>	1
1.1 Situación problemática.	1
1.2 Objetivos.	3
1.2.1 Objetivo general.	3
1.2.2 Objetivo específicos.	3
1.3 Justificación.	4
1.4 Alcance.	4
1.5 Limitaciones.	4
1.6 Antecedentes.	5
<b>CAPÍTULO 2</b>	11
<b>Marco Teórico</b>	11
2.1 Ensayos destructivos.	11
2.1.1 Ensayo de dureza.	11
2.1.2 Ensayo de tracción.	12
2.1.3 Ensayo de compresión.	12
2.1.4 Ensayo de cizalladura.	13
2.1.5 Ensayo de flexión.	13
2.1.6 Ensayo de torsión.	14
2.1.7 Ensayo de resiliencia	14
2.1.8 Ensayo de fatiga	14
2.1.9 Ensayo de choque	15
2.2 Ensayos no destructivos.	16
2.3 Ultrasonido	17
2.3.1 Naturaleza de las ondas ultrasónica.	20
2.3.2 Características de la propagación de las ondas ultrasónicas.	21
2.3.3 Longitud de ondas. Frecuencia y velocidad acústica.	22
2.3.4 Velocidad de propagación de una onda o velocidad acústica.	23

2.3.5 Tipos o modos de ondas ultrasónicas.	24
2.3.6 Comportamiento de las ondas ultrasónicas.	26
2.4 Leyes de la reflexión y retracción.	27
2.5 Atenuación de las ondas ultrasónicas en sólidos.	28
2.5.1 Dispersión.	29
2.5.2 Absorción.	29
2.6 Generación y recepción de ondas ultrasónicas.	29
2.6.1 Efecto piezoeléctrico.	29
2.7 Equipos impulso – eco.	30
2.7.1 Fuente de corriente.	30
2.7.2 Palpador o transductor.	30
2.7.3 Pulsador / receptor.	31
2.7.4 Presentación / generador de tiempo	31
2.8 Controles.	31
2.8.1 Encendido.	32
2.8.2 Pulsador / receptor.	32
2.8.3 Presentación de pantalla.	33
2.8.4 Otros controles.	34
2.9 Métodos de ensayo.	35
2.10 Palpadores o transductores.	36
2.10.1 Características de los palpadores.	36
2.10.2 Resolución.	36
2.10.3 Selección de la frecuencia del palpador.	37
2.11 Aplicaciones de los ensayos de ultrasonido.	38
2.12 Discontinuidades en los materiales	39
2.12.1 Discontinuidades inherentes.	39
2.12.2 Discontinuidades del proceso.	41
2.12.3 Tratamiento térmico.	42
2.12.4 Maquinado o esmerilado.	42
2.12.5 Discontinuidades en soldaduras.	43
2.12.6 Internas.	44
2.12.7 Porosidad.	45
2.12.8 Grietas.	45
2.12.9 Discontinuidades de servicio.	46
2.13 Calibración del sistema de ensayo.	47
2.13.1 Calibración del equipo de ultrasonido.	47
2.14 Calibración del palpador.	47
2.14.1 Bloque patrón área – amplitud.	48
2.14.2 Juego básico de referencia (ASTM).	48
2.14.3 Patrones de calibración IW y IIW.	49
2.14.4 Calibración de la base de tiempo.	49
2.14.5 Punto de salida del eje del haz.	50
2.14.6 Angulo de refracción del palpador.	51

2.14.7 Sensibilidad del palpador	51
2.14.8 Medio de acoplamiento.	52
<b>CAPÍTULO 3 Marco Metodológico</b>	<b>53</b>
3.1 Selección del material a ensayar.	53
3.2 Procedimiento para el examen de ultrasonido basado en normas	55
3.2.1 Normas por la cual se rige el procedimiento.	56
3.2.2 Materiales y equipo	56
3.2.3 Personal.	61
3.2.4 Precaución de la superficie.	61
3.2.5 Calibración del equipo.	62
3.2.6 Calibración para el ensayo.	63
3.2.7 Procedimiento de ensayo.	68
3.2.8 Examen de la soldadura.	69
3.2.9 Criterios de aceptación o rechazo.	71
3.2.10 Identificación de las áreas rechazadas.	71
3.2.11 Reparaciones	71
3.3 Realizar el reporte de los ensayos realizados.	71
3.4 Diseño de la práctica de ultrasonido.	72
<b>CAPÍTULO 4 Resultados</b>	<b>73</b>
4.1 Probeta A	73
4.1.1 Discontinuidad 1. Grieta	73
4.2 Probeta B	75
4.2.1 Discontinuidad 1. Grieta	75
4.2.2 Discontinuidad 2. Grieta	77
<b>CAPÍTULO 5 Análisis de resultados.</b>	<b>79</b>
<b>CAPÍTULO 6 Conclusiones</b>	<b>87</b>
<b>CAPÍTULO 7 Recomendaciones</b>	<b>91</b>
<b>Referencias</b>	<b>93</b>
<b>Glosario de términos</b>	<b>95</b>
<b>Apéndices</b>	<b>101</b>

# Índice de figuras

---

---

2.1	Esquema de la técnica de transmisión. (C.C. Vera, 2005)	19
2.2	Esquema del procedimiento de pulso-eco. (C.C. Vera, 2005)	20
2.3	Reflexión total. (C.C. Vera, 2005)	27
2.4	Reflexión y refracción. (C.C. Vera, 2005)	28
2.5	Patrón de calibración IIW. (Norma AWS D1.1, 2006)	49
2.6	Calibración de la base de tiempos con palpadores de incidencia normal e incidencia angular (Carlos Guinand, 2012)	50
2.7	Posición del palpador para el cálculo del punto de salida. (Norma AWS D1.1, 2006)	50
2.8	Posición del palpador para el cálculo del ángulo de refracción (Carlos Guinand, 2012)	51
3.1	Muestra A (acero A36) planchas de acero unidas por el método de soldadura	54
3.2	Muestra B (acero A36) planchas de acero unidas por el método de soldadura	54
3.3	Equipo de ultrasonido, marca Krautkramer	56
3.4	Resolución lejana del palpador	57
3.5	Palpador de haz recto, marca Krautkramer	58
3.6	Palpador de haz angular de 70 °, marca Krautkramer	59
3.7	Acoplante	60
3.8	Bloque patrón IIW para calibración del equipo	60
3.9	Posiciones en el bloque IIW para realizar la calibración.(ANSI-AWS D1.1, 2006)	63
3.10	Cara A de la muestra A	65
3.11	Cara A de la muestra B	65
3.12	Distancias para realizar la exploración	66
3.13	Procedimiento del barrido para la inspección de la pieza	67
4.1	Onda correspondiente a la discontinuidad 1 de la probeta A	74
4.2	Onda correspondiente a la discontinuidad 1 de la probeta B	76
4.3	Onda correspondiente a la discontinuidad 2 de la probeta B	78
5.1	Esquema de barrido evidenciando la primera y segunda pierna	83



# *Introducción*

---

El ultrasonido es una onda acústica que se transmite a través de un medio físico cuya frecuencia está por encima del límite perceptible por el oído humano (aproximadamente 20KHz).

Se denomina ensayo no destructivo (también llamado END, o en inglés NDT de non-destructive testing) a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Los ensayos no destructivos implican un daño imperceptible o nulo. Los diferentes métodos de ensayos no destructivos se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como ondas electromagnéticas, acústicas, elásticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable a la muestra examinada (Vera, 2005).

Uno de los ensayos no destructivos más utilizados son los ensayos por ultrasonido, el cual se define como un procedimiento de inspección no destructivo de tipo mecánico, y su funcionamiento se basa en la impedancia acústica, la que se manifiesta como el producto de la velocidad máxima de propagación del sonido y la densidad del material. Cuando se inventó este procedimiento, se medía la disminución de intensidad de energía acústica

cuando se hacían viajar ondas supersónicas en un material, requiriéndose el empleo de un emisor y un receptor. Actualmente se utiliza un único aparato que funciona como emisor y receptor, basándose en la propiedad característica del sonido de reflejarse al alcanzar una interfase acústica (Vera, 2005).

La razón de invertir y trabajar en esta investigación, es realizar una práctica de ultrasonido para el laboratorio de ensayos no destructivos del departamento de materiales y procesos de fabricación en la facultad de ingeniería de la Universidad de Carabobo, específicamente en la escuela de Ingeniería Mecánica, con la finalidad de garantizar dentro del pensum de la carrera nuevos recursos didácticos para el alumnado de esa facultad. Asimismo los estudiantes puedan adquirir conocimientos básicos con respecto a esta técnica y puedan realizar las calibraciones básicas del equipo para luego realizar la inspección de la probeta y posteriormente detectar las discontinuidades que estas puedan presentar.

En el capítulo 1, se hace referencia al planteamiento del problema, en donde se explica la importancia de la investigación, así como los objetivos planteados para poder lograr la misma. También se menciona la justificación del proyecto y su alcance, en conjunto con las distintas investigaciones que se han realizado acerca del tema, las cuales sirven de soporte para el desarrollo del proyecto.

En el capítulo 2, se encuentra reflejada toda la información teórica necesaria para la correcta interpretación y desarrollo del proyecto, donde se hace mención a conceptos como tipos de ensayos, ultrasonido, naturaleza de las ondas ultrasónicas, discontinuidad en los materiales, entre otros.

En el capítulo 3, se describe la metodología utilizada durante la realización del proyecto, donde se explica el procedimiento de calibración del equipo, los ensayos para la detección de discontinuidades presentes en las muestras, y así como el procedimiento para realizar la práctica de ultrasonido.

En el capítulo 4, se presentan los resultados obtenidos en el proyecto, los cuales son proporcionados por el equipo de acuerdo a las inspecciones realizadas a cada una de las muestras para detectar las discontinuidades o fallas presentes. Asimismo, se presentan las ondas correspondientes a cada discontinuidad de cada una de las muestras ensayadas.

En el capítulo 5, se elaboraron los análisis correspondientes a las discontinuidades detectadas, así como el estudio de la atenuación, recorrido del sonido, selección y frecuencia del palpador, entre otras variables.

En el capítulo 6, se presentan las afirmaciones finales del proyecto realizado, en base a los objetivos planteados.

En el capítulo 7, se mencionan las recomendaciones en base al proyecto, las cuales podrán ser abordadas por futuras investigaciones, y que sirvan de soporte para el desarrollo de las mismas.

Al final del proyecto se presenta la Guía Práctica, elaborada en base a los resultados del estudio realizado.

# CAPÍTULO 1

## *El problema.*

---

En el siguiente capítulo se describe de manera general el problema, destacando sus causas y consecuencias, evaluando además, las razones que justifican la investigación. Se plantean los objetivos, alcances y limitaciones de la investigación.

### **1.1 Situación problemática:**

En los últimos años se ha visto un aumento dramático en el uso de ensayos de ultrasonido como método de detección de fallas gracias a su condición no destructiva a diferencia de ensayos convencionales. Estos ensayos ofrecen un gran potencial para aumentar la calidad de inspección, reducir el tiempo de éste y la posibilidad de obtener imágenes inmediatas de los defectos presentes en el material. Estas ventajas han llevado a la rápida adopción de los ensayos en el campo de la ingeniería.

Estas aplicaciones industriales son respaldadas por una amplia gama de investigaciones publicadas que describe nuevos materiales piezoeléctricos, las geometrías de matriz, métodos de modelización y modalidades de inspección. La detección de fallas o defectos en materiales mediante evaluación no destructiva es un requisito importante tanto para la calidad de los controles durante la fase de producción y en la inspección durante las operaciones de mantenimiento de control de calidad del producto que se esté

realizando (Drinkwater, 2006). La inspección visual sólo permite el análisis de las características de la superficie de los materiales y entonces, si se producen fallos internos dentro de estructuras de materiales, se requiere un análisis más profundo. Una comparación entre las reacciones de los diferentes materiales a las señales de ultrasonido se puede utilizar para resaltar la diferencia de la estructura interna y también para detectar la posición de la profundidad de estas anomalías.

El Laboratorio de Materiales y Procesos de Fabricación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo posee un equipo de ultrasonido para la detección de fallas mediante ensayos no destructivos, pero actualmente no se dispone de una práctica donde se suministre al estudiante conocimientos básicos sobre este tipo de ensayo. Los estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Escuela de Mecánica deben adquirir dichos conocimientos básicos porque hoy en día estos equipos son muy usados en la industria como técnica de inspección y control de calidad.

Para el uso apropiado del equipo, es necesario el adiestramiento por personas calificadas en la materia y posteriormente diseñar una práctica que muestre de forma detallada el funcionamiento del equipo así como los principios básicos de la técnica de ultrasonido.

## **1.2 Objetivos**

### 1.2.1 Objetivo general

Diseñar una práctica para la detección de fallas por ultrasonido para el Laboratorio de Ensayos No Destructivos del Departamento de Materiales y Procesos de Fabricación.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Clasificar las diferentes condiciones y/o imperfecciones que pueden ser detectadas a partir de ensayos de ultrasonido.
- Seleccionar las probetas para realizar los ensayos basados en normas.
- Seleccionar las condiciones y/o imperfecciones a ser incorporadas en uno o varias muestras con fines didácticos.
- Establecer un procedimiento basado en normas para realizar los ensayos de ultrasonido.
- Conformar una base de datos con las diferentes señales ultrasónicas obtenidas experimentalmente y asociadas a cada condición y/o imperfecciones existentes en las probetas.
- Elaborar un material didáctico reforzado con una parte práctica fundamentada en la base de datos creada.

### **1.3 Justificación**

En el desarrollo de investigación destaca un aspecto principal: En el ámbito educacional, los estudiantes de la Escuela de Mecánica de la Facultad de Ingeniería tendrían acceso a los fundamentos de detección de fallas por ultrasonido así como el uso del equipo mediante la realización de la práctica respectiva una vez incorporada en el programa de la asignatura de materiales, donde se ponga en evidencia el método para detección de defectos en un material y/o condición y así como sus principios básicos.

### **1.4 Alcance**

Con esta investigación se quiere lograr el diseño de una práctica de detección de fallas por ultrasonido mediante ensayos no destructivos, seleccionando el material más idóneo para realizar dicha práctica para el Laboratorio de Ensayos No Destructivos del Departamento de Materiales y Procesos de Fabricación.

Las probetas serán realizadas o seleccionadas a partir de materiales metálicos, de los cuales el número de condiciones y/o imperfecciones seleccionadas será de mínimo tres (3).

### **1.5 Limitaciones**

A través del desarrollo de la investigación se presentaron varias limitantes, una de ellas es la insuficiencia de conocimientos necesarios en la Facultad de Ingeniería sobre los principios básicos referentes al uso del equipo de ultrasonido, debido a la falta de personas calificadas en la materia que impartan su enseñanza hacia los estudiantes de ingeniería para el uso adecuado de la técnica y el equipamiento. Otra limitante que se presenta es la disponibilidad y operatividad del equipo y la realización de un curso nivel I

para ensayos no destructivos en área de ultrasonido debido a sus altos costos. Una limitante adicional que se encontro, es el costo con respecto a la realización o selección de las probetas.

## **1.6 Antecedentes**

Los ensayos de ultrasonido se utilizan para muchas aplicaciones. Sirven para la detección de defectos mediante ensayos no destructivos y la proyección de una imagen médica. Drinkwater, (2006) realizaron una investigación con la finalidad de dar un enfoque o análisis sobre la aplicación de los ensayos de ultrasonidos mediante evaluación no destructiva (NDE). Los ensayos ultrasónicos ofrecen dos ventajas principales. En primer lugar, una serie en particular es capaz de emprender muchas inspecciones diferentes de un solo lugar y así es más flexible que un solo elemento transductor. De hecho, un análisis puede generar campos ultrasónicos de variedad casi infinita. En segundo lugar, la mayoría de los tipos de análisis se puede utilizar para obtener imágenes en cada lugar de la prueba. Esto permite una rápida visualización de la estructura interna de un componente. Un conjunto ideal sería tener un número infinito de elementos infinitesimalmente separados, cada uno capaz de generar, de manera independiente, una forma de onda arbitraria y recibir las señales reflejadas.

Ha habido un importante desarrollo en materia de evaluación por ultrasonido en los últimos 10 años. Tradicionalmente los análisis fueron hechos a partir de bloques de material piezocerámico, como el plomo zirconato titanato (PZT-5 H), dividido en elementos con un hilo diamantado. A medida que las piezocerámicas tienen altas impedancias de acústica, son ineficientes cuando se combina con materiales de baja impedancia como el

agua. Los transductores de ensayos ultrasónicos pueden ser libremente clasificados como unidimensionales (1D), dos dimensiones (2D) o anular. Arreglos lineales 1-D son los más utilizados en las industrias.

Muchos autores, como S. Chaki y G. Bourse (2007), han elaborado modelos de un transductor y el análisis del desempeño del ensayo utilizando el perfil de la viga o fibras discontinuas de poliéster. Para ambos tipos de modelos siempre es necesario partir de un modelo de un elemento individual. Hay una variedad de técnicas para la producción del modelo del elemento de salida de un ensayo incluyendo el análisis de elementos finitos y Principio de Huygens. Sobre los análisis de elementos finitos, se ha utilizado para modelar los efectos electromecánicos en el elemento y la propagación de los ultrasonidos en el medio circundante. Por ejemplo, Robertson utiliza elementos finitos para relacionar la tensión aplicada a través de elementos de ensayos compuestos al desplazamiento sobre el terreno alrededor de los medios de comunicación.

En principio, el enfoque de Huygens de la salida de un transductor se describe en términos de la suma de puntos (para un modelo en 3-D) o la línea (para un modelo 2-D) de fuentes en representación de la superficie del transductor. El principio de Huygens, describe que sólo los modelos de los aspectos mecánicos del elemento (o transductor) y la distribución de presión a través del elemento se deben conocer a priori. Sin embargo, para un análisis es común suponer que los elementos son pequeños y pueden ser modelados por su desempeño, en cuyo caso, en soluciones cerradas y en forma analítica son fácilmente obtenidos para el campo en formas de elementos simples. En 3-D, los elementos se modelan como emisores circulares o rectangulares y, en 2-D, los emisores se muestran como una tira infinitamente larga.

El problema de la detección de defectos internos en compuestos materiales ha recibido gran atención en los últimos años tanto para el control de calidad durante las fases de producción y la inspección durante las operaciones de mantenimiento. D'Orazio, (2007) realizaron una investigación sobre la inspección automática por ultrasonidos para la detección de defectos internos en materiales compuestos. El uso de técnicas no destructivas es necesario para el análisis de las propiedades internas de las estructuras sin causar daños a los materiales. Algunas de estas técnicas de evaluación no destructiva son basados en el análisis de la transmisión de diferentes señales tales como ultrasonido, emisión acústica, termografía, láser, rayos X, las corrientes de Foucault, shearografía, y los métodos de baja frecuencia. En la última década, los ultrasonidos han demostrado ser muy prometedores para la inspección no destructiva y se están convirtiendo en una alternativa eficaz para los métodos como la termografía, la corriente de Foucault, y shearografía.

Prassianakis, (2004) realizaron una investigación sobre los ensayos de ultrasonido a materiales no metálicos, especialmente en concreto y mármol. El concreto es una mezcla de cuatro componentes: cemento, agregados minerales, agua y aire. La estructura interna del concreto es compleja ya que es heterogénea, tanto a nivel macroscópico como microscópico. Esta complejidad hace que las ondas ultrasónicas en el concreto sean de alta irregularidad y dificulte la evaluación no destructiva. El mármol no es menos complejo, es un producto de metamorfismo de capas de piedra caliza sometido al calor y/o presión. En su trabajo experimental, examinaron el comportamiento de un concreto de 30 años y un mármol Dionysos a-Pentelikon utilizando destructivos, así como el método de prueba de ultrasonidos no destructivo.

Para realizar los ensayos de ultrasonido se utilizaron probetas cilíndricas. Sus dimensiones eran, respectivamente de 15cm, 30cm y 20cm las cuales fueron preparadas hace 30 años. Todas las muestras se hicieron a partir de cemento ordinario. Estas muestras se sometieron a carga multiaxial. Esto incluye la extensión axial y los laterales de compresión. Antes de la destrucción de las pruebas de compresión, se realizaron ensayos no destructivos por ultrasonido para la determinación de la velocidad de la onda elástica longitudinal y el coeficiente de atenuación de sonido. Todos los experimentos de ultrasonidos se realizan mediante los equipos de Krautkramer USIP11 y frecuencias de 1MHz.

Con respecto a otras investigaciones, Rosado, (2010) realizaron estudios sobre una técnica avanzada para ensayos no destructivos de fricción en soldaduras de metales. En este trabajo se refleja un nuevo ensayo no destructivo (END), se presenta un sistema de enfoque de defectos micros-superficiales en las juntas metálicas.

El innovador sistema está compuesto por un nuevo tipo de sondas de corrientes de Foucault, dispositivos electrónicos para la generación de señales, acondicionamiento y conversión, mecanizado automático de escaneo y análisis de software. El aspecto clave original de este sistema es el nuevo tipo de sonda de corrientes de Foucault.

Chassignole, (2006) realizaron una investigación sobre los ultrasonidos y la caracterización estructural de un isotrópico inoxidable austenítico en soldaduras de acero: Hacia una mayor fiabilidad en las pruebas ultrasónicas no destructivas. El ensayo no destructivo de soldaduras de acero inoxidable austenítico del sistema de tuberías de refrigerante primario es un problema importante para la industria nuclear. Las técnicas de ultrasonidos serían muy

útiles para detectar y localizar defectos de tamaño potencial. En este artículo se presenta algunos resultados experimentales de las pruebas de ultrasonido de dos puntos de soldadura austenítico los cuales exhiben alta anisotropía. Se explica lo observado sobre la presencia de fenómenos de propagación de ondas, tales como la desviación del haz, que utiliza el modelado de elementos finitos. El modelado se asocia con una caracterización completa de las soldaduras inspeccionadas. Dos características esenciales de las soldaduras se determinan: la media elástica constante de la soldadura y las orientaciones del grano. La capacidad del modelo se ilustra en diferentes pruebas de configuraciones. En este trabajo la asociación de caracterización estructural y modelización, muestra una mejor comprensión de los fenómenos de propagación de ultrasonidos que permiten la interpretación y fiabilidad de las inspecciones industriales de soldadura heterogénea anisotrópica.

# CAPÍTULO 2

## *Marco Teórico.*

---

A continuación se detallan los aspectos teóricos que serán utilizados para el diseño de la práctica de detección de fallas por ultrasonido. Inicialmente se presentan los diferentes ensayos utilizados en la industria, así mismo se hace énfasis en los Ensayos No Destructivos detallando sus aplicaciones. También se explica el significado de una onda ultrasónica, su historia y aplicaciones en la industria.

### **2.1. Ensayos destructivos**

Son pruebas que se les hacen a algunos materiales como el acero por ejemplo. Algunas de ellas son ensayo de tracción, flexión, compresión, etc. Se les llama destructivos porque deforman al material.

Entre los ensayos destructivos más comunes se encuentran los siguientes:

#### **2.1.1. Ensayo de dureza Brinell**

Este ensayo consiste en oprimir una bola de acero endurecido contra una probeta. De acuerdo con las especificaciones de la ASTM (ASTM E 10), las estipulaciones de las cuales se siguen aquí, se acostumbra usar una bola de 10 mm y una carga de 3000 Kg, para metales duros, 1500Kg para metales

de dureza intermedia y 500 Kg para materiales suaves. Hay disponibles varios tipos de máquinas para hacer este ensayo; pueden definir en cuanto a: el método de aplicación de la carga (presión de aceite, tornillo propulsado por engranes, pesas con palanca), método de operación (manual, fuerza motriz), método de medición de la carga (pistón con pesas y calibrador Bourdon, dinamómetro, pesas con palanca), y tamaño (grande y pequeño). Este tipo de ensayo puede realizarse en una pequeña máquina universal de ensayo mediante el uso de un adaptador adecuado para sujetar la bola, así como las máquinas especiales diseñadas con este propósito.

### **2.1.2. Ensayo de tracción**

El ensayo de tracción de un material consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la probeta. Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente. Las velocidades de deformación en un ensayo de tracción suelen ser muy pequeñas ( $\dot{\epsilon} = 10^{-4}$  a  $10^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). En un ensayo de tracción pueden determinarse diversas propiedades de los materiales elásticos: modulo de elasticidad, coeficiente de poisson, limite de proporcionalidad, limite de fluencia, limite elástico, resistencia a tracción, alargamiento de rotura y estricción.

### **2.1.3. Ensayo de compresión**

El ensayo de compresión es un ensayo para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión. En la mayoría de los casos se realiza con hormigones y metales (sobre todo aceros), aunque puede realizarse sobre cualquier material.

- Se suele usar en materiales frágiles.
- La resistencia en compresión de todos los materiales siempre es mayor o igual que en tracción.

Se realiza preparando probetas normalizadas que se someten a compresión en una máquina universal.

#### **2.1.4. Ensayo de cizalladura**

En el ensayo de cizallamiento se mide el esfuerzo que soporta una pieza cuando sobre ella actúan fuerzas contrarias y situadas en planos contiguos, que tienden a deslizar entre sí las secciones.

#### **2.1.5. Ensayo de flexion**

Método para medir la ductilidad de ciertos materiales. No hay términos estandarizados para presentar los resultados de los ensayos de flexión en amplias clases de materiales; por el contrario, se aplican términos asociados a los ensayos de flexión a formas o tipos específicos de materiales. Por ejemplo, las especificaciones de materiales a veces requieren que una probeta se flexione hasta un diámetro interior especificado (ASTM A-360, productos de acero). En ASTM E-190 se proporciona un ensayo de flexión para comprobar la ductilidad de las uniones soldadas. Una descripción de la fractura o fotografías se usan para reportar los resultados de los ensayos de madera. (ASTM D-1037).

### **2.1.6. Ensayo de torsión**

Es un ensayo en que se deforma una muestra aplicándole un par torsor. La deformación plástica alcanzable con este tipo de ensayos es mucho mayor que en los de tracción o en los de compresión. Da información directamente del comportamiento a cortadura del material y la información de su comportamiento a tracción se puede deducir fácilmente. La torsión en sí se refiere a un desplazamiento circular de una determinada sección transversal de un elemento cuando se aplica sobre éste un momento torsor o una fuerza que produce un momento torsor alrededor del eje.

### **2.1.7. Ensayo de Resiliencia**

También llamado de impacto o choque proporciona una medida de la tenacidad del material e indirectamente de su ductilidad ya que en general existe una correlación entre ambas propiedades; el valor numérico obtenido, sin embargo, es similar al de la resiliencia por lo que también se denomina ensayo de resiliencia. La razón de esta coincidencia se debe al hecho de que en el ensayo de impacto la carga que provoca la rotura de la probeta se aplica de forma instantánea impidiendo la deformación plástica del material provocando en la práctica la fractura frágil de materiales dúctiles.

### **2.1.8. Ensayo de fatiga**

El ensayo de fatiga es el método para determinar el comportamiento de los materiales bajo cargas fluctuantes. Se aplican a una probeta una carga media específica (que puede ser cero) y una carga alternante y se registra el número de ciclos requeridos para producir la falla del material (vida a la fatiga). Por lo general, el ensayo se repite con probetas idénticas y varias cargas

fluctuantes. Las cargas se pueden aplicar axialmente, en torsión o en flexión. Dependiendo de la amplitud de la carga media y cíclica, el esfuerzo neto de la probeta puede estar en una dirección durante el ciclo de carga o puede invertir su dirección. Los datos procedentes de los ensayos de fatiga se presentan en un diagrama S-N, que es un gráfico del número de ciclos necesarios para provocar una falla en una probeta contra la amplitud del esfuerzo cíclico desarrollado. El esfuerzo cíclico representado puede ser la amplitud de esfuerzo, el esfuerzo máximo o el esfuerzo mínimo. Cada curva del diagrama representa un esfuerzo medio constante.

### **2.1.9. Ensayo de choque**

Los ensayos dinámicos de choque se realizan generalmente en máquinas denominadas péndulos o martillos pendulares, en las que se verifica el comportamiento de los materiales al ser golpeados por una masa conocida a la que se deja caer desde una altura determinada, realizándose la experiencia en la mayoría de los casos, de dos maneras distintas según que la probeta rompa por flexionamiento (flexión por choque) o que su rotura se alcance por deformación longitudinal (tracción por choque). Los valores obtenidos en estos ensayo son únicamente comparables, en materiales con propiedades similares ya sean siempre dúctiles o frágiles, cuando se realizan sobre el mismo tipo de probeta y en idénticas condiciones de ensayo. La máquina de ensayo determinará el trabajo absorbido por el material cuando éste es roto de un solo golpe por la masa pendular y su valor en kgmf o Joule, o relacionándolo con la sección o volumen de la probeta, según el método nos indicará la resistencia al choque o capacidad del material para absorber cargas dinámicas de impacto (resiliencia).

## 2.2 Ensayo no destructivo (UPIICSA, 2012)

Se denomina ensayo no destructivo (también llamado END, o en inglés NDT de non-destructive testing) a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Los ensayos no destructivos implican un daño imperceptible o nulo. Los diferentes métodos de ensayos no destructivos se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como ondas electromagnéticas, acústicas, elásticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable a la muestra examinada.

La amplia aplicación de los métodos de ensayos no destructivos en materiales se encuentra resumida en los tres grupos siguientes:

- **Defectología.** Permite la detección de discontinuidades, evaluación de la corrosión y deterioro por agentes ambientales; determinación de tensiones y detección de fugas.
- **Caracterización.** Evaluación de las características químicas, estructurales, mecánicas y tecnológicas de los materiales; propiedades físicas (elásticas, eléctricas y electromagnéticas); transferencias de calor y trazado de isotermas.
- **Metrología.** Control de espesores; medidas de espesores por un solo lado, medidas de espesores de recubrimiento y niveles de llenado, entre otros.

Entre los ensayos no destructivos más comunes se encuentran los siguientes:

- Ensayo de dureza (en algunos casos no se considera como ensayo no destructivo, especialmente cuando puede comprometer la resistencia de la pieza a cargas estáticas o a fatiga).
- Inspección visual, microscopía y análisis de acabado superficial
- Ensayos por líquidos penetrantes
- Inspección por partículas magnéticas
- Ensayos radiológicos
- Ensayos por ultrasonidos
- Ensayos por corrientes inducidas
- Ensayos de fugas: detección acústica, detectores específicos de gases, cromatógrafos, detección de flujo, espectrometría de masas, manómetros, ensayos de burbujas, etc.

### **2.3. Ultrasonido (Vera, 2005)**

Se considera ultrasonido a aquellas oscilaciones de presión que poseen frecuencias por encima de la gama perceptible (esto es, superior a los 20.000 Hz). Para el END de materiales es de particular interés el intervalo de 0,5 a 15 MHz; en algunos casos específicos (el ensayo de hormigón por ejemplo) también el intervalo de 50KHz y frecuencias más altas.

El método consiste en generar y emitir ondas muy bien definidas, para luego captarlas apoyándose en las leyes de reflexión al encontrar en su trayectoria un cambio en las propiedades físicas del medio en el cual se propagan.

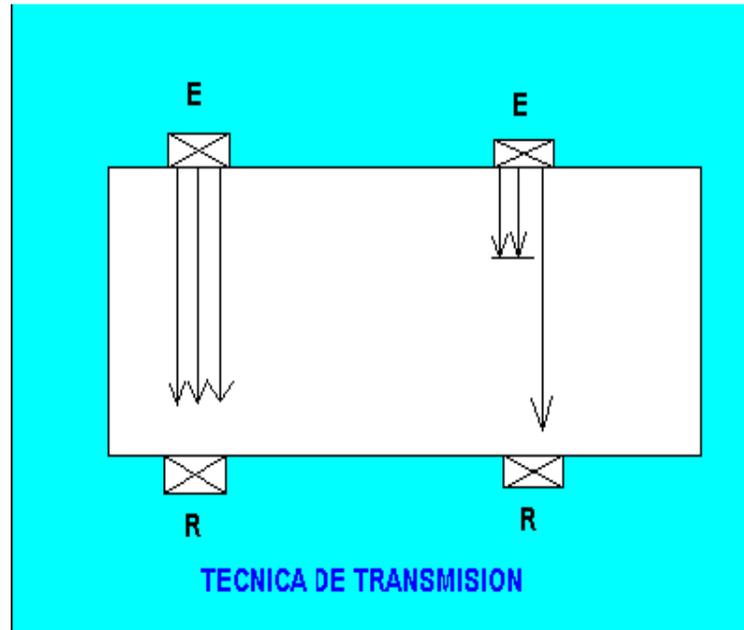
Al ser captadas, son analizadas según el objetivo del equipamiento y con la determinación del tiempo transcurrido desde su emisión hasta su recepción, puede conocerse la distancia recorrida, al ser la velocidad previamente establecida. Por lo que el procedimiento del ensayo consiste en introducir un haz sónico de alta frecuencia en el material a analizar, con el objetivo de detectar discontinuidades internas y superficiales. El sonido que recorre el material es reflejado por las interfaces, además es detectado y analizado para determinar la presencia y localización de discontinuidades.

De acuerdo a las propiedades físicas, una onda ultrasónica incidente en parte se refracta, y en parte se refleja si existe una variación de la resistencia a la onda sonora, como en el caso en que exista un defecto dentro del material.

De lo anterior se derivan dos procedimientos de ensayos ultrasónicos, basados respectivamente en la evolución de la parte transmitida de la onda o de la parte reflejada de la misma.

El procedimiento de transmisión evalúa la parte del ultrasonido que ha sido transmitida a través de la pieza que se ensaya. A un lado de la pieza se aplica un emisor de sonido y al otro lado, un receptor. El esquema de la técnica de transmisión se muestra en la figura 2.1.

En presencia de un defecto, la intensidad sonora en el receptor disminuye a causa de la reflexión parcial o se hace nula en caso de reflexión total. Este ensayo no puede determinar la profundidad a la que está localizado el defecto de la pieza pero si puede detectar discontinuidades muy cercanas a la superficie. Otra desventaja es que requiere acceso a las dos superficies.

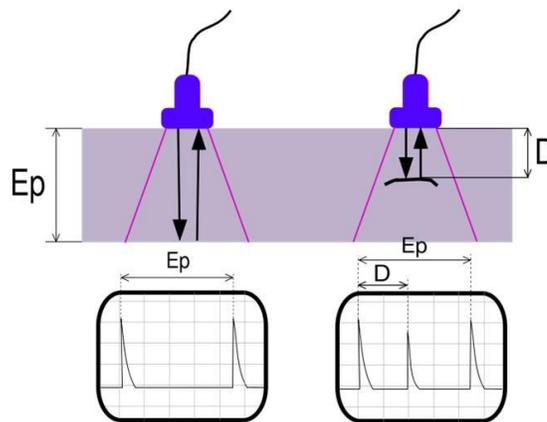


**Figura 2.1.** Esquema de la técnica de transmisión. (C.C. Vera, 2005)

El procedimiento de pulso-eco o impulsos reflejados, utiliza la porción reflejada de la onda sonora para la evaluación de defectos. El oscilador piezoeléctrico funciona como emisor y receptor al mismo tiempo (palpador). Al momento de generar la onda y mientras se está propagando, el oscilador está preparado para la recepción.

La onda sonora penetra el material, hasta que, como resultado de una superficie límite, tiene lugar una reflexión parcial o total. Este ensayo no detecta discontinuidades muy cercanas a la superficie, pero es ventajoso al anterior ya que puede ubicar el defecto y además requiere acceso a una superficie del material solamente.

En la figura 2.2 se muestra el procedimiento de pulso-eco y la interpretación de los registros del ensayo. La onda emitida encuentra una superficie y es reflejada como se mencionó anteriormente, y esto se traduce en una pantalla (componente del equipo ultrasónico) por medio de picos graficados, donde la distancia entre cada pico determina las distancias entre las superficies existentes en la pieza analizada. En el caso de la figura se determina la distancia entre las superficies exteriores de la pieza o espesor, y la distancia entre la superficie incidente y la discontinuidad o defecto.



**Figura 2.2.** Esquema del procedimiento de pulso-eco. (C.C. Vera, 2005)

### 2.3.1. Naturaleza de las ondas ultrasónicas

Las ondas ultrasónicas son de naturaleza mecánicas – elásticas, que operan con frecuencias mayores a 20 KHz. Dentro de las ondas se tienen los siguientes tipos:

**Electromagnéticas:** (Rx, Rδ, Luz)

**Mecánicas:** De gravedad, Elásticas: Sónicas o acústicas (infrasónicas, audibles, ultrasónicas).

- **Ondas mecánicas:** la propagación se basa en vibraciones mecánicas, es decir, vibraciones en las que intervienen fracciones de masa, por lo que requiere de un medio para transportarse.
- **Ondas elásticas:** Las fracciones de masa se encuentran atraídas hacia su posición cero, por causa de los vínculos elásticos del material.
- **Ondas sónicas o acústicas:** Dentro del espectro acústico se observan tres bandas de acuerdo a su frecuencia. (Guinand, 2012)

Infrasónicas:  $f < 16 \text{ Hz}$

Audibles:  $16 \text{ Hz} < f < 20 \text{ MHz}$

Ultrasónicas:  $20 \text{ KHz} < f < 25 \text{ MHz}$

### **2.3.2. Características de la propagación de las ondas ultrasónicas**

- **Propagación del sonido:** el sonido se propaga a través de los materiales en forma de ondas. Una onda completa es denominada un ciclo. El sonido se mide por el número de ciclos u ondas que pasan por un punto dado en un periodo de tiempo.

- **Ciclo:** es el proceso de completar un movimiento que se inicia en una condición determinada y termina en la misma condición.
- **Duración de una onda:** De acuerdo a la duración de una onda, se distingue entre onda continua e impulso. La mayoría de los equipos de ultrasonido trabajan con impulsos, es decir, ondas de corta duración.

### 2.3.3. Longitud de ondas. Frecuencia y velocidad acústica

**Longitud de onda:** es la distancia de separación entre un punto sobre una onda y el próximo punto similar en la siguiente onda.

**Frecuencia:** es el número de ciclos completos que pasan por un punto dado en un segundo. En la inspección ultrasónica, la frecuencia está relacionada con el número de veces que vibra el cristal en el intervalo de un segundo. La unidad de la frecuencia es el Hertz.

Las frecuencias comúnmente utilizadas en el método de contacto directo son: 1 MHz; 2 MHz; 2,25 MHz, 4 MHz, 5 MHz y 10 MHz.

La frecuencia de 2,25 MHz es muy recomendable para la inspección ultrasónica porque proporciona adecuada sensibilidad y resolución; a la vez que logra una gran distancia de penetración.

El inverso de la frecuencia ( $f$ ) se conoce como periodo ( $T$ ) y es el tiempo que tarda una partícula en realizar una oscilación o ciclo completo.

$$T = \frac{1}{f} \quad (2.1)$$

#### **2.3.4. Velocidad de propagación de una onda o velocidad acústica (V)**

La velocidad de propagación de una onda (V), es la distancia recorrida por la onda en un medio dado por unidad de tiempo, es decir la velocidad del sonido en el medio. La velocidad acústica depende del tipo de material (densidad y elasticidad) y del modo de vibración. La velocidad acústica es una característica del material y se puede considerar constante para un modo de vibración determinado, independientemente de la frecuencia y de la longitud de onda.

**Impedancia acústica:** es una medida relativa de la resistencia que ofrece un medio o material al paso de las ondas ultrasónicas o a la vibración de los elementos de masa de un medio.

La impedancia acústica es una constante del material y se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$Z = \rho \times V \quad (2.2)$$

Donde:

Z = La impedancia o factor de impedancia acústica.

$\rho$  = La densidad del material.

V = La velocidad acústica.

**Presión acústica:** Durante la propagación de una onda longitudinal, la densidad de las partículas fluctúa. Si se coloca un medidor microscópico de presión, indicaría alternativamente presiones altas y bajas según una secuencia periódica. Esta presión alterna es la presión acústica.

$$P = Z \times V \times \omega \times A \quad \rightarrow \quad P = \rho \times V \times \omega \times A \quad (2.3)$$

Donde:

$Z$  = Impedancia acústica

$V_b$  = Velocidad máxima de vibración ( $V_b = \omega \cdot A$ )

$\omega$  = Frecuencia angular

Para las ondas longitudinales se define la presión acústica como la fuerza por unidad de superficie normal a la superficie de la onda, y para ondas transversales; como la fuerza cortante por unidad de superficie paralela a la superficie de onda.

### 2.3.5. Tipos o modos de ondas ultrasónicas

Se distinguen dos tipos principales de ondas en medios ilimitados, las ondas longitudinales y las ondas transversales. Aunque existen otros tipos de ondas, también utilizadas en los ensayos pero con menor frecuencia, tales como las ondas superficiales y las ondas de Lamb.

- **Ondas longitudinales.** Son aquellas que se propagan o se desplazan en la misma dirección del movimiento de las partículas. También se les llama ondas de presión o compresión, ya que originan zonas de compresión y dilatación; poseen una gran velocidad de propagación en la mayoría de los materiales y son susceptibles de viajar en líquidos, sólidos y gases. Estas son conocidas normalmente como ondas L.
- **Ondas transversales.** Estas ondas se desplazan en dirección perpendicular al movimiento de las partículas. Se les conoce como ondas S, y su velocidad es aproximadamente la mitad de las ondas

longitudinales. No viajan a través de líquidos o gases, porque necesitan para su propagación cierta elasticidad en el medio, la cual es muy baja en materiales no sólidos. También se les llama ondas de corte.

- **Ondas superficiales o de Rayleigh.** Cuando el haz incidente forma un ángulo igual al segundo ángulo crítico, y las ondas cizallantes se desplazan por la superficie, tiene lugar la aparición de una tercera forma ondular conocida como ondas de Rayleigh o superficiales. Estas ondas tienen un movimiento de partículas elípticas. Las ondas de Rayleigh se propagan sólo por sobre la superficie de los sólidos y guardan cierto parecido con las ondas superficiales del agua. Si existen grietas o discontinuidades en la superficie o justo debajo de ellas en una pieza, es posible obtener señales en la pantalla del equipo.
- **Ondas Lamb.** Estas ondas se producen cuando una lámina cuyo espesor es comparable a una longitud de onda es atravesada por ondas ultrasónicas. Pueden ser generadas en láminas muy delgadas de metal usando ondas longitudinales de velocidad y frecuencia escogida y con cierto ángulo de incidencia el cual puede ser calculado mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Sen}(\theta) = C_l / C_p \quad (2.4)$$

Donde  $C_l$  = Velocidad de la onda incidente longitudinal  
 $C_p$  = Velocidad de la onda de Lamb deseada.

### 2.3.6. Comportamiento de las ondas ultrasónicas

El análisis de una onda en un medio ilimitado solo es posible teóricamente, ya que, en la práctica cualquier material presenta una superficie límite o contorno con el que se producen alteraciones en la propagación de una onda.

- **Incidencia normal o perpendicular**

Si una onda ultrasónica incide perpendicularmente sobre una superficie que separa dos medios diferentes, una parte de la energía de la onda se refleja y vuelve en la misma dirección del incidente y por otra parte se propaga en el segundo medio manteniendo su dirección y sentido.

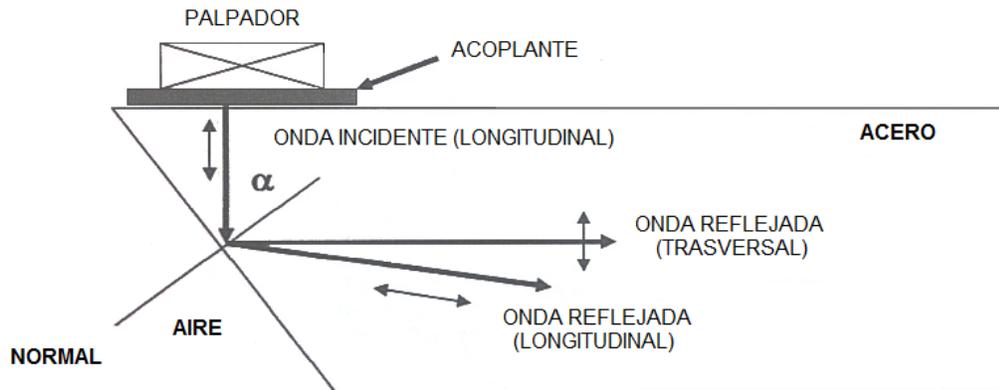
- **Incidencia oblicua o angular**

Cuando una onda acústica, longitudinal o transversal, incide oblicuamente sobre una superficie plana que separa dos medios diferentes (1 y 2), se producen ondas reflejadas (en medio 1), ondas transmitidas o refractadas (en medio 2) y desdoblamientos de ondas (en ambos medios).

- **Reflexión y refracción**

La reflexión se conoce como la acción de reflejar una onda sonora cuando incide sobre una interfaz. La interfaz es la superficie sobre la cual se encuentra otro medio de impedancia y es donde ocurre la reflexión.

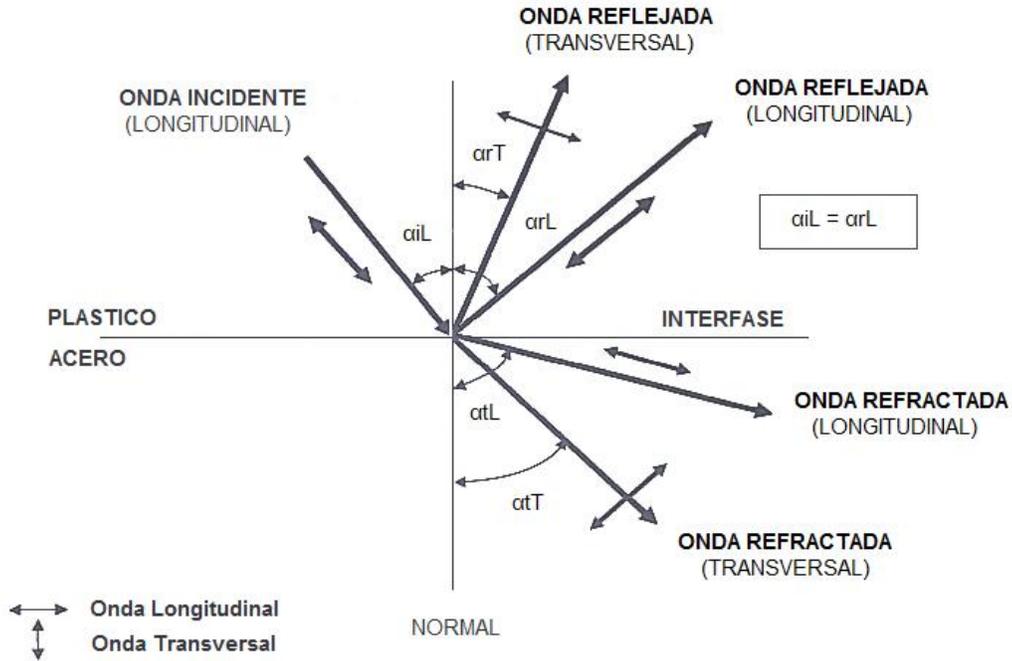
La refracción es el cambio en la dirección de propagación de las ondas transmitidas, que se origina cuando una onda incide con un ángulo diferente de  $0^\circ$  sobre la superficie de interfaz de dos medios con diferentes velocidades del sonido. En un mismo material no existe refracción, ya que no hay desviación de las ondas de incidencia, en este caso las ondas se transmiten. Para que se cumpla refracción deben cumplirse que exista incidencia angular, que las velocidades de los dos medios sean diferentes y que la diferencia de impedancia acústica entre los dos medios no sea muy grande.



**Figura 2.3.** Reflexión total. (C.C. Vera, 2005)

## 2.4. Leyes de la reflexión y de la refracción

Las direcciones de las ondas reflejadas y refractadas dependen de la dirección de la onda incidente y de las velocidades acústicas de los medios. Estas ondas se relacionan mediante las leyes generales de reflexión y refracción o ley de Snell.



**Figura 2.4.** Reflexión y refracción. (C.C. Vera, 2005)

## 2.5. Atenuación de las ondas ultrasónicas en sólidos

Hasta ahora se ha supuesto un material ideal, en que la presión acústica se disminuye sólo en función de la divergencia de la onda, sin embargo, en los materiales sólidos el efecto de atenuación se traduce en un debilitamiento de los ultrasonidos y esta dado por:

**Atenuación ( $A_t$ ) =  $A_t$  x Divergencia del Haz +  $A_t$  x Dispersión +  $A_t$  x Absorción.**

**2.5.1. Dispersión:** la dispersión es debido a que los materiales no son estrictamente homogéneos, contienen heterogeneidades, superficies límites entre caras pequeñas, en las que la impedancia acústica cambia bruscamente debido a la diferente densidad o velocidad acústica de los materiales. La dispersión es bastante perturbadora ya que no solo reduce la amplitud de los ecos sino que produce numerosos ecos parásitos con diferentes recorridos (grama) que se visualizan en la pantalla y en el que los ecos de interés pueden quedar enmascarados.

**2.5.2. Absorción:** Es una conversión directa de la energía ultrasónica en calor. En forma elemental se puede explicar como un efecto de frenado de la oscilación de las partículas.

## **2.6. Generación y recepción de ondas ultrasónicas**

Los dos fenómenos físicos más utilizados en la generación y reposición de ondas ultrasónicas son: El efecto piezoeléctrico y el efecto magnetostrictivo.

### **2.6.1. Efecto piezoeléctrico:**

Si a un material piezoeléctrico se le deforma mediante una presión mecánica externa, aparecerán cargas eléctricas de distintos signos en su superficie. La polaridad de las cargas se invertirá si en vez de una presión actúa una depresión.

El fenómeno inverso, si a este material se le coloca entre dos electrodos, cambia su forma al aplicarle un potencial eléctrico.

Al primer efecto se le denomina efecto piezoeléctrico directo y se le utiliza en la recepción de ondas ultrasónicas ya que si recubren ambas caras del cristal con sendas películas conductoras, se obtiene una tensión eléctrica alterna que el equipo de ultrasonido amplifica y registra.

## **2.7. Equipos impulso – eco (Guinand, 2012)**

Los equipos más utilizados en la inspección ultrasónica son los impulso – eco. El circuito electrónico de todas las marcas de estos equipos es más o menos similar, puesto que las funciones básicas son comunes a todas ellas. La nomenclatura de las funciones y la forma de presentarlas es lo que varía de un instrumento a otro. Toda unidad comprende las siguientes componentes:

### **2.7.1. Fuentes de corriente**

Los circuitos que suministran la corriente necesaria para el funcionamiento del instrumento lo constituye la fuente de corriente de la red de servicios o las baterías contenidas en la unidad.

### **2.7.2. Palpador o transductor**

El palpador consta del cristal y su soporte. El cristal convierte la energía eléctrica en energía ultrasónica e introduce vibraciones en la pieza sometida a pruebas; también recibe vibraciones reflejadas dentro de la pieza y las

convierte en señales eléctricas, las cuales se amplifican y se representan en la pantalla.

### **2.7.3. Pulsador/receptor**

El pulsador o generador de impulsos constituye la fuente de impulsos cortos de intensa energía eléctrica, disparados por el generador de tiempo (timer), los cuales son aplicados al transductor.

### **2.7.4. Presentación / generador de tiempo**

La presentación se obtiene mediante un osciloscopio o pantalla con generador de barrido. En algunos equipos un generador de marcadores, y los controles necesarios para obtener una imagen visual de las señales recibidas de la muestra. El generador constituye la fuente de todas las señales de tiempo para el pulsador y a veces se le denomina generador de repetición o reloj.

## **2.8. Controles**

Existen controles para las diversas funciones del sistema, tales como fuentes de corriente, pulsador, receptor, generador de tiempo y presentación. La nomenclatura empleada en la siguiente descripción puede variar de una unidad a otra.

### 2.8.1. Encendido

Usualmente la fuente de corriente se controla mediante interruptores de encendido, apagado y fusibles. Después de encender la unidad entran en función ciertos elementos retardadores que protegen los elementos del circuito durante el periodo de arranque del instrumento e inicio de programas.

### 2.8.2. Pulsador / receptor

Dentro de las funciones incluidas en este contacto están:

- **Energía o voltaje:** la energía del impulso transmitido a la pieza puede ser de alto o bajo voltaje (high or low), aunque hay equipos que tienen un intervalo de 50 a 500 voltios. Este control influye en la duración de las baterías y se ajusta mediante los controles “Voltaje” o “Baja o Alta” energía (low / high).
- **Frecuencia:** existe también un selector para las frecuencias de operaciones que señala las frecuencias que dispone el instrumento en megaciclos (MHz). Se debe utilizar la frecuencia más cercana a la del palpador a utilizar o el intervalo que la incluya.
- **Ganancia:** los valores de ganancia (GAIN) se miden en decibeles y presentan dos funciones de ganancia, fina y gruesa (fine & coarse). La ganancia ajusta la amplitud de la señal en la pantalla, el uso de ganancias excesivas no es conveniente.

- **Rechazo (Reject):** a fin de obtener una presentación clara, libre de ruidos de bajo nivel o grama existe este control que permite suprimirlos.
- **Amortiguación:** (Damping) este control permite acortar la duración de los tiempos del impulso, mediante el cual ajusta la longitud del tren de ondas aplicado al palpador. Una amortiguación intensa mejora la resolución.
- **Conectores:** para conectar el palpador el equipo tiene dos conectores al frente, uno emisor y uno receptor, en caso de usar palpador emisor – receptor, se puede conectar a cualquiera de las dos, si se va a usar uno emisor y otro receptor se deben conectar en su posición correspondiente e indicar que se va a trabajar en modo dual.

### **2.8.3. Presentación de pantalla**

Los controles básicos para ajustar la base de tiempo de la pantalla son:

- **Rango:** permite definir el intervalo de barrido de la pantalla, puede variar dependiendo del equipo, usualmente desde 10 mm hasta 1000 mm o más, dependiendo del equipo. Se debe seleccionar el rango de pantalla en función del recorrido sónico que se vaya a utilizar para examinar la pieza.
- **Retardo:** el retardo del equipo permite ajustar a “0”, al lado izquierdo de la pantalla, el impulso inicial o eco de transmisión, así como los ecos de recorridos sónicos conocidos. Con el retardo, las señales se pueden desplazar manteniendo las distancias entre ellas.

- **Velocidad:** se debe seleccionar la velocidad correcta de acuerdo al tipo de material y al tipo de onda, longitudinal o transversal, que se vayan a utilizar. Los equipos ya tienen preestablecidas las velocidades de los materiales más utilizados.

Ajustando los controles de retardo y la velocidad se calibra el recorrido del sonido necesario para hacer la evaluación de la pieza.

#### 2.8.4. Otros controles

Son controles que no siempre existen, pues son refinamientos tales como:

**Variables del ensayo:** Menú que permite indicarle al equipo el ángulo del palpador a utilizar (en caso de palpador de haz recto el ángulo es  $0^\circ$ ), espesor del material, el valor de X que es la distancia del extremo libre del palpador al punto de salida del haz.

**Compuertas (Gates):** Son controles que permiten definir dentro de la presentación de la pantalla (la pieza bajo evaluación), zonas que requieren de atención. Esta clase de compuertas generalmente tiene tres (3) controles:

- **Inicio de compuerta:** El control de arranque o retardo (Star-Delay) se utiliza para ajustar la posición del borde de inicio de la compuerta en la pantalla del osciloscopio.
- **Longitud de ancho de compuerta:** El ancho o longitud de la compuerta (Length or Width) se usa para el ajuste de la longitud o para la localización del borde de la compuerta.

Ambos valores, el inicio y el ancho de la compuerta, son función del recorrido del sonido.

- **Nivel de alarma o sensibilidad. (Level o Sensitivity).** Se usa para el ajuste del nivel vertical en la pantalla a partir del cual la indicación es considerada. En algunas unidades existe un enchufe para conectar la regulación de la alarma a los componentes externos.

### **Alarmas**

Las unidades con este sistema permiten utilizar alarmas automáticas al descubrirse discontinuidades. Esto se logra estableciendo áreas específicas controladas mediante la ubicación de compuerta dentro de la pantalla del instrumento. Las señales que aparecen dentro y exceden el valor de amplitud establecida generan automáticamente alarmas visibles o audibles. Estas señales pueden ser enviadas también a registradores y a dispositivos externos de control.

## **2.9. Métodos de ensayos**

Los sistemas de emisión y recepción de los ultrasonidos se clasifican en:

- Método de resonancia.
- Método de transparencia o de sombra (transmisión).
- Método de impulso – eco.

Los métodos de resonancia e impulso–eco operan por reflexión y los de transparencias o de sombra operan por transmisión, reflexión, conducción o por proyección de imagen.

## 2.10. Palpadores o transductores (Guinand 2012)

Los palpadores son dispositivos usados para introducir ondas ultrasónicas en un material. Consiste en un cristal que convierte la energía eléctrica en mecánica y viceversa, dicha propiedad se conoce como efecto piezoeléctrico.

Después de transmitirse la energía sónica, el palpador capta el eco representativo del estado del material y envía la información al instrumento donde es representada visualmente en la pantalla de osciloscopio.

### 2.10.1. Características de los palpadores

**Sensibilidad:** Es la capacidad de detectar ecos procedentes de discontinuidades pequeñas. La sensibilidad del palpador se mide por la amplitud de su respuesta a una discontinuidad artificial en un bloque estándar de referencia. La sensibilidad es una característica única de un palpador específico, ya que palpadores del mismo tamaño, frecuencia y material, procedentes del mismo fabricante, no siempre producen indicaciones idénticas de un mismo reflector en la pantalla del instrumento dado. La sensibilidad de un palpador se califica por su capacidad de detectar las señales provenientes de un agujero de fondo plano de dimensiones dadas, a una profundidad específica en un bloque de referencia estándar.

### 2.10.2. Resolución

- **Resolución cercana:** Es la capacidad de detectar discontinuidades cerca de la superficie de entrada del haz ultrasónico en el material.

- **Resolución lejana:** Es la capacidad de separar señales de discontinuidades muy cerca unas de otras.

### **2.10.3. Selección de la frecuencia de un palpador**

La frecuencia es un factor determinante en el uso del palpador. Las características básicas se ven afectadas por la necesidad de una sensibilidad determinada.

La sensibilidad tiene relación con la longitud de onda: A mayor frecuencia, menor será la longitud de onda. Cuanto más corta sea la longitud de onda, más alta será la sensibilidad.

La frecuencia y el tamaño del cristal del palpador también están relacionados: a mayor frecuencia, más delgado será el cristal. La mayoría de las pruebas ultrasónicas se realiza a frecuencias entre 0,5 y 25 MHz, pero la prueba de contacto está limitada generalmente a 10MHz máximo, debido a que los cristales tallados para utilizar en alta frecuencia (mayor a 10MHz) son demasiado delgados y frágiles para ser prácticos en este tipo de ensayo.

### **2.10.4. Selección del ángulo del palpador**

Los palpadores angulares utilizados en la inspección de soldadura, se fabrican para que produzcan ángulos de refracción en acero de 35°, 45°, 60°, 70°, 80° con respecto a la normal.

En la tabla 2.1 se recomiendan los ángulos de refracción adecuados para distintos espesores de material base. Esta tabla puede usarse como guía:

**Tabla 2.1.** Ángulos de palpadores recomendados. (Guinand, 2012)

<b>Espesor del material (mm)</b>	<b>Angulo del palpador (<math>\beta</math> en <math>^{\circ}</math>)</b>	<b>Distancia P</b>
5 - 10	80	56 - 170
10 - 30	70	82 - 165
30 - 60	60	104 - 208
>60	45	>120

## 2.11. Aplicaciones de los ensayos de ultrasonido

Los ultrasonidos son utilizados habitualmente en aplicaciones industriales (medición de distancias, caracterización interna de materiales, ensayos no destructivos y otros). También se emplean equipos de ultrasonidos en ingeniería civil, para detectar posibles anomalías y en medicina (ver ecografía, fisioterapia, ultrasonoterapia). Es utilizado por fuerzas policiales para dispersar a multitudes de manifestantes que causan caos (en Chile, como alternativa al gas lacrimógeno).

En el campo médico se le llama equipos de ultrasonido a dispositivos tales como el doppler fetal, el cual utiliza ondas de ultrasonido de 2 a 3 MHz para detectar la frecuencia cardíaca fetal dentro del vientre materno. También son utilizados como repelente para insectos. Hay varias aplicaciones para computadoras y celulares, las cuales reproducen una onda acústica como fue

explicado anteriormente, que molesta a los insectos, en especial a los mosquitos.

## **2.12. Discontinuidades en los materiales (Guinand, 2012)**

Existen tipos de productos y materiales que sí requieren pruebas y evaluación, son aquellos que estarán sometidos a esfuerzos donde una falla y discontinuidad puede ser la causa de una costosa reparación, peligro para otros productos, estructuras e inclusive vidas humanas.

El conocimiento de los materiales, propiedades y sus discontinuidades típicas, de acuerdo a su proceso de fabricación o condiciones de operación, ayudará notablemente a los técnicos en ultrasonidos al realizar una prueba y, tomando en cuenta que la mayoría de las técnicas de inspección son recomendadas cada una de ellas para un tipo de discontinuidad específica, el conocimiento de estas discontinuidades típicas ayuda a seleccionar el método más adecuado.

Las discontinuidades pueden ser divididas de acuerdo a su origen y se clasifican como sigue:

### **2.12.1. Discontinuidades inherentes**

Son aquellas originadas en los diferentes procesos de manufactura, como por ejemplo forjado, fundido, maquinado, rolado, soldado, tratamiento térmico, etc.

**Inherentes de fundición primaria:** discontinuidades encontradas en lingotes. Las discontinuidades más comúnmente encontradas en lingotes son:

**a) Inclusiones:** Partículas de material como escoria, óxidos y sulfuros, de forma irregular.

**b) Porosidad:** Causada por gas insoluble atrapado en la solidificación.

**c) Contracciones:** Causada por contracción durante la solidificación.

**d) Segregaciones:** Distribuciones no uniforme de los elementos.

### **Inherentes de fundición secundaria**

#### **Discontinuidades típicas en piezas fundidas**

**a) Traslape en frío:** Producido por cualquier causa que origine la solidificación de una superficie antes que otro metal fluya sobre ella.

**b) Desgarre en caliente (Grietas por contracción):** Se produce por la diferencia en velocidades de solidificación y enfriamiento, que ocasiona diferentes contracciones en secciones delgadas y gruesas en piezas de geometría complicada.

**c) Cavidades por contracción:** Cavidades causados por la falta de metal.

**d) Microcontracción:** Grupo de cavidades superficiales y pequeñas que aparecen en la entrada del metal líquido (boca de alimentación). También ocurren cuando el metal fluye de una sección delgada a una sección gruesa de la pieza.

**e) Sopladuras:** Cavidades en la superficie de la pieza, causadas por gas atrapado (que proviene del molde). El agua en la arena del molde escapa como vapor cuando existe contacto entre el metal líquido y el molde.

**f) Porosidad:** Cavidades causadas por gas atrapado que proviene del metal líquido durante la solidificación.

### **2.12.2. Discontinuidades del proceso:**

Son aquellas discontinuidades originadas y producidas en procesos de fabricación, las cuales son:

#### **Rolado**

- **Laminaciones:** Producidas en los procesos de laminación, rolado, etc., durante la fabricación de placas o láminas, producto de discontinuidades inherentes en el lingote. Son delgadas, aplanadas, se localizan al centro de la placa y se orientan en la dirección del conformado y paralelas a la superficie del material.
- **Costuras:** Discontinuidades superficiales alargadas, en forma de líneas continuas o intermitentes, poco profundas y muy cerradas. Se originan de discontinuidades presentes en el lingote.

#### **Forjado**

- **Traslape:** es causado porque parte del metal se desliza o dobla sobre la misma superficie de la pieza. Son discontinuidades no muy

adheridas a la superficie y generalmente penetran con un ángulo muy pequeño.

- **Reventada:** es una ruptura causada por temperaturas de forja inapropiadas, trabajo excesivo o movimiento del metal durante el forjado. Pueden ser internas o abiertas a la superficie.
- **Copos:** fisuras internas extremadamente delgadas y alineadas con el grano. Las causas que originan estas discontinuidades son: tensiones localizadas, producidas por la transformación; disminución de la solubilidad del hidrógeno durante el enfriamiento.

### 2.12.3. Tratamiento térmico

**Grietas:** son causadas por la concentración de esfuerzos durante el calentamiento y enfriamiento desigual entre secciones delgadas y gruesas. No tienen dirección específica y empiezan normalmente en esquinas agudas, las cuales actúan como puntos de concentración de esfuerzos.

### 2.12.4. Maquinado o esmerilado

**Grietas:** causadas por esfuerzos producidos por calentamiento excesivo local entre la herramienta y la superficie del metal. Son superficiales, poco profundas, ocurren en grupos y generalmente en superficies endurecidas, con recubrimiento, etc.

### **2.12.5. Discontinuidades en soldaduras**

#### **En el paso de raíz**

- **Penetración inadecuada:** ocurre cuando no se alcanza la temperatura de fusión del metal base, debido a diferentes razones. Están presentes las aristas de la cara de raíz.
- **Falta de penetración con desalineamiento:** ocurre cuando no se funde una de las caras de raíz, debido a que las caras de raíz no se encuentran alineadas.
- **Concavidad en la raíz:** ocurre cuando el paso de raíz funde ambas caras, pero al centro del cordón de raíz se presenta una depresión o cavidad debida a la concentración del metal.
- **Quemada:** ocurre cuando por penetración excesiva la raíz ha perdido parte del metal. Es una depresión severa en la raíz.
- **Socavado:** es una ranura en el metal base a lo largo del borde del cordón de raíz.
- **Penetración excesiva:** exceso de metal de soldadura de aporte en el cordón de la raíz. Se puede extender a lo largo del cordón de raíz o en zonas aisladas.
- **Desalineamiento:** ocurre cuando los elementos soldados no se encuentran alineados.

- **Fusión incompleta en el paso de raíz:** es la falta de fusión entre una de las caras de raíz y el material de aporte en el paso de raíz.
- **Llenado incompleto:** falta de metal de soldadura en el paso final.  
**En el paso final**
  - **Falta de fusión en el paso final:** es la falta de fusión entre una de las caras de ranura y el material de soldadura, en el paso final.
  - **Socavado externo:** una ranura en el metal base a lo largo del borde del paso final.
  - **Refuerzo inadecuado:** una depresión en el paso final o corona de la soldadura, dando como resultado un espesor en la soldadura menor que en el metal base.
  - **Refuerzo excesivo:** exceso de metal de soldadura en el paso final

#### 2.12.6. Internas

- **Inclusiones alargadas (líneas):** material no metálico atrapado entre los cordones de la soldadura. Se presentan en líneas continuas o intermitentes, sencillas o paralelas. Orientadas en dirección del eje de la soldadura.
- **Inclusiones aisladas:** material no metálico atrapado entre los cordones de la soldadura. Son de forma irregular ligeramente alargadas, agrupadas o aisladas y distribuidas al azar.

- **Falta de fusión (entre el metal base y la soldadura):** cuando no existe fusión entre el metal base y el metal de la soldadura. Pueden presentarse en líneas continuas o intermitentes, sencillas o paralelas.
- **Falta de fusión (entre cordones de la soldadura de aporte):** cuando no existe fusión entre los cordones de la soldadura de aporte en los pasos de relleno. Pueden presentarse en líneas continuas o intermitentes, sencillas o paralelas.
- **Inclusiones de tungsteno:** pedazos de tungsteno atrapados entre los cordones de la soldadura. Producidas cuando el electrodo de tungsteno se funde y se deposita entre la soldadura. Son de forma irregular, agrupadas o aisladas y distribuidas al azar.

#### **2.12.7. Porosidad**

Cavidades redondeados o ligeramente alargadas, producidas por gas atrapado durante la solidificación del metal de aporte. Se clasifican en: individual, aisladas, grupal, al azar, túnel o agujeros de gusano, en el cordón de la raíz.

#### **2.12.8. Grietas**

Fracturas o roturas del metal, puede ser del metal base o del metal de aporte. Se producen cuando se ha excedido la resistencia del metal. Pueden ocurrir durante la aplicación del metal de aporte, el enfriamiento o en

materiales duros o frágiles. Se clasifican en: longitudinales, transversales, cráter o estrella y en el metal base.

### 2.12.9. Discontinuidades de servicio

Son consideradas como las más importantes y críticas. Los materiales que pueden presentar defectos debido a las condiciones de operación son extremadamente críticos y demandan atención estrecha. Se clasifican en:

**Grietas por fatiga:** inician en puntos de altas concentración de esfuerzos que pueden ser discontinuidades existentes en la pieza o la propia forma del material. Normalmente son abiertas a la superficie. Se estima que un equipo que tiene partes en movimiento o que se encuentra sujeto a vibración, aproximadamente el 90% de las fallas presentes incluye a la fatiga de alguna forma.

**Corrosión:** es el deterioro de metales debido a la acción química del medio circundante o contrayente. En algún grado la corrosión puede producirse en todos los metales, pero su efecto varía dependiendo de la combinación del metal y el agente corrosivo. La corrosión ataca metales por acción química directa, por electrolisis o por combinación de ambas.

**Grietas por corrosión:** se presenta cuando el ataque de la corrosión es contra los bordes de grano. Siguen los bordes de grano desde la superficie del material.

Pueden causar la falla de materiales sometidos a cargas estáticas debido a la reducción de la resistencia a la carga de la sección transversal

## **2.13. Calibración del sistema de ensayo**

### **2.13.1. Calibración del equipo de ultrasonido**

Las diferentes normas establecen los requisitos para la calibración del equipo. Pero como recomendación general antes de la calibración del equipo de ultrasonido debe verificarse la linealidad horizontal y vertical.

**Linealidad Horizontal:** Esta linealidad está relacionada con la base del tiempo. Se puede decir que un equipo tiene linealidad horizontal si el tiempo recorrido o distancia horizontal entre dos ecos sucesivos procedentes de la refracción de una pieza de caras paralelas en la pantalla del osciloscopio es constante.

**Linealidad Vertical:** Está relacionada con la variación de la amplitud. Se puede decir que el amplificador del equipo (en dB) es lineal cuando la relación de altura de dos ecos sucesivos se mantiene constante al ir amplificando la señal. Es decir, al aumentar los decibeles del equipo en la máxima proporción, la altura de los dos ecos de la pantalla del osciloscopio también aumenta en la misma proporción.

## **2.14. Calibración del palpador**

Una vez verificada la linealidad del equipo debe realizarse la calibración del palpador, chequeando el punto de salida del haz y el ángulo de refracción, así como la sensibilidad y la resolución del mismo.

En la inspección ultrasónica todas las discontinuidades son comparadas con uno o más bloques de referencia, los cuales permiten verificar si la combinación de instrumentos y palpador está operando adecuadamente. El proceso de evaluación de una discontinuidad se lleva a cabo comparando aquella discontinuidad encontrada en la pieza inspeccionada con otra de dimensiones y profundidad determinada que se encuentra en un bloque patrón.

#### **2.14.1. Bloque patrón área–amplitud**

La serie A de ALCOA, comprende ocho (8) bloques de referencia de sección cuadrada y de 3-3/4 pulgadas de longitud por 1-15/16 pulgadas de lado.

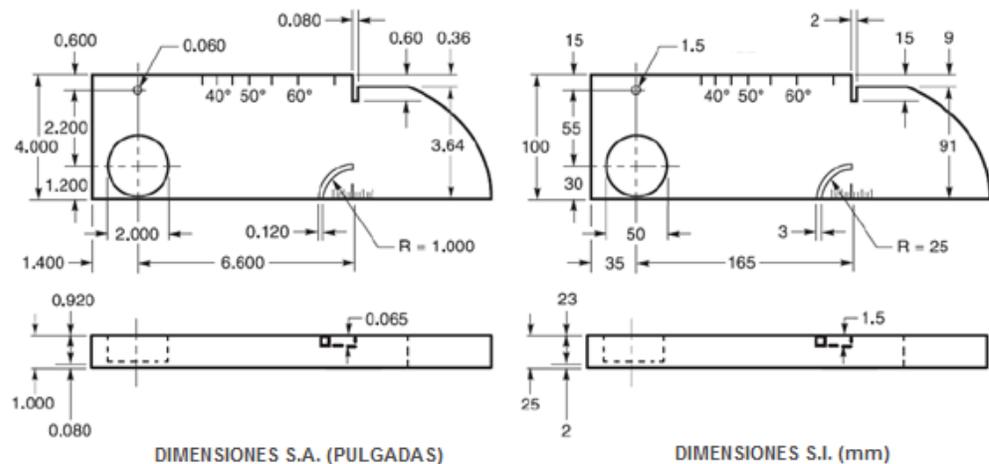
En el centro de las caras se taladra un agujero de fondo plano con diámetros diferentes que van desde 1/16 pulgadas (Bloque 1) hasta 8/64 pulgadas (Bloque 8). Con estos bloques se verifica la linealidad de los métodos de ensayos.

#### **2.14.2. Juego Básico de Referencia ASTM**

Estos consisten en 10 bloques de 2 pulgadas de diámetro, con agujeros de 3/4 pulgadas de longitud y de fondo plano en un extremo. Tres de estos bloques tienen profundidad de 3 pulgadas y dan la relación área-amplitud, y los siete bloques con agujeros de fondo plano de diámetro 5/64 pulgadas y longitud variable, dan la relación distancia-amplitud.

### 2.14.3. Patrones de calibración IW y IIW

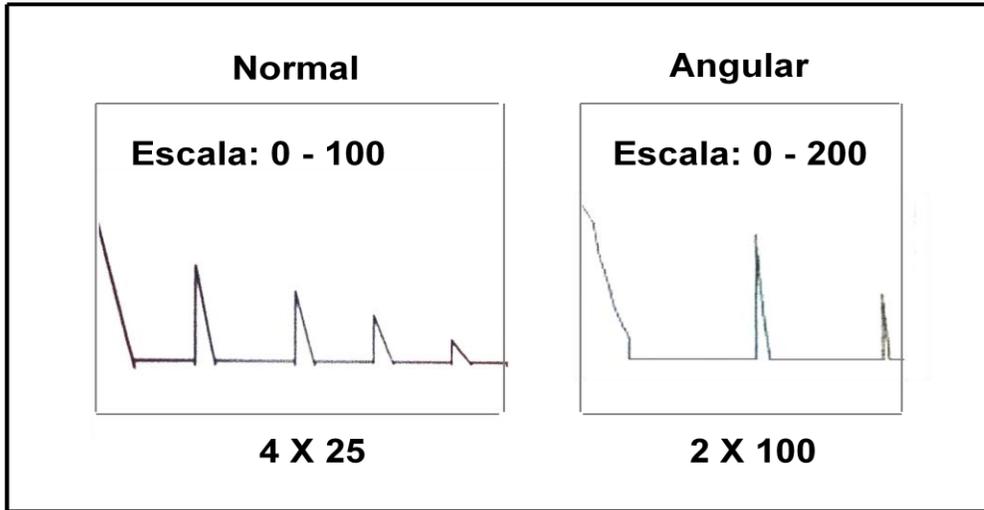
Estos son los bloques básicos para la calibración con haz angular. Son utilizados internacionalmente y su principal uso es determinar el punto de salida del haz, el ángulo de refracción de la onda sónica en el material ensayado y la calibración de la distancia recorrida por las ondas de propagación.



**Figura 2.5.** Patrón de calibración IIW. (Norma AWS D1.1, 2006)

### 2.14.4. Calibración de la base de tiempo

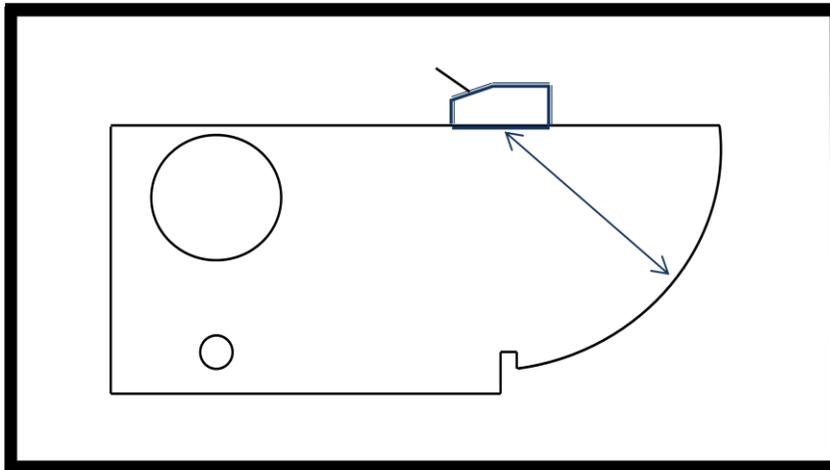
Son las distancias recorridas por las ondas ultrasonicas (Ver fig. 2.6).



**Figura 2.6.** Calibración de la base de tiempos con palpadores de incidencia normal e incidencia angular. (Guinand, 2012)

#### 2.14.5. Punto de salida del eje del haz

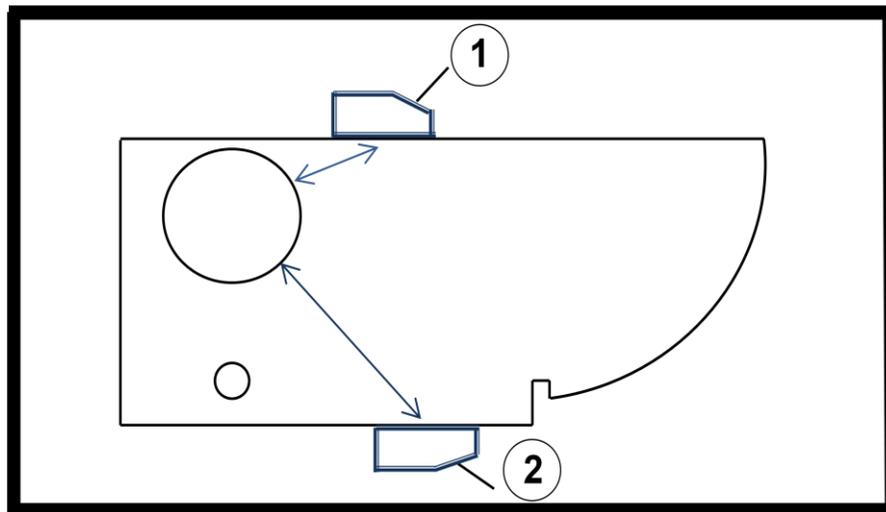
Se determina colocando el palpador en la posición como se observa en la figura 2.6. El palpador es movido horizontalmente en ambos sentidos hasta obtener la máxima amplitud de la señal que proviene del radio de 100mm en el bloque IW.



**Figura 2.7.** Posición del palpador para el cálculo del punto de salida. (Guinand, 2012)

### 2.14.6. Ángulo de refracción del palpador

El ángulo refractado en el medio de ensayo o ángulo de refracción del palpador es verificado colocando en la posición 1 y 2 observada en la figura 2.7. Moviendo hacia atrás y hacia adelante al palpador, se obtiene una amplitud máxima de la señal proveniente del radio de 50mm del plástico. El ángulo de refracción se obtiene a partir del punto de salida del palpador donde la amplitud es máxima.



**Figura 2.8.** Posición del palpador para el cálculo del ángulo de refracción.  
(Guinand, 2012)

### 2.14.7. Sensibilidad del palpador

La sensibilidad de un palpador es la capacidad de detectar ecos procedentes de discontinuidades pequeñas y se mide por la amplitud de su respuesta a una discontinuidad artificial en un bloque estándar de referencia.

Para calibrar la sensibilidad del palpador las diferentes normas establecen cómo debe hacerse, como referencia, la ASW D1.1 y D1.5 utilizan el agujero de 1.5mm del bloque de referencia IIW.

#### **2.14.8. Medio de acoplamiento**

El acoplante como su nombre lo indica, acopla el palpador a la superficie de la muestra bajo prueba. Se usa entre las caras del palpador y la superficie de la pieza evaluada, para asegurar una transmisión del sonido eficiente. El acoplante, debe ser de fácil aplicación, homogéneo y libre de burbujas de aire o de partículas sólidas.

# CAPÍTULO 3

## *Marco Metodológico.*

---

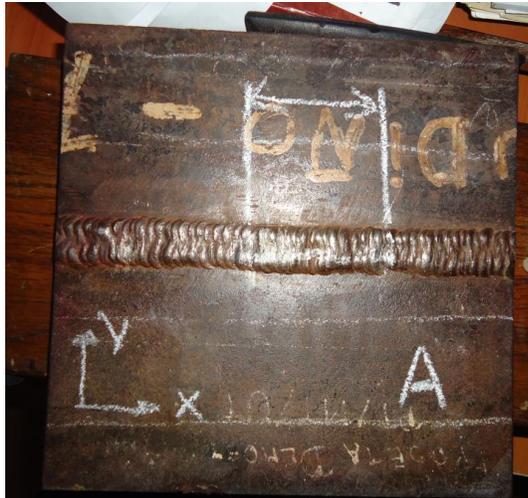
A continuación se expresa de manera detallada los pasos realizados para alcanzar los objetivos planteados mediante las actividades, las cuales de manera ordenada orientaron el desarrollo de esta investigación y permitió diseñar la práctica de detección de fallas por ultrasonido para el Laboratorio de END del Departamento de Materiales y Procesos de Fabricación.

### **3.1. Selección del material a ensayar**

El material seleccionado fue proporcionado por la empresa TRIME C.A., el cual fue facilitado para la verificación, obtención del cordón de soldadura con las discontinuidades específicas de forma intencional, ya que estos ensayos se realizaron con fines didácticos para posteriormente incorporar al p<sup>o</sup>sum de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Carabobo mediante una práctica basada en estos ensayos, específicamente en el Departamento de Materiales y Procesos de Fabricación.

El material de estudio consistió de dos placas de acero al carbono A36, de 12mm (figura 3.1) y 16mm (figura 3.2) de espesor, de las cuales se realizaron dos exploraciones en cada una, con la finalidad de obtener las discontinuidades específicas.

Otra de las razones por las que se seleccionó el acero A36, además de la facilidad de obtención mediante TRIME C.A., es debido a que por ser un ensayo didáctico, no se requería de un material en específico para realizarlos.



**Figura 3.1.** Muestra A (acero A36) planchas de acero unidas por el método de soldadura.



**Figura 3.2.** Muestra B (acero A36) planchas de acero unidas por el método de soldadura.

Con respecto a las propiedades de Acero A36 se tiene lo siguiente:

**Tabla 3.1.** Propiedades del acero A36. (Mangonon, 2001)

<b>PROPIEDAD</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
Densidad	7850	Kg/m <sup>3</sup>
Limite de fluencia	32-36 (250-280)	Ksi (MPa)
Resistencia a la tensión	58-80 (400-550)	Ksi (MPa)
Modulo de elasticidad	29000	Ksi
% de elongación mínimo	20 (8")	%
Punto de fusión	1538	°C

### **3.2. Procedimiento para el examen de ultrasonido basado en normas.**

Ya que los materiales que se seleccionaron tienen procesos de soldadura, se creó un procedimiento enfocado a la detección de imperfecciones ocasionada por dicho proceso.

Este procedimiento describe el método, la técnica, el equipo y el personal para el examen con ultrasonido de acuerdo a los requerimientos aplicables de la Parte F del Código de la Sociedad Americana de Soldadura AWS D1.1.

El procedimiento utilizado para la detección de continuidades se aplicó tanto para la muestra A como la muestra B.

### 3.2.1. Norma por la cual se rige el procedimiento:

ANSI - AWS D1.1, Edición 2006. (Ver apéndice A)

### 3.2.2. Materiales y Equipos:

- **Equipo.**

El examen para la muestra A y la muestra B debe ser realizado con un equipo de ultrasonido de pulso – eco, capaz de generar frecuencias en el intervalo de 1 a 6 MHz. Este equipo esta compuesto por un cable coaxial capaz de soportar dicho intervalo. Para las pruebas se utilizó el equipo siguiente, mostrado en la figura 3.3:

- ✓ MARCA Krautkramer, MODELO USN-52L, serial 00FVLC, el cual cumple con los requerimientos de los párrafos 6.22.3, 6.22.4 y 6.22.5 de la norma (ANSI - AWS D1.1)



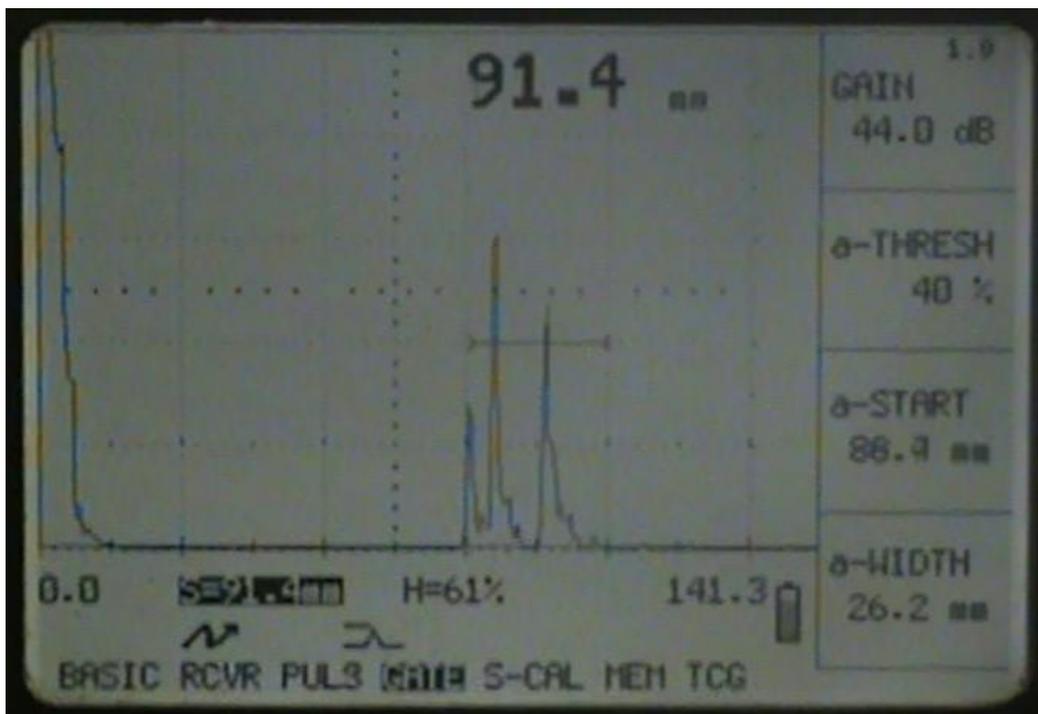
**Figura 3.3.** Equipo de ultrasonido, marca Krautkramer.

- **Palpadores**

- ✓ **Unidades de haz recto (ondas longitudinales)**

El transductor puede ser redondo o cuadrado y debe tener un área activa no menor de  $\frac{1}{2}$  in<sup>2</sup> (323 mm<sup>2</sup>) ni mayor de 1 in<sup>2</sup> (645 mm<sup>2</sup>) y debe ser capaz de resolver los tres ecos del patrón IIW. El transductor deberá ajustarse en posición F en el patrón IIW (Ver fig. 3.9).

El transductor y el instrumento deberán resolver las tres distancias de las tres ondas, las cuales se mostraran en la pantalla del equipo evidenciando la resolución lejana del palpador.



**Figura 3.4.** Resolución lejana del palpador

Para las inspecciones se utilizarán cualquiera de los siguientes palpadores:

- ✓ Krautkramer tipo B 4S, Cristal  $\phi$  24 mm, Frecuencia de 4 MHz.
- ✓ Technisonic 2,25 Mhz,  $\phi$  1/2". (Figura 3.5)



**Figura 3.5.** Palpador de haz recto, marca Krautkramer.

- ✓ **Palpadores de haz angular (ondas transversales)**

El palpador debe cumplir con los requisitos siguientes:

- **Frecuencia:** debe ser entre 2 y 2,25 MHz.
- **Forma y dimensiones del cristal:** debe ser de forma rectangular o cuadrado y sus dimensiones pueden variar entre 5/8" a 1" de ancho (16 a 25 mm) y entre 5/8" y 13/16" de alto (16 a 21 mm). La relación máxima ancho a alto debe ser 1,2 y la mínima 1,0.

- **Ángulos:** Los palpadores deben tener ángulos de 45°, 60° y 45°, con una tolerancia de  $\pm 2^\circ$ . La selección se hará según lo establece la Tabla 6.2 y 6.3 de la norma (ANSI - AWS D1.1).
- **Marcación:** cada palpador debe estar marcado para claramente indicar la frecuencia, ángulo nominal y el punto de salida del haz.
- **Distancia al Borde:** Las dimensiones deben ser tales que la distancia del punto de salida a la cara del palpador no debe exceder 1" (25,4mm).

De acuerdo con la Norma ANSI AWS D1.1, para los ensayos se utilizarán los siguientes palpadores:

- ✓ Marca KRAUTKRAMER, Tipo BENCHMARK AWS, 2,25 MHz / 0,75" X 0.75" con Zapatas SF- AWS de 45°, 60° y 70° de acuerdo al espesor a examinar.
- ✓ Marca KRAUTKRAMER, WB 45-2 MHz
- ✓ Marca KRAUTKRAMER, WB 60-2 MHz
- ✓ Marca KRAUTKRAMER, WB 70-2 MHz (Figura 3.6)



**Figura 3.6.** Palpador de haz angular de 70 °, marca Krautkramer.

✓ **Acoplante.**

Metilcelulosa suspendida en agua.



**Figura 3.7.** Acoplante.

✓ **Estándar De Referencia.**

Se utilizará el Bloque Patrón IIW del Instituto Internacional de Soldadura para la Calibración de la distancia y de la sensibilidad.



**Figura 3.8.** Bloque patrón IIW para calibración del equipo.

### **3.2.3. Personal.**

El personal que supervisará las pruebas debe estar calificado como mínimo Nivel II, el cual debe cumplir con los requerimientos de la edición aceptable de la SNT-TC-1<sup>a</sup> (Sociedad Americana para ensayos no destructivos), con sus suplementos y apéndices para la calificación de personal en ensayos no destructivos al nivel apropiado.

De acuerdo a la Norma AWS D1.1, el personal debe tener una agudeza visual cercana, natural o corregida, capaz de leer como mínimo la letra Jaeger Nº 2 a una distancia no menor de 12" (30.5 cm) en una carta de prueba Jaeger. Debe tener la capacidad de distinguir y diferenciar los contrastes entre los colores usados en el examen.

### **3.2.4. Preparación de la superficie.**

El material de la superficie de la muestra A y la muestra B a inspeccionar debe permitir el libre movimiento del palpador y proveer una condición satisfactoria para la transmisión de las ondas. Esto conduce a que no se produzcan resultados erróneos mostrados en el equipo al momento de realizar los ensayos. Adicionalmente, la superficie debe estar libre de salpicaduras, escoria, partículas de maquinado y esmerilado, sucio, pintura o cualquier otro material extraño que pueda interferir con la prueba. Igualmente esto ocasiona resultados, los cuales pueden interpretarse de forma errada al momento de detectar alguna discontinuidad.

Las ondulaciones y las irregularidades de la soldadura en ambas superficies, interna y externa, que puedan dar origen a señales que puedan

enmascarar o confundir la interpretación de señales de discontinuidades, deben ser removidas siempre que sea posible.

### **3.2.5. Calibración del equipo.**

- **Linealidad horizontal**

La linealidad horizontal del equipo debe ser chequeada cada 40 horas de uso del equipo para cada rango de distancia que se vaya a usar, de acuerdo con el párrafo 6.30.1 de la norma (ANSI - AWS D1.1).

- **Control de ganancia.**

La calibración del control de ganancia del instrumento debe ser chequeada cada dos meses de acuerdo con el párrafo 6.30.2 de la norma (ANSI - AWS D1.1).

- **Reflexiones internas.**

La reflexión interna máxima para cada palpador a ser utilizado debe ser verificada a un intervalo máximo de 40 horas de uso del equipo de acuerdo con el párrafo 6.30.3 de la norma (ANSI - AWS D1.1).

- **Angulo del haz del palpador.**

Usando el bloque de calibración, se debe chequear el palpador cada ocho horas de uso para verificar que la cara de contacto es plana, que el punto de salida de haz es correcto y que el ángulo de salida está dentro de tolerancia.

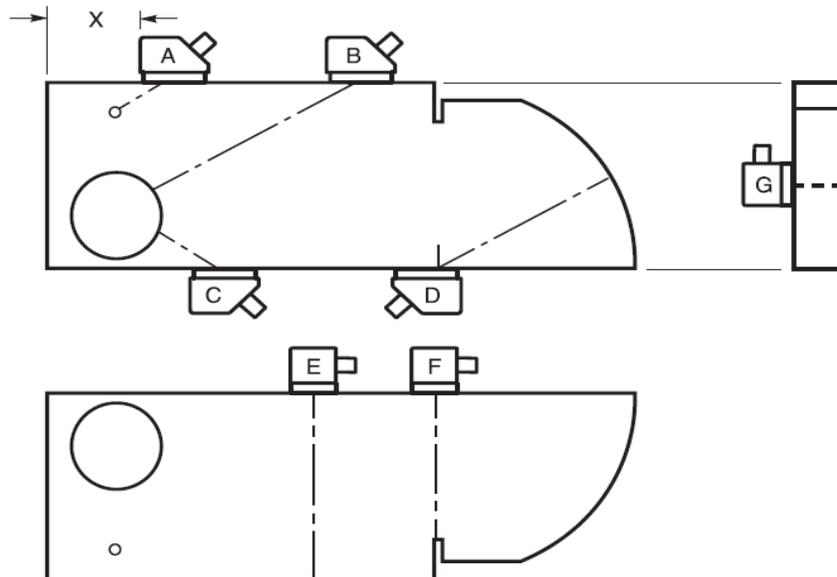
### 3.2.6. Calibración para el ensayo.

- **General.**
- ✓ **Posición del control de rechazo.**

Todas las calibraciones y pruebas deben ser hechas con el control de rechazo apagado.

- ✓ **Técnica.**

La calibración de distancia de barrido y sensibilidad debe ser hecha en el sitio y antes de empezar a ensayar las soldaduras.



**Figura 3.9.** Posiciones en el bloque IIW para realizar la calibración. (ANSI-AWS D1.1, 2006)

✓ **Recalibración del sistema.**

El funcionamiento apropiado del sistema de los ensayos debe ser chequeado y el equipo debe ser recalibrado como mínimo, mediante el uso de patrones de calibración, al inicio cada jornada de trabajo, cada 30 minutos de trabajo o en cualquier momento que se pueda afectar el circuito eléctrico, lo cual incluye lo siguiente: cambio del palpador, de las baterías, del cable coaxial, de la conexión eléctrica y falla de energía.

Si durante cualquier chequeo se comprueba que el equipo no está funcionando adecuadamente, todas las pruebas que se hayan realizado desde la última calibración válida deben ser repetidas.

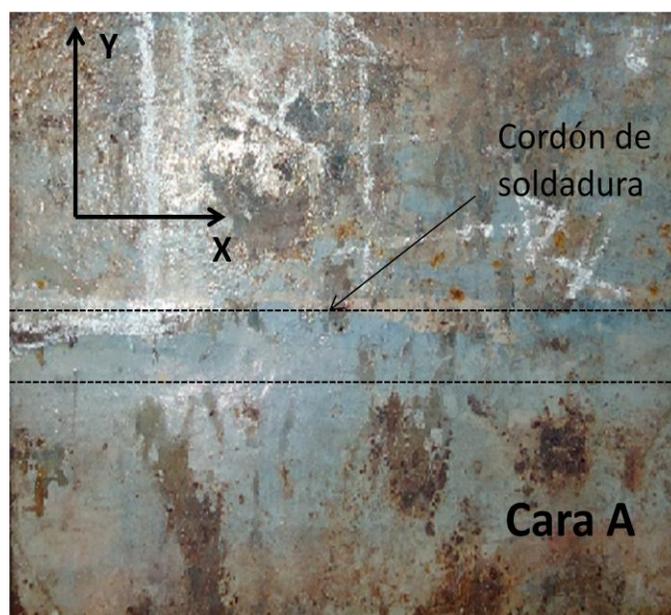
• **Ensayo con palpador normal del material base.**

La calibración debe ser hecha con el palpador colocado en la cara donde se va a realizar todo el examen de la muestra A (ver figura 3.10) y de la muestra B (ver figura 3.11), de acuerdo a los siguientes pasos:

- ✓ **Barrido:** Debe ser ajustado para presentar en la pantalla las señales de al menos dos espesores.
  
- ✓ **Sensibilidad:** Se debe ajustar en una zona libre de indicaciones de manera que la altura del primer eco de la pared posterior alcance entre el 50% y 75% de la altura de la pantalla.



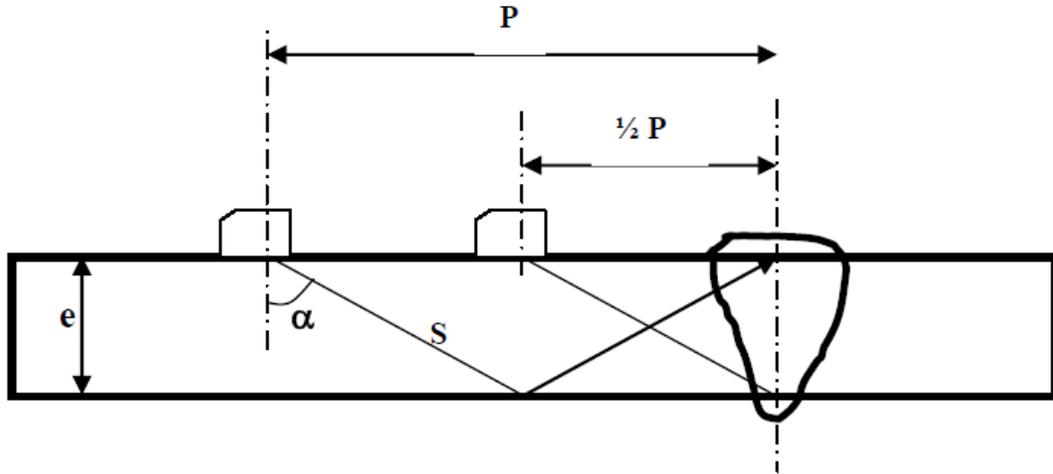
**Figura 3.10.** Cara A de la muestra A.



**Figura 3.11.** Cara A de la muestra B.

- **Ensayo de la soldadura con palpador angular.**

Como se indica en la figura 3.12, las siguientes distancias deben ser previamente calculadas:



**Figura 3.12.** Distancias para realizar la exploración. (ANSI-AWS D1.1, 2006)

- ✓ **Paso:**

$$P = 2 \times e \times \tan \alpha \quad (3.1)$$

- ✓ **Medio Paso:**

$$P = e \times \tan \alpha \quad (3.2)$$

- ✓ **Recorrido del sonido:**

$$S = \frac{2 \times e}{\cos \alpha} \quad (3.3)$$

Donde:

$\alpha$  = ángulos del palpador

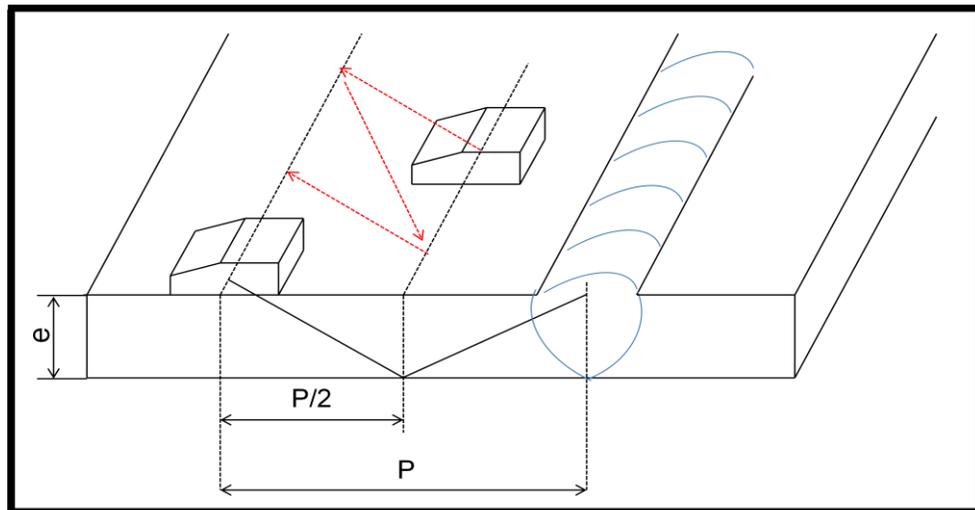
e = espesor

- **Barrido horizontal o calibración de distancia**

Con base en el recorrido del sonido se debe ajustar el rango de la escala a utilizar, normalmente 10" (250 mm). Colocando el palpador en la posición D del patrón IIW (ver Fig. 3.9), y ajustando el control de ganancia en el equipo para obtener las señales correspondientes de 4" y 9".

- **Calibración de la sensibilidad o nivel de referencia.**

Colocando el palpador sobre el bloque IIW en la posición A (Ver Fig. 3.9), maximizar la señal proveniente de la perforación de 0,06" (1,5 mm) y usando el control de ganancia llevar la altura de la señal al 50% de la altura de la pantalla, los decibeles necesarios para lograrlo son el "Nivel de Referencia b".



**Figura 3.13.** Procedimiento del barrido para la inspección de la pieza

### **3.2.7. Procedimiento de ensayo.**

- **Línea “X”.**

Se debe trazar en la cara A de las muestras A y B (ver figura 3.10 Y 3.11 respectivamente), desde donde se va a realizar el ensayo, una línea paralela al eje de la soldadura, con la finalidad de ubicar las posibles discontinuidades. Normalmente en las soldaduras a tope coincide con el centro de la soldadura.

- **Línea “Y”.**

Normalmente en el extremo de la soldadura, en la cara “A”, se debe marcar en el material base una línea perpendicular a la soldadura, adyacente a la cual se coloca la identificación de la soldadura. Esta línea tiene la finalidad de identificar la cara “A” desde donde se hace el examen, identificar la soldadura, ubicar las discontinuidades con respecto al eje “X” y con respecto al borde de la soldadura o eje “Y”.

- **Examen con palpador normal.**

Todo el material base a través del cual el ultrasonido debe viajar para examinar la soldadura debe ser recorrido en la evaluación para detectar laminaciones que puedan interferir con el examen con palpador angular. Si alguna área presenta una pérdida total del eco de la reflexión de la pared posterior o una indicación igual o mayor que la originada por la pared posterior, localizada en una posición que puede interferir con el examen

normal de la soldadura, su tamaño, localización y profundidad desde la cara “A” debe ser registrada.

### **3.2.8. Examen de la soldadura.**

- **Exploración.**

El examen de las soldaduras debe ser hecho desde ambos lados de la soldadura, usando el ángulo del palpador seleccionado de acuerdo a la Tabla 6.7 de la norma (ANSI - AWS D1.1), según sea aplicable, y los niveles de ganancia de exploración establecidos en las tablas 6.2 y 6.3 de la norma (ANSI - AWS D1.1) según corresponda el caso.

El palpador debe manipularse de forma tal que se garantice que todo el volumen de soldadura y metal base sea examinado, siguiendo los patrones de exploración establecidos en la figura 6.24 de la norma (ANSI - AWS D1.1). Se debe dar un solape entre pases del palpador del 10% del pase anterior.

- **Maximización de las ondas en la pantalla.**

Cuando la señal de una discontinuidad aparece en la pantalla, se debe ubicar su máxima amplitud y ajustar la ganancia para que alcance la altura de pantalla establecida como el nivel de referencia (40%). La lectura en decibeles del equipo debe ser usada como el “Nivel de la Indicación a” para calcular el “Valor de la Indicación d”.

- **Factor de atenuación.**

El “factor de atenuación c” se obtiene restando 1” (25,4 mm) del recorrido del sonido “S” en pulgadas y multiplicando el resultado por 2. De acuerdo a la Norma AWS D1.1, este valor debe ser redondeado al valor entero de dB más cercano. El factor de atenuación se calcula mediante la ecuación 3.4:

$$C = (S - 25\text{mm}) \times 0.08 \quad \rightarrow \quad \text{donde } S = \text{Recorrido del Sonido} \quad (3.4)$$

- **Valor de la indicación.**

El “valor de la Indicación d” representa la diferencia algebraica en decibeles entre el nivel de la indicación y el nivel de referencia con corrección por atenuación c como se muestra en la ecuación 3.5:

$$d = a - b - c \quad (3.5)$$

Donde:

- d:** Valor de la indicación (dB)
- a:** Nivel de la indicación (dB)
- b:** Nivel de referencia (dB)
- c:** Factor de atenuación (dB)

- **Longitud de la discontinuidad.**

Los extremos de la discontinuidad se establecen midiendo la distancia entre las posiciones del centro del palpador cuando la amplitud de la señal cae al 50% (6 dB) de la amplitud del nivel de la indicación.

### **3.2.9. Criterios de aceptación o rechazo.**

Cada discontinuidad debe ser aceptada o rechazada basándose en el valor de la indicación y su longitud, de acuerdo con la Tabla 6.2 de la norma (ANSI - AWS D1.1) para estructuras estáticamente cargadas o la tabla 6.3 de la norma (ANSI - AWS D1.1) para estructuras cíclicamente cargadas, la que sea aplicable.

### **3.2.10. Identificación de las áreas rechazadas.**

Cada discontinuidad rechazable debe ser marcada directamente sobre la soldadura en su dimensión real. La profundidad desde la superficie de ensayo y su valor en decibeles debe marcarse cerca en el material base.

### **3.2.11. Reparaciones.**

Las soldaduras reparadas deben ser reensayadas con ultrasonido para verificar que el defecto fue removido.

## **3.3. Realizar el reporte de los ensayos realizados.**

Después de realizar los ensayos de ultrasonido en las muestras o probetas A y B se procede a llenar el reporte con los resultados obtenidos de acuerdo a cada ensayo, especificando el ángulo del palpador, el lado del ensayo, nivel de indicación, nivel de referencia, factor de atenuación, rango de indicación, la longitud de la discontinuidad, la profundidad y todo lo relacionado con respecto a los ensayos.

Aún cuando los ensayos se realicen para fines didácticos, debe hacerse énfasis en que los resultados deben ser registrados y firmados por el Inspector Nivel II ó III en el reporte de examen con ultrasonido de soldaduras (ver apendice C). Los reensayos de las reparaciones deben ser reportados de igual manera pero agregándole el sufijo R1, R2... Rn al número de la indicación.

### **3.4. Diseño de la práctica de ultrasonido**

Posteriormente después de realizar los ensayos de las probetas A y B para detectar tres discontinuidades de grietas utilizando el método de ultrasonido, se procede a realizar la practica correspondiente la cual será incorporada en la asignatura que corresponda en el Departamento de Materiales y Procesos de Fabricación.

Se realiza un estudio de todo lo referente al método de ultrasonido y se establece qué información debe estar presente en la práctica, de manera que sirva de soporte para los estudiantes y que aporte todas las herramientas necesarias para la realización de la misma.

Antes de realizar el ensayo de manera didáctica, se procede primero a realizar la calibración por haz recto y luego por haz angular, explicado anteriormente en el procedimiento. Una vez calibrado el equipo, se procede a detectar la discontinuidad o falla presente en la pieza la cual será proporcionada por el Departamento de Materiales y Procesos de Fabricación, seguido de sus respectivos análisis de resultados y conclusiones. (Ver apendice B).

# CAPÍTULO 4

## *Resultados.*

---

---

### 4.1. Para la Probeta A

**Paso.** De acuerdo a la ecuacion 3.1:

$$P = 2(12mm) \tan(70) = 47,1mm$$

**Recorrido del sonido (para la exploración).** De acuerdo a la ecuacion 3.3:

$$s = \frac{2(12mm)}{\cos(70)} = 53mm$$

#### 4.1.1. Discontinuidad 1. Grieta:

- Nivel de indicación (Proporcionado por el equipo): 48dB.
- Nivel de referencia: 54dB
- Factor de atenuación. De acuerdo a la ecuacion 3.4:

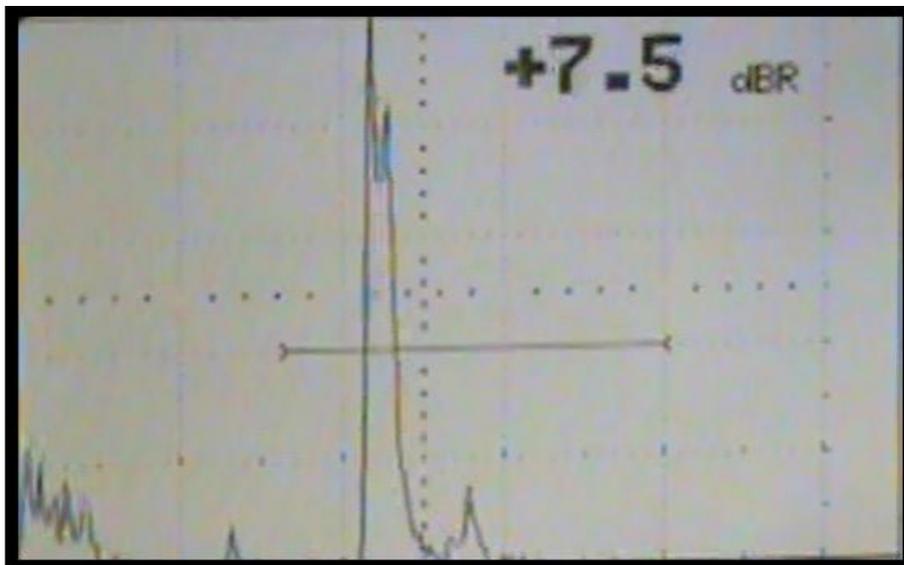
$$C = (29mm - 25mm) \times 0.08 \rightarrow C \approx 0$$

- Valor de indicación (d). De acuerdo a la ecuacion 3.5:

$d = \text{Nivel de indicación (a)} - \text{Nivel de referencia (b)} - \text{Factor de atenuación (c)}$

$$d = 48\text{dB} - 54\text{dB} - 0 = -6\text{dB}$$

- Resultados proporcionados por el equipo de ultrasonido:
  - ✓ Onda correspondiente a la discontinuidad (Figura 4.1)
  - ✓ Longitud de la discontinuidad: 40mm.
  - ✓ Recorrido del haz sónico: 29mm
  - ✓ Profundidad: 9mm
  - ✓ Distancia desde X: 0
  - ✓ Distancia desde Y: 0
- Clasificación: tipo A. Tabla 6.2 según la norma AWS D1.1
- Resultado del ensayo: Rechazada.



**Figura 4.1.** Onda correspondiente a la discontinuidad 1 de la probeta A.

## 4.2. Para la Probeta B

**Paso.** De acuerdo a la ecuacion 3.1:

$$P = 2(16mm) \tan(70) = 62,8mm$$

**Recorrido del sonido (para la exploración).** De acuerdo a la ecuacion 3.3:

$$s = \frac{2(16mm)}{\cos(70)} = 71mm$$

### 4.2.1. Discontinuidad 1. Grieta.

- Nivel de indicación (Proporcionado por el equipo): 50dB.
- Nivel de referencia: 54dB
- Factor de atenuación. De acuerdo a la ecuacion 3.4:

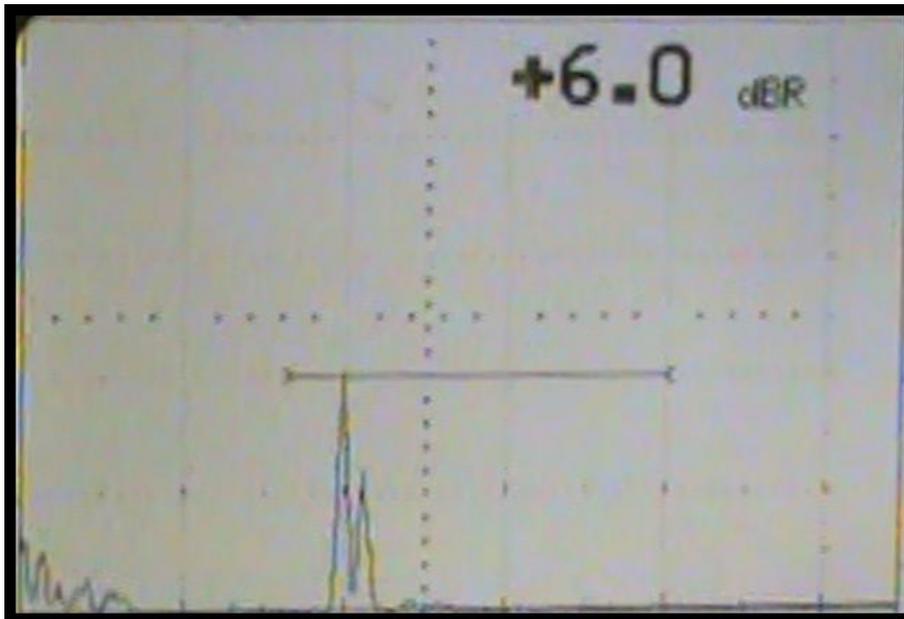
$$C = (29mm - 25mm) \times 0.08 \rightarrow C \approx 0$$

- Valor de indicación (d). De acuerdo a la ecuacion 3.5:

$d = \text{Nivel de indicación (a)} - \text{Nivel de referencia (b)} - \text{Factor de atenuación (c)}$

$$d = 50dB - 54dB - 0 = -4dB$$

- Resultados proporcionados por el equipo de ultrasonido:
  - ✓ Onda correspondiente a la discontinuidad (Figura 4.2)
  - ✓ Longitud de la discontinuidad: 25mm
  - ✓ Recorrido del haz sónico: 29mm
  - ✓ Profundidad: 13mm
  - ✓ Distancia desde X: 60mm
  - ✓ Distancia desde Y: 4mm
- Clasificación: tipo A. Tabla 6.2 según la norma AWS D1.1
- Resultado de ensayo: Rechazada.



**Figura 4.2.** Onda correspondiente a la discontinuidad 1 de la probeta B.

#### 4.2.2. Discontinuidad 2. Grieta.

- Nivel de indicación (Proporcionado por el equipo): 54dB.
- Nivel de referencia (Proporcionado por el equipo): 54dB
- Factor de atenuación. De acuerdo a la ecuacion 3.4:

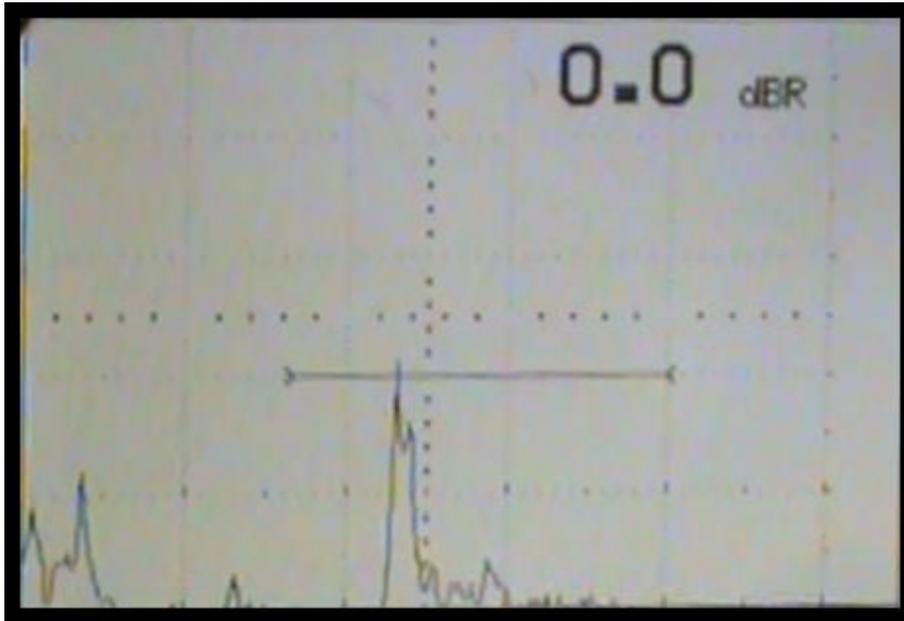
$$C = (31mm - 25mm) \times 0.08 \rightarrow C \approx 0$$

- Valor de indicación (d). De acuerdo a la ecuacion 3.5:

$d = \text{Nivel de indicación (a)} - \text{Nivel de referencia (b)} - \text{Factor de atenuación (c)}$

$$d = 54dB - 54dB - 0 = 0dB$$

- Resultados proporcionados por el equipo de ultrasonido:
  - ✓ Onda correspondiente a la discontinuidad (Figura 4.3)
  - ✓ Longitud de la discontinuidad: 10mm
  - ✓ Recorrido del haz sónico: 31mm
  - ✓ Profundidad: 10mm
  - ✓ Distancia desde X: 65mm
  - ✓ Distancia desde Y: 3mm
- Clasificación: tipo A. Tabla 6.2 según la norma AWS D1.1
- Resultado de ensayo: Rechazada.



**Figura 4.3.** Onda correspondiente a la discontinuidad 2 de la probeta B.

- Los reportes de inspección de las muestras se encuentra en el apéndice C.
- En el apéndice B se encuentra la práctica diseñada, la cual consta de una introducción teórica y cinco actividades. Se describe el equipo y materiales a usar, también el procedimiento para realizar estas actividades.

# CAPÍTULO 5

## *Análisis de Resultados.*

---

En el capítulo 4 se muestran los resultados donde se especifican los valores obtenidos por los ensayos realizados.

### **5.1. Probeta A.**

Con respecto a la calibración por haz recto y por haz angular de la probeta A se utilizó el patrón IIW y el mismo tipo de acoplante llamado Metilcelulosa. Para el ensayo de esta probeta se utilizó la inspección por haz angular debido a que es un cordón de soldadura. La inspección por haz recto fue sólo para material didáctico de la práctica que se mostrará en el apéndice B.

La grieta posee una longitud de 40mm y una profundidad de 9mm. Debido a que la longitud de la falla sobrepasa el límite de una discontinuidad aceptable, la cual para una grieta es de 20mm, el ensayo da como resultado el rechazo de la soldadura realizada en la probeta.

La clasificación de las discontinuidades son de clase A, de acuerdo con la tabla 6.2 (norma AWS D1.1), donde con el espesor de la probeta y el valor

o rango de indicación se obtiene la clase de discontinuidad, en donde toda indicación en esta categoría debe ser rechazada.

El nivel de indicación de la grieta es de 48dB debido a que se ubica como la máxima amplitud y se ajusta para que alcance la altura de pantalla establecida como el nivel de referencia (40%). Esta indicación es proporcionada por el equipo de ultrasonido

Con respecto a la Norma AWS D1.1, el factor de atenuación se obtiene restando 1" (25 mm) del recorrido del sonido "S" en pulgadas y multiplicando el resultado por 2. Este valor debe ser redondeado al valor entero de dB más cercano. En el caso de estudio se trabajó con los valores en milímetros y después de la conversión, el resultado se multiplicó por el valor de 0,08. Este factor de atenuación dió como resultado el valor cero, debido a que el haz de ultrasonido no perdió intensidad conforme iba avanzando por la probeta A. No hubo absorción de ultrasonidos por el medio, hasta las diversas reflexiones que pudieran producirse por homogeneidad del medio y tampoco se produjeron dispersiones y pérdidas de dirección que pudieran ser causadas por refracción.

Como el factor de atenuación es directamente proporcional a la frecuencia del ultrasonido utilizado, para los ensayos se utilizaron frecuencias de 2.25MHz para la probeta A, los cuales produjeron un factor de atenuación despreciable cuando se detecta la grieta.

## **5.2. Probeta B.**

Igualmente para el ensayo de ultrasonido de la probeta B, se utilizó el patrón IIW para la calibración por haz recto y haz angular.

En los ensayos se obtienen intencionalmente dos tipos de fallas en el cordón de soldadura, las dos fueron de grietas.

La primera grieta tiene una longitud de 25mm con una profundidad de 13mm y la segunda grieta tiene una longitud de 10mm con una profundidad de 10mm. Estos valores fueron proporcionados por el equipo después de realizar el ensayo de la muestra o probeta B.

Igualmente como en la probeta A, la clasificación de las discontinuidades de la probeta B es del tipo A. Dicha clasificación fue obtenida por la tabla donde con el espesor de la probeta y el valor o rango de indicación se obtiene la clase de discontinuidad, en donde toda indicación en esta categoría debe ser rechazada. Como la probeta B posee un espesor de 16mm, con este valor se verifica en la tabla 6.2 de la norma (ANSI - AWS D1.1), con este espesor y el rango de indicación de cada discontinuidad, -4 y 0 respectivamente, las cuales ambas resultaron clase A mostrado anteriormente, por tanto, rechazada.

El factor de atenuación dió como resultado el valor cero, debido a que el haz de ultrasonido no perdió intensidad conforme iba avanzando tanto para la discontinuidad 1 y la discontinuidad 2.

Debido a que las discontinuidades fueron incorporadas en las probetas de forma intencional con fines didácticos para posteriormente realizar la práctica, la cual será incorporada en el Departamento de Materiales y Procesos de Fabricación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, los soldadores emplearon varios métodos. En el caso de formar la grieta, se produce mediante el calentamiento excesivo entre la herramienta y la superficie del metal, o se dejan trozos de electrodos en el cordón de soldadura.

El cordón de soldadura se inspecciona por toda su sección transversal y a lo largo de toda su longitud debido a que así se pudieron detectar las discontinuidades y se mueve el palpador de manera perpendicular al cordón.

La selección del palpador de haz angular tanto para la probeta A de 12mm de espesor y para la probeta B de 16mm de espesor fue de 70° debido a que su selección dependió del espesor del material base utilizado, ya que para este tipo de espesor recomienda este tipo de palpador, y también dependió de la configuración de la soldadura.

La frecuencia del palpador seleccionado fue de 2.25Mhz, ya que con esta frecuencia se logra una mejor resolución de la onda ultrasónica y una mejor penetración.

Mientras la discontinuidad sea de mayor longitud, la onda reflejada en el equipo de ultrasonido también será mayor debido a que gran parte de la onda se devuelve al detectar la discontinuidad y el resto detecta es la pared inferior de la soldadura.



### **5.3. Práctica de ultrasonido diseñada**

Después de realizar los ensayos de ultrasonido a las muestras y detectar las discontinuidades presentes en ellas, se procede a realizar la práctica en base al procedimiento estudiado, específicamente para la calibración de haz recto y haz angular, la verificación de la sensibilidad, determinación del punto de salida del haz angular y la detección de las discontinuidades.

La práctica de ultrasonido (Ver apéndice B) se compone de cinco actividades a realizar, comenzando con una introducción teórica para que el alumnado comprenda los conceptos básicos con respecto ultrasonido, tipo de onda, ángulo de reflexión y refracción, calibración con haz angular y haz recto, con la finalidad de entender como realizar las calibraciones respectivas y poder interpretar de mejor forma los resultados observados en la pantalla del equipo.

La calibración de haz recto y haz angular se encuentran entre los procedimientos de las actividades a estudiar con la finalidad de que los estudiantes tengan la capacidad de calibrar el equipo de ultrasonido antes de realizar la inspección de la muestra para detectar las fallas o discontinuidades.

Antes de realizar la inspección de una soldadura, se debe verificar la sensibilidad del palpador y el punto de salida del haz angular. Esto se realiza con la finalidad de obtener los resultados correctos debido a la inspección de la muestra y asimismo los estudiantes tengan la capacidad de realizar este procedimiento.

Por último, se inspecciona la pieza y se verifica las discontinuidades presentes en las muestras, se registran los resultados y se analizan de acuerdo a lo observado. Estas actividades se encuentran comprendidas en la práctica debido a que los estudiantes deben ser capaces, después de realizar los ensayos, de registrar e interpretar los resultados que se visualizan en la pantalla del equipo.

Con las actividades comprendidas en la práctica de ultrasonido, los estudiantes al final del curso o de la práctica, tendrán los conocimientos básicos con respecto a la detección de fallas o discontinuidades, los cuales son de gran importancia debido al auge de estos ensayos aplicados en las industrias.

# CAPÍTULO 6

## *Conclusiones.*

---

- Es muy importante la correcta calibración del equipo de ultrasonido, debido a que una incorrecta calibración ocasiona datos erróneos al realizar los ensayos con las probetas. Cuando la calibración no se ha realizado correctamente, no se evidencia la discontinuidad de forma efectiva o simplemente no se detecta, mostrando en la pantalla ecos provenientes de otra fuente y no de las discontinuidades específicas que se encuentran en la probeta, o se muestran los ecos provenientes de las discontinuidades con dimensiones erradas, dando como resultado la aceptación o rechazo de la probeta con resultados erróneos.
- Calcular el paso y el recorrido del sonido es muy importante para la inspección, debido a que esto influye en la exploración tomando valores en un porcentaje (%) mayor al obtenido para asegurar que las señales emitidas en la pantalla del equipo reflejen en su totalidad las dimensiones del cordón de soldadura.
- De acuerdo al párrafo 2.10.3 del capítulo 2, se seleccionó la frecuencia del palpador, la cual fue de 2.25Mhz debido a que el material utilizado para los ensayos de ultrasonido es un acero A-36, debido a que resulta adecuado para la mejor resolución de la señal ultrasónica en la pantalla

del equipo y una mejor penetración de la misma por ser de granos finos.

- Los resultados obtenidos de los ensayos, revelan que el ángulo del palpador seleccionado fue el más adecuado debido al espesor de las probetas ensayadas, el cual se refleja en el párrafo 2.10.3 del capítulo 2 donde se muestran los ángulos de palpadores recomendados dependiendo del espesor de la muestra. De usar un ángulo menor al recomendado, generaría mayor cantidad de indicaciones no relevantes, las cuales dificultarían distinguir las verdaderas reflexiones.
- Debido a la gran cantidad de pasos que se debe seguir antes de realizar la inspección de las muestras para la detección de discontinuidades, la práctica de detección de fallas a ser incorporada en el Departamento de Materiales y Procesos de Fabricación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo resulta muy extensa para la cantidad de horas que posee una práctica en la asignatura de Laboratorio de Materiales por lo que es conveniente la inclusión de la materia de Ensayos No Destructivos para realizar varias prácticas detalladamente.
- Las muestras o probetas seleccionadas para la detección de fallas, les fueron incorporadas algunas grietas de forma intencional con la finalidad de realizar la práctica, la cual está basada en los ensayos realizados. Se incorporan las grietas en las muestras debido a que son una de las fallas más comunes presentes en soldaduras.

- El procedimiento del ensayo de ultrasonido se estableció bajo la norma AWS D1.1 (2006) debido a que se examinó el cordón de soldadura tanto para la muestra A como la muestra B.
- Debido a que las ondas obtenidas en la inspección de las muestras dependen del tipo de discontinuidad presentes en ellas, se realiza una base de datos de acuerdo a los ensayos realizados los cuales se pueden observar en el apéndice C donde se registran los datos observados en la pantalla del equipo y donde se obtuvo una onda de acuerdo a cada discontinuidad. No se puede realizar una base de datos en forma general ya que cada discontinuidad depende de su longitud, ubicación y esto influye en la presentación de la onda en la pantalla del equipo, por lo tanto cada discontinuidad, así sean todas de la misma índole o del mismo tipo, tendrán diferentes tipos de ondas, por lo tanto el equipo arrojará diferentes resultados.
- La práctica de ultrasonido fue realizada en base al procedimiento utilizado para calibrar el equipo y en base a la inspección de las muestras para detectar las fallas o discontinuidades. La práctica diseñada se realizó bajo este procedimiento basado en normas para el mejor aprovechamiento del alumnado con la finalidad de adquirir los conocimientos básicos realizando las actividades comprendidas en la práctica.

# CAPÍTULO 7

## *Recomendaciones.*

---

- Para el uso del equipo de ultrasonido, el personal debe tener una previa instrucción el cual se obtiene realizando un curso de Nivel I necesario para la manipulación de éste, ya que un inspector de este nivel es capaz de realizar apropiadamente un ensayo en específico, calibraciones y evaluaciones específicas para establecer la condición de aceptación o rechazo y de registrar resultados.
- Es necesario poseer la certificación de Nivel I, pero este debe estar supervisado por un Nivel II para la correcta interpretación de los resultados mostrados en la pantalla del equipo y evaluar si es correcto el criterio de rechazo o aceptación evaluado por el inspector de Nivel I.
- Antes de incorporar la materia de Ensayos no Destructivos en el Departamento de Materiales y Procesos de Fabricación, enfocándose en ensayos de ultrasonidos, es recomendable que el personal docente que desee impartir la asignatura realice un curso de Nivel I de ultrasonido con 30 horas de entrenamiento, luego presentando el exámen para su respectiva certificación, con la finalidad de adquirir los conocimientos necesarios, poder realizar las calibraciones respectivas y detectar discontinuidades específicas. Asimismo los docentes tendrán una base fundamentada en los conocimientos adquiridos los cuales

podrán enseñar o impartir al alumnado de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

- Incorporar la asignatura electiva de Ensayos No Destructivos con sesiones prácticas de ultrasonido.
- Es necesario que el Departamento de Materiales y Procesos de Fabricación adquiera por lo menos tres patrones de calibración, específicamente el patrón de calibración IIW, debido a que al momento de realizar las prácticas de ultrasonido, el alumnado entienda mejor el procedimiento utilizado para calibrar el equipo, pueda observar el patrón y manipularlo de mejor forma. Asimismo, se recomienda adquirir por lo menos tres equipos de Ultrasonido con esta misma finalidad, para mayor aprovechamiento por parte de los alumnos.
- Es muy importante antes de realizar cualquier ensayo de ultrasonido para detectar discontinuidades, revisar las normas correspondientes dependiendo del material a ensayar, debido a que las normas mostrarán el procedimiento a utilizar para la calibración del equipo para luego detectar las discontinuidades en la muestra.

# Glosario de términos.

---

**Ciclo:** es el proceso de completar un movimiento que se inicia en una condición determinada y termina en la misma condición.

**Duración de una onda:** De acuerdo a la duración de una onda, se distingue entre onda continua e impulso. La mayoría de los equipos de ultrasonido trabajan con impulsos, es decir, ondas de corta duración.

**Ensayo de ultrasonido:** el cual se define como un procedimiento de inspección no destructivo de tipo mecánico, y su funcionamiento se basa en la impedancia acústica, la que se manifiesta como el producto de la velocidad máxima de propagación del sonido y la densidad del material. A un lado de la pieza se aplica un emisor de sonido y al otro lado, un receptor. En presencia de un defecto, la intensidad sonora en el receptor disminuye a causa de la reflexión parcial o se hace nula en caso de reflexión total.

**Frecuencia:** es el número de ciclos completos que pasan por un punto dado en un segundo. En la inspección ultrasónica, la frecuencia está relacionada con el número de veces que vibra el cristal en el intervalo de un segundo. La unidad de la frecuencia es el Hertz.

**Ganancia:** los valores de ganancia (GAIN) se miden en decibeles y presentan dos funciones de ganancia, fina y gruesa (fine & coarse). La ganancia ajusta la amplitud de la señal en la pantalla, el uso de ganancias excesivas no es conveniente.

**Impedancia acústica:** es una medida relativa de la resistencia que ofrece un medio o material al paso de las ondas ultrasónicas o a la vibración de los elementos de masa de un medio.

**Longitud de onda:** es la distancia de separación entre un punto sobre una onda y el próximo punto similar en la siguiente onda.

**Ondas elásticas:** Las fracciones de masa se encuentran atraídas hacia su posición cero, por causa de los vínculos elásticos del material.

**Ondas Lamb:** Estas ondas se producen cuando una lámina cuyo espesor es comparable a una longitud de onda es atravesada por ondas ultrasónicas. Pueden ser generadas en láminas muy delgadas de metal usando ondas longitudinales de velocidad y frecuencia escogida y con cierto ángulo de incidencia.

**Ondas longitudinales:** Son aquellas que se propagan o se desplazan en la misma dirección del movimiento de las partículas. También se les llama ondas de presión o compresión, ya que originan zonas de compresión y dilatación; poseen una gran velocidad de propagación en la mayoría de los materiales y son susceptibles de viajar en líquidos, sólidos y gases.

**Ondas mecánicas:** la propagación se basa en vibraciones mecánicas, es decir, vibraciones en las que intervienen fracciones de masa, por lo que requiere de un medio para transportarse.

**Ondas sónicas o acústicas:** Dentro del espectro acústico se observan tres bandas de acuerdo a su frecuencia.

**Ondas superficiales o de Rayleigh:** Las ondas de Rayleigh se propagan sólo por sobre la superficie de los sólidos y guardan cierto parecido con las ondas superficiales del agua. Si existen grietas o discontinuidades en la superficie o justo debajo de ellas en una pieza, es posible obtener señales en la pantalla del equipo.

**Ondas transversales:** Estas ondas se desplazan en dirección perpendicular al movimiento de las partículas. Se les conoce como ondas S, y su velocidad es aproximadamente la mitad de las ondas longitudinales. No viajan a través de líquidos o gases, porque necesitan para su propagación cierta elasticidad en el medio, la cual es muy baja en materiales no sólidos. También se les llama ondas de corte.

**Palpador o transductor:** El palpador consta del cristal y su soporte. El cristal convierte la energía eléctrica en energía ultrasónica e introduce vibraciones en la pieza sometida a pruebas; también recibe vibraciones reflejadas dentro de la pieza y las convierte en señales eléctricas, las cuales se amplifican y se representan en la pantalla.

**Propagación del sonido:** el sonido se propaga a través de los materiales en forma de ondas. Una onda completa es denominada un ciclo. El sonido se mide por el número de ciclos u ondas que pasan por un punto dado en un periodo de tiempo.

**Presión acústica:** Durante la propagación de una onda longitudinal, la densidad de las partículas fluctúa. Si se coloca un medidor microscópico de presión, indicaría alternativamente presiones altas y bajas según una secuencia periódica. Esta presión alterna es la presión acústica.

**Rango:** permite definir el intervalo de barrido de la pantalla, puede variar dependiendo del equipo, usualmente desde 10 mm hasta 1000 mm o más, dependiendo del equipo. Se debe seleccionar el rango de pantalla en función del recorrido sónico que se vaya a utilizar para examinar la pieza.

**Reflexión:** Se conoce como la acción de reflejar una onda sonora cuando incide sobre una interfaz. La interfaz es la superficie sobre la cual se encuentra otro medio de impedancia y es donde ocurre la reflexión.

**Refracción:** Es el cambio en la dirección de propagación de las ondas transmitidas, que se origina cuando una onda incide con un ángulo diferente de 0° sobre la superficie de interfaz de dos medios con diferentes velocidades del sonido.

**Resolución cercana:** Es la capacidad de detectar discontinuidades cerca de la superficie de entrada del haz ultrasónico en el material.

**Resolución lejana:** Es la capacidad de separar señales de discontinuidades muy cerca unas de otras.

**Retardo:** el retardo del equipo permite ajustar a "0", al lado izquierdo de la pantalla, el impulso inicial o eco de transmisión, así como los ecos de recorridos sónicos conocidos. Con el retardo, las señales se pueden desplazar manteniendo las distancias entre ellas.

**Sensibilidad:** Es la capacidad de detectar ecos procedentes de discontinuidades pequeñas. La sensibilidad del palpador se mide por la amplitud de su respuesta a una discontinuidad artificial en un bloque estándar de referencia. La sensibilidad es una característica única de un palpador

específico, ya que palpadores del mismo tamaño, frecuencia y material, procedentes del mismo fabricante, no siempre producen indicaciones idénticas de un mismo reflector en la pantalla del instrumento dado.

**Velocidad:** se debe seleccionar la velocidad correcta de acuerdo al tipo de material y al tipo de onda, longitudinal o transversal, que se vayan a utilizar. Los equipos ya tienen preestablecidas las velocidades de los materiales más utilizados.

# Glosario de términos.

---

**Ciclo:** es el proceso de completar un movimiento que se inicia en una condición determinada y termina en la misma condición.

**Duración de una onda:** De acuerdo a la duración de una onda, se distingue entre onda continua e impulso. La mayoría de los equipos de ultrasonido trabajan con impulsos, es decir, ondas de corta duración.

**Ensayo de ultrasonido:** el cual se define como un procedimiento de inspección no destructivo de tipo mecánico, y su funcionamiento se basa en la impedancia acústica, la que se manifiesta como el producto de la velocidad máxima de propagación del sonido y la densidad del material. A un lado de la pieza se aplica un emisor de sonido y al otro lado, un receptor. En presencia de un defecto, la intensidad sonora en el receptor disminuye a causa de la reflexión parcial o se hace nula en caso de reflexión total.

**Frecuencia:** es el número de ciclos completos que pasan por un punto dado en un segundo. En la inspección ultrasónica, la frecuencia está relacionada con el número de veces que vibra el cristal en el intervalo de un segundo. La unidad de la frecuencia es el Hertz.

**Ganancia:** los valores de ganancia (GAIN) se miden en decibeles y presentan dos funciones de ganancia, fina y gruesa (fine & coarse). La ganancia ajusta la amplitud de la señal en la pantalla, el uso de ganancias excesivas no es conveniente.

**Impedancia acústica:** es una medida relativa de la resistencia que ofrece un medio o material al paso de las ondas ultrasónicas o a la vibración de los elementos de masa de un medio.

**Longitud de onda:** es la distancia de separación entre un punto sobre una onda y el próximo punto similar en la siguiente onda.

**Ondas elásticas:** Las fracciones de masa se encuentran atraídas hacia su posición cero, por causa de los vínculos elásticos del material.

**Ondas Lamb:** Estas ondas se producen cuando una lámina cuyo espesor es comparable a una longitud de onda es atravesada por ondas ultrasónicas. Pueden ser generadas en láminas muy delgadas de metal usando ondas longitudinales de velocidad y frecuencia escogida y con cierto ángulo de incidencia.

**Ondas longitudinales:** Son aquellas que se propagan o se desplazan en la misma dirección del movimiento de las partículas. También se les llama ondas de presión o compresión, ya que originan zonas de compresión y dilatación; poseen una gran velocidad de propagación en la mayoría de los materiales y son susceptibles de viajar en líquidos, sólidos y gases.

**Ondas mecánicas:** la propagación se basa en vibraciones mecánicas, es decir, vibraciones en las que intervienen fracciones de masa, por lo que requiere de un medio para transportarse.

**Ondas sónicas o acústicas:** Dentro del espectro acústico se observan tres bandas de acuerdo a su frecuencia.

**Ondas superficiales o de Rayleigh:** Las ondas de Rayleigh se propagan sólo por sobre la superficie de los sólidos y guardan cierto parecido con las ondas superficiales del agua. Si existen grietas o discontinuidades en la superficie o justo debajo de ellas en una pieza, es posible obtener señales en la pantalla del equipo.

**Ondas transversales:** Estas ondas se desplazan en dirección perpendicular al movimiento de las partículas. Se les conoce como ondas S, y su velocidad es aproximadamente la mitad de las ondas longitudinales. No viajan a través de líquidos o gases, porque necesitan para su propagación cierta elasticidad en el medio, la cual es muy baja en materiales no sólidos. También se les llama ondas de corte.

**Palpador o transductor:** El palpador consta del cristal y su soporte. El cristal convierte la energía eléctrica en energía ultrasónica e introduce vibraciones en la pieza sometida a pruebas; también recibe vibraciones reflejadas dentro de la pieza y las convierte en señales eléctricas, las cuales se amplifican y se representan en la pantalla.

**Propagación del sonido:** el sonido se propaga a través de los materiales en forma de ondas. Una onda completa es denominada un ciclo. El sonido se mide por el número de ciclos u ondas que pasan por un punto dado en un periodo de tiempo.

**Presión acústica:** Durante la propagación de una onda longitudinal, la densidad de las partículas fluctúa. Si se coloca un medidor microscópico de presión, indicaría alternativamente presiones altas y bajas según una secuencia periódica. Esta presión alterna es la presión acústica.

**Rango:** permite definir el intervalo de barrido de la pantalla, puede variar dependiendo del equipo, usualmente desde 10 mm hasta 1000 mm o más, dependiendo del equipo. Se debe seleccionar el rango de pantalla en función del recorrido sónico que se vaya a utilizar para examinar la pieza.

**Reflexión:** Se conoce como la acción de reflejar una onda sonora cuando incide sobre una interfaz. La interfaz es la superficie sobre la cual se encuentra otro medio de impedancia y es donde ocurre la reflexión.

**Refracción:** Es el cambio en la dirección de propagación de las ondas transmitidas, que se origina cuando una onda incide con un ángulo diferente de 0° sobre la superficie de interfaz de dos medios con diferentes velocidades del sonido.

**Resolución cercana:** Es la capacidad de detectar discontinuidades cerca de la superficie de entrada del haz ultrasónico en el material.

**Resolución lejana:** Es la capacidad de separar señales de discontinuidades muy cerca unas de otras.

**Retardo:** el retardo del equipo permite ajustar a "0", al lado izquierdo de la pantalla, el impulso inicial o eco de transmisión, así como los ecos de recorridos sónicos conocidos. Con el retardo, las señales se pueden desplazar manteniendo las distancias entre ellas.

**Sensibilidad:** Es la capacidad de detectar ecos procedentes de discontinuidades pequeñas. La sensibilidad del palpador se mide por la amplitud de su respuesta a una discontinuidad artificial en un bloque estándar de referencia. La sensibilidad es una característica única de un palpador

específico, ya que palpadores del mismo tamaño, frecuencia y material, procedentes del mismo fabricante, no siempre producen indicaciones idénticas de un mismo reflector en la pantalla del instrumento dado.

**Velocidad:** se debe seleccionar la velocidad correcta de acuerdo al tipo de material y al tipo de onda, longitudinal o transversal, que se vayan a utilizar. Los equipos ya tienen preestablecidas las velocidades de los materiales más utilizados.

## *Apéndice A.*

---

---

## *Apéndice B.*

---

---

## *Apéndices.*

---

---

## *Apéndice C.*

---

---



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



## **Ensayo de Ultrasonido**

### **1. Objetivo general:**

Conocer el comportamiento de las señales ultrasónicas obtenidas asociadas a distintos tipos de fallas.

### **2. Bases teóricas:**

#### **2.1. Introducción:**

En los últimos años se ha visto un aumento dramático en el uso de ensayos de ultrasonido como método de detección de fallas gracias a su condición no destructiva a diferencia de ensayos convencionales. Estos ensayos ofrecen un gran potencial para aumentar la calidad de inspección, reducir el tiempo de éste y se tiene la ventaja de producir imágenes inmediatas de los defectos presentes en el material. Estas ventajas han llevado a la rápida adopción de los ensayos en el campo de la ingeniería.

Se considera ultrasonido aquellas oscilaciones de presión que poseen frecuencias por encima de la gama perceptible (esto es, superior a 20 000 Hz).

El método consiste en generar y emitir ondas muy bien definidas, para luego captarlas apoyándose en las leyes de reflexión al encontrar en su trayectoria un cambio en las propiedades físicas del medio en el cual se propagan. El procedimiento del ensayo consiste en introducir un haz sónico de alta frecuencia en el material a analizar, con el objetivo de detectar discontinuidades internas y superficiales. El sonido que recorre el material es reflejado por las interfaces y es detectado y analizado para determinar la presencia y localización de discontinuidades.

## **2.2. Características de la propagación de las ondas ultrasónicas.**

**2.2.1. Propagación del sonido:** el sonido se propaga a través de los materiales en forma de ondas. Una onda completa es denominada un ciclo. El sonido se mide por el número de ciclos u ondas que pasan por un punto dado en un periodo de tiempo.

**2.2.2. Ciclo:** es el proceso de completar un movimiento que se inicia en una condición determinada y termina en la misma condición.

**2.2.3. Duración de una onda.** De acuerdo a la duración de una onda, se distingue entre onda continua e impulso. La mayoría de los equipos de ultrasonido trabajan con impulsos, es decir, ondas de poca duración.

## **2.3. Longitud de ondas. Frecuencia y velocidad acústica.**

**2.3.1. Longitud de onda:** es la distancia de separación entre un punto sobre una onda y el próximo punto similar a la siguiente onda.

**2.3.2. Frecuencia:** es el número de ciclos completos que pasan por un punto dado en un segundo. En la inspección ultrasónica, la frecuencia esta relacionada con el número de veces que vibra el cristal en el intervalo de un segundo. La unidad de la frecuencia es el Hertz.

Las frecuencias comúnmente utilizadas en el método de contacto directo son: 1 MHz, 2 MHz, 2.25 MHz, 4 MHz, 5 MHz y 10 MHz.

La frecuencia de 2.25 MHz es muy recomendable para la inspección ultrasónica porque proporciona adecuada sensibilidad y resolución; a la vez que logra una gran distancia de penetración.

## **2.4. Tipos o modos de ondas ultrasónicas**

Se distinguen dos tipos principales de ondas en medios ilimitados, las ondas longitudinales y las ondas transversales. Aunque existen otros tipos de ondas, también utilizadas en los ensayos pero con menor frecuencia, tales como las ondas superficiales y las ondas de Lamb.

### **2.4.1. Ondas longitudinales:**

Son aquellas que se propagan o se desplazan en la misma dirección del movimiento de las partículas. También se les llama ondas de presión o compresión, ya que originan zonas de compresión y dilatación; poseen una gran velocidad de propagación en la mayoría de los materiales y son susceptibles de viajar en líquidos, sólidos y gases. Estas son conocidas normalmente como ondas L.

### **2.4.2. Ondas transversales:**

Estas ondas se desplazan en dirección perpendicular al movimiento de las partículas. Se les conoce como Ondas S, y su velocidad es aproximadamente la mitad de las ondas longitudinales. No viajan a través de líquidos o gases, porque necesitan para su propagación cierta elasticidad en el medio, la cual es muy baja en materiales no sólidos. También se les llama ondas de corte.

### **2.4.3. Ondas superficiales o de Rayleigh:**

Cuando el haz incidente forma un ángulo igual al segundo ángulo crítico, y las ondas cizallantes se desplazan por la superficie, tiene lugar la aparición de una tercera forma ondular conocida como Ondas de Rayleigh o Superficiales. Estas ondas tienen un movimiento de partículas elípticas. Las ondas de Rayleigh se propagan solo por sobre la superficie de los sólidos y guardan cierto parecido con las ondas superficiales del agua. Si existen grietas o discontinuidades en la superficie o justo debajo de ellas en una pieza, es posible obtener señales en la pantalla del equipo.

### **2.4.4. Ondas Lamb:**

Estas ondas se producen cuando una lámina cuyo espesor es comparable a una longitud de onda es atravesada por Ondas Ultrasónicas. Pueden ser generadas en láminas muy delgadas de metal usando ondas longitudinales de escogida velocidad y frecuencia y con cierto ángulo de incidencia el cual puede ser calculado mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Sen}(\theta) = C_l / C_p$$

Donde  $C_l$  = Velocidad de la onda incidente longitudinal  
 $C_p$  = Velocidad de la onda de Lamb deseada.

## **2.5. Reflexión y Refracción**

La reflexión se conoce como la acción de reflejar una onda sonora cuando incide sobre una interface. La interface es la superficie sobre la cual se encuentra otro medio de impedancia y es donde ocurre la reflexión.

La refracción es el cambio en la dirección de propagación de las ondas transmitidas, que se origina cuando una onda incide con un ángulo diferente de 0 sobre la superficie de interfase de dos medios con diferentes velocidades del sonido. En un mismo material no existe refracción, ya que no hay desviación de las ondas de incidencia, en este caso las ondas se transmiten. Para que se cumpla refracción deben cumplirse que existe incidencia angular, que las velocidades de los dos medios sean diferentes y que la diferencia de impedancia acústica entre los dos medios no sea muy grande.

## **2.6. Equipos impulso - Eco.**

Los equipos más utilizados en la inspección ultrasónica son los impulso – eco. El circuito electrónico de todas las marcas de estos equipos es más o menos similar, puesto que las funciones básicas son comunes a todas ellas. La nomenclatura de las funciones y la forma de presentarlas es lo que varía de un instrumento a otro. Toda unidad comprende las siguientes componentes:

### **2.6.1. Fuentes de corriente.**

Los circuitos que suministran la corriente necesaria para el funcionamiento de instrumento lo constituye la fuente de corriente de la red de servicios o las baterías contenidas en la unidad.

### **2.6.2. Palpador o transductor.**

El palpador consta de cristal y su soporte. El cristal convierte la energía eléctrica en energía ultrasónica e introduce vibraciones en la pieza sometida a pruebas; también recibe vibraciones reflejadas dentro de la pieza y las convierte en señales eléctricas, las cuales se amplifican y se representan en la pantalla.

### **2.6.3. Pulsador/Receptor.**

El pulsador o generador de impulsos constituye la fuente de impulsos cortos de intensa energía eléctrica, disparados por el generador de tiempo (timer), los cuales son aplicados al transductor. Los amplificamos y enviados a la unidad de presentación.

### **2.6.4. Presentación / Generador de tiempo.**

La presentación se obtiene mediante un osciloscopio o pantalla con generador de barrido, en algunos equipos un generador de marcadores, y los controles necesarios para obtener una imagen visual de las señales recibidas del espécimen. El generador constituye la fuente de todas las señales de tiempo para el pulsador y a veces se le denomina generador de repetición o reloj.

## **2.7. Controles.**

Existen controles para las diversas funciones del sistema, tales como fuentes de corriente, pulsador, receptor, generador de tiempo y presentación. La nomenclatura empleada en la siguiente descripción puede variar de una unidad a otra.

### **2.7.1. Encendido.**

Usualmente la fuente de corriente se controla mediante interruptores de encendido, apagado y fusibles. Después de encender la unidad entran en función ciertos elementos retardadores que protegen los elementos del circuito durante el periodo de arranque del instrumento e inicio de programas.

## **2.7.2. Pulsador / Receptor.**

Dentro de las funciones incluidas en este contacto están:

**2.7.2.1. Energía o Voltaje:** la energía del impulso transmitido a la pieza puede ser de alto o bajo voltaje (high or low), aunque hay equipos tienen un rango de 50 a 500 voltios. Este control influye en la duración de las baterías y se ajusta mediante los controles “Voltaje” o “Baja o Alta” energía (low / high).

**2.7.2.2. Frecuencia:** existe también un selector para las frecuencias de operaciones que señala las frecuencias que dispone el instrumento en megaciclos (MHz). Se debe utilizar la frecuencia más cercana a la del palpador a utilizar o el rango que la incluya.

**2.7.2.3. Ganancia:** los valores de ganancia (GAIN) se miden en decibeles y presentan dos funciones de ganancia, fina y gruesa (fine & coarse). La ganancia ajusta la amplitud de la señal en la pantalla, el uso de ganancias excesivas no es conveniente.

**2.7.2.4. Rechazo (Reject):** a fin de obtener una presentación clara, libre de ruidos de bajo nivel o grama existe este control que permite suprimirlos.

**2.7.2.5. Amortiguación:** (Damping) este control que permite acortar la duración de los tiempos del impulso mediante, el cual ajusta la longitud del tren de ondas aplicado al palpador. Una amortiguación intensa mejora la resolución.

**2.7.3. Conectores:** para conectar el palpador el equipo tiene dos conectores al frente, uno emisor y uno receptor, en caso de usar palpador emisor – receptor, se puede conectar a cualquiera de las dos, si se va usar uno emisor y otro receptor se deben conectar en su posición correspondiente e indicar que se va a trabajar en dual.

#### **2.7.4. Presentación de pantalla:**

Los controles básicos para ajustar la base de tiempo de la pantalla son:

**2.7.4.1. Rango:** permite definir el rango de barrido de la pantalla, puede variar dependiendo del equipo, usualmente desde 10 mm hasta 1000 mm o mas dependiendo del equipo. Se debe seleccionar el rango de pantalla en función del recorrido sónico que se vaya a utilizar para examinar la pieza.

**2.7.4.2. Retardo:** el retardo del equipo permite ajustar a "0", al lado izquierdo de la pantalla, el impulso inicial o eco de trasmisión, así como los ecos de recorridos sónico conocidos. Con el retardo las señales se pueden desplazar manteniendo las distancias entre ellas.

**2.7.4.3. Velocidad:** se debe seleccionar la velocidad correcta de acuerdo al tipo de material y al tipo de onda, longitudinal o transversal, que se vayan a utilizar. Los equipos ya tienen preestablecidas las velocidades de los materiales más utilizados.

Ajustando los controles de retardo y la velocidad sea calibra el recorrido del sonido necesario para hacer el examen.

#### **2.7.5. Otros controles.**

Son controles que no siempre existen, pues son refinamientos tales como:

**2.7.5.1. Variables del ensayo:** Menú que permite indicarle al equipo el ángulo del palpador a utilizar, en caso de palpador de has recto el ángulo es  $0^{\circ}$ , espesor del material, valor de X del palpador y diámetro de la pieza a ensayar.

**2.7.5.2. Compuertas (Gates):** Son controles que permiten definir dentro de la presentación de la pantalla (la pieza bajo examen) zonas que requieren de nuestra atención, esta clase de compuertas generalmente tienen tres (3) controles:

- **Inicio de Compuerta:** El control de arranque o retardo (Star-Delay) se utiliza para ajustar la posición del borde de inicio de la compuerta en la pantalla del osciloscopio.
- **Longitud de Ancho de Compuerta:** El ancho o longitud de la compuerta (Length or WIDTH) se usa para el ajuste de la longitud o para la localización del borde de la compuerta.

### **3. Actividad práctica:**

#### **3.1. Materiales y equipos.**

- Equipo de ultrasonido marca Olympus EPOCH 600
- Patrón de calibración V1
- Vernier
- Acoplante
- Probeta

#### **3.2. Procedimiento.**

##### **3.2.1. Actividad 1. Calibración del equipo de ultrasonido con palpador de haz recto.**

- Encender el equipo de ultrasonido
- Ajustar la ganancia en dB a una resolución adecuada

- Medir con el vernier el espesor del Patrón de calibración V1.
- Acceder al menú básico, ajustar el rango a 50mm para la obtención de 2 ecos y ajustar la velocidad a 5900 m/s
- Acceder al menú de receptor (F3) y seleccionar el rango frecuencia del palpador adecuada si se trabaja con un palpador de Hz.
- Acceder al menú de trigonometría, seleccionar:
  - ✓ Angulo: 0 grados (haz recto)
  - ✓ Espesor del patrón de calibración: 25mm
  - ✓ Valor de X: cero
  - ✓ Diámetro: Valor máximo.
- Ajustar la compuerta a un nivel de 40% y colocarla sobre el primer eco hacia la izquierda.
- Llevar las señales ultrasónicas al 80% de la pantalla pulsando 2 ndF seguido de GATES (compuerta).
- Acceder al menú de autocalibración, seleccionar Cal – Zero: 25mm. Luego presione CONTINUE.
- Colocar la compuerta en el eco hacia la derecha y llevar las señales ultrasónicas al 80% de la pantalla pulsando 2 ndF seguido de GATES (compuerta).
- El menú de autocalibración seleccionar Cal-Vel: 50mm. Luego presione DONE.
- Mover la compuerta hacia la izquierda para comprobar el valor del primer eco y luego comprobar el segundo

### **3.2.2. Actividad 2. Calibración del equipo de ultrasonido con palpador de haz angular.**

- Acceder al menú básico, ajustar el rango a 200mm para la obtención de 2 ecos y ajustar la velocidad a 3600 m/s
- Acceder al menú de receptor (F3) y seleccionar el rango frecuencia del palpador adecuada si se trabaja con un palpador de Hz.
- Acceder al menú de trigonometría, seleccionar:
  - ✓ Angulo: grados (haz recto)
  - ✓ Espesor del patrón de calibración: 25mm
  - ✓ Valor de X: cero
  - ✓ Diámetro: Valor máximo.
- Ajustar la compuerta a un nivel de 40% y colocarla sobre el primer eco hacia la izquierda.
- Llevar las señales ultrasónicas al 80% de la pantalla pulsando 2 ndF seguido de GATES (compuerta).
- Acceder al menú de autocalibración, seleccionar Cal – Zero: 25mm. Luego presione CONTINUE.
- Colocar la compuerta en el eco hacia la derecha y llevar las señales ultrasónicas al 80% de la pantalla pulsando 2 ndF seguido de GATES (compuerta).

- El menú de auto calibración seleccionar Cal-Vel: 50mm. Luego presione DONE.
- Mover la compuerta hacia la izquierda para comprobar el valor del primer eco y luego comprobar el segundo

### **3.2.3. Actividad 3. Determinación del punto de salida del eje del haz.**

- Colocar el palpador de haz angular en la parte superior del bloque de calibración IIW con respecto al radio 50mm o 25mm.
- Mover el palpador horizontalmente en ambos sentidos hasta obtener la máxima amplitud de la señal que proviene de los radios anteriores.
- El punto del palpador que esta en la línea con la marca del "0" del bloque es el punto de salida del sonido.

### **3.2.4. Actividad 4. Determinación de la sensibilidad del palpador.**

- Colocar el palpador de haz angular en la siguiente posición
- Mover el palpador en ambos sentidos hasta que la refracción del agujero de 1.5mm (0,060 pulgadas) alcanza un eco máximo en la pantalla del equipo.

### **3.2.5. Actividad 5. Ubicación de falla**

- Con el palpador angular realizar un movimiento transversal para poder inspeccionar toda la sección transversal del cordón de soldadura. Se debe mover el palpador perpendicularmente al cordón, desde un punto situado a la mitad de un rebote completo o Paso, medida desde el centro de la soldadura, hasta una posición situada exactamente a un rebote completo (P), calculada desde el mismo centro pero que debe medirse desde el borde de la soldadura para garantizar el examen de toda la sección.
- Con el palpador angular realizar un movimiento lateral para inspeccionar la longitud de la soldadura. El movimiento transversal y el movimiento lateral deben combinarse simultáneamente en forma zigzagueante, de manera que cada desplazamiento sucesivo del palpador paralelamente al cordón de soldadura no sea mayor que el espesor del palpador.
- Observar la pantalla del equipo mientras se realiza los movimientos antes mencionados y notar si hay ondas reflejadas en el barrido la cuales se puedan relacionar con discontinuidades.

## **4. Resultados y análisis.**

En esta parte anotar los resultados obtenidos proporcionados por la máquina de ultrasonido y realizar el análisis sobre las discontinuidades localizadas.

## **5. Conclusiones y Recomendaciones.**