

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA**



*“ANÁLISIS DE PROCEDIMIENTOS PARA INSPECCIÓN DE UNIONES SOLDADAS  
POR ULTRASONIDO CONFORME LOS REQUERIMIENTOS DEL CÓDIGO PARA  
SOLDADURA DE ACERO ESTRUCTURAL AWS D1.1/ D1.1M:2010.”*

Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecátronico, que presenta el bachiller:

José Cristian Belón Corrales

Asesor:

Ing. Jorge Castro Valdivia

*AREQUIPA – PERU*

*2016*

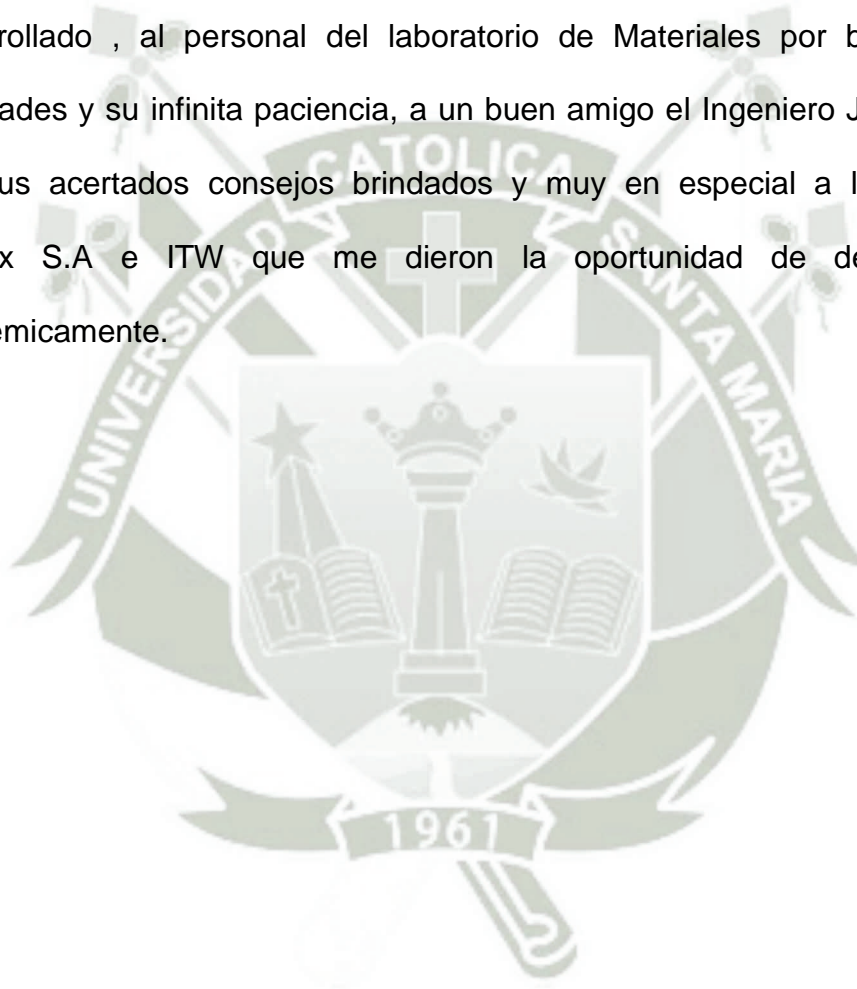
## DEDICATORIA



Dedicado a mi hijo Jose Osvaldo a mi esposa Paola por ser quienes impulsan mi vida y a mis padres Osvaldo y Nélica por todo el cariño y dedicación con la que me formaron.

## AGRADECIMIENTOS

Expreso profundo agradecimiento al Ingeniero Jorge Castro por su guía y veraz asesoramiento en el desarrollo de esta Tesis y en mi formación académica, al Ingeniero Emilio Chire por su importantísima ayuda para orientar el tema desarrollado , al personal del laboratorio de Materiales por brindarme las facilidades y su infinita paciencia, a un buen amigo el Ingeniero Jesús Estrada por sus acertados consejos brindados y muy en especial a las empresas Soldex S.A e ITW que me dieron la oportunidad de desenvolverme académicamente.



## RESUMEN

**Título: ANÁLISIS DE PROCEDIMIENTOS PARA INSPECCIÓN DE UNIONES SOLDADAS POR ULTRASONIDO CONFORME LOS REQUERIMIENTOS DEL CÓDIGO PARA SOLDADURA DE ACERO ESTRUCTURAL AWS D1.1/ D1.1M:2010.**

Con la finalidad de verificar las uniones soldadas en elementos fabricados de acero estructural por medio de ensayo no destructivo de Ultrasonido, se plantea el presente trabajo.

Este estudio tuvo como objetivo desarrollar un procedimiento para la correcta inspección de uniones soldadas por Ultrasonido con forme los requerimientos que exige el código para soldadura de acero estructural AWS D1.1/ D1.1M:2010.

Se realizaron ensayos para determinar fiabilidad del equipo de Ultrasonido, se desarrolló un procedimiento para calibración de ondas Ultrasónicas transversales, se verifico la resolución y sensibilidad del equipo de Ultrasonido, para ello se elaboró bloques de referencia conforme los requerimientos del código AWS D1.1/ D1.1M:2010.

Se elaboró cupones soldados con procedimientos de soldadura precalificados conforme el código AWS D1.1/ D1.1M:2010 para desarrollar procedimientos de inspección por Ultrasonido conforme los requerimientos del código ya mencionado, los cupones se elaboraron en acero ASTM A36 de 12 milímetros

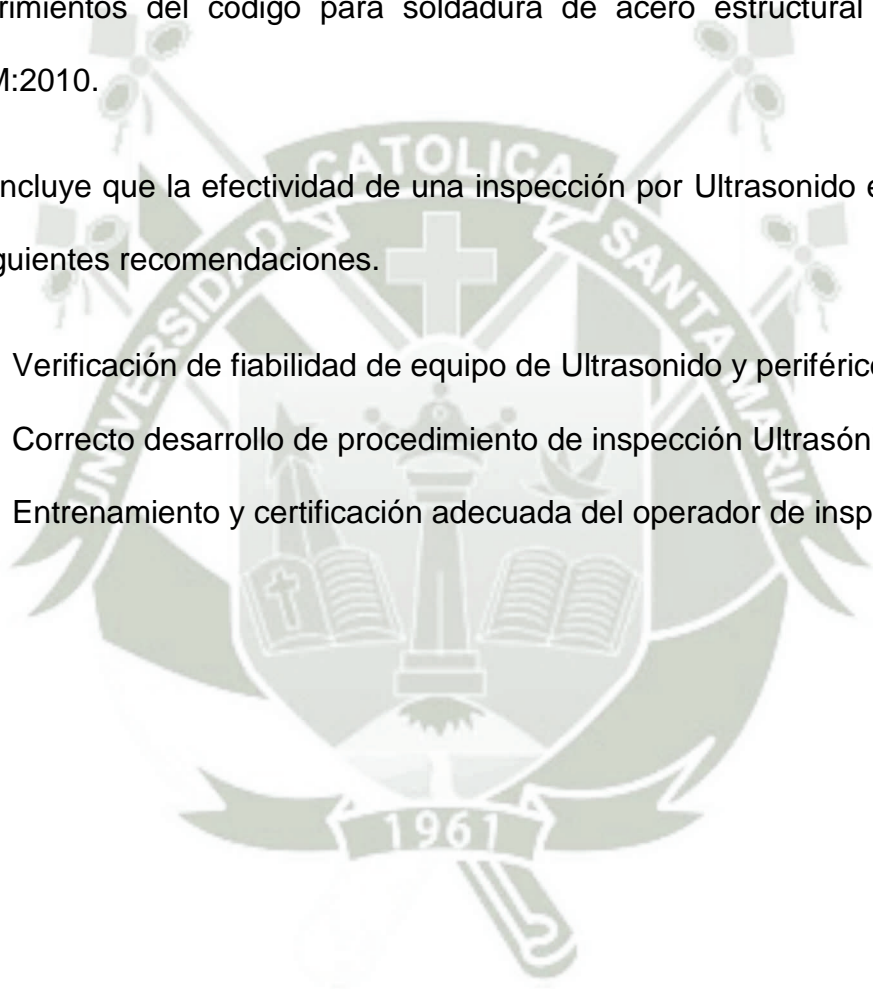
de espesor el tipo de junta y proceso de soldadura utilizado para este estudio fue:

- Shield Metal Arc Welding (SMAW)- junta a tope.

Se Implementaron protocolos de inspección y crearon formatos para almacenar datos obtenidos en inspecciones contemplando todas las recomendaciones y requerimientos del código para soldadura de acero estructural AWS D1.1/ D1.1M:2010.

Se concluye que la efectividad de una inspección por Ultrasonido está ligada a las siguientes recomendaciones.

- a) Verificación de fiabilidad de equipo de Ultrasonido y periféricos.
- b) Correcto desarrollo de procedimiento de inspección Ultrasónica.
- c) Entrenamiento y certificación adecuada del operador de inspección.



## ABSTRACT

In order to verify the welds in structural steel elements by Ultrasound Testing, this paper is planted, this study aims to develop a procedure for proper inspection ultrasonic welded meeting the requirements of Structural Welding Code Steel AWS / D1.1 : 2010 .

To determine reliability of the Ultrasonic equipment several test were realized for checking the resolution and sensitivity, also inspection protocols were implemented and created formats for storing data obtained in inspections.

A welded joint was prepared to develop ultrasonic inspection procedures meeting the requirements of Structural Welding Code Steel AWS / D1.1 : 2010

This investigation concluded that the effectiveness of an ultrasonic inspection is linked to the following recommendations.

- a) Verification of reliability of ultrasound equipment and peripherals.
- b) Proper development of ultrasonic inspection procedure.
- c) Adequate training for the operator.



## INDICE

<b>INTRODUCCION</b>	<b>16</b>
<b>CAPITULO I</b>	<b>17</b>
<b>1 Marco Investigativo</b>	<b>17</b>
1.1 Planteamiento del Problema	17
1.2 Formulación del Problema	17
1.3 Justificación	18
1.4 Objetivos	19
1.5 Alcances del Proyecto	20
<b>CAPITULO II</b>	<b>22</b>
<b>2 Fundamento Teórico</b>	<b>22</b>
2.1 Ultrasonido.	22
2.2 Onda Ultrasónica	22
2.3 Velocidad Acústica	24
2.4 Generación de Ultrasonido	25
2.5 Tipos de Cristales piezoeléctricos	27
2.6 Propagación de las Ondas Ultrasónicas	28
2.7 Comportamiento de las Ondas Ultrasónicas en superficies limites	31
2.8 Atenuación	37

2.9	Equipamiento y técnicas de inspección. -----	37
<b>CAPITULO III-----</b>		<b>53</b>
<b>3 Análisis de Requerimientos para la elaboración y evaluación de</b>		
<b>procedimiento de inspección de uniones soldadas por Ultrasonido bajo</b>		
<b>Código para soldadura de acero estructural AWS D1.1/ D1.1M:2010. ----</b>		
<b>53</b>		
3.1	Requerimientos Generales -----	53
3.2	Requerimiento de la Calificación-----	55
3.3	Equipo UT -----	55
3.4	Estándares de Referencia -----	58
3.5	Calificación del Equipo-----	61
3.6	Calibración para la Prueba -----	62
3.7	Procedimientos de Prueba-----	65
3.8	Prueba UT de conexiones tubulares T-, Y-, y K -----	71
3.9	Preparación y Disposición de los reportes -----	79
3.10	Calibración de la Unidad Para Prueba Ultrasónica con Bloques IIW u Otros Bloques de Referencia Aprobados -----	80
3.11	Procedimientos Para la Calificación del Equipo -----	90
3.12	Procedimientos de Evaluación del Tamaño de la Discontinuidad-----	95
3.13	Movimientos de Escaneo -----	96
<b>CAPITULO IV -----</b>		<b>98</b>

<b>4</b>	<b>Procedimientos</b>	<b>98</b>
4.1	Elaboración y evaluación de procedimiento para calificación de equipo de UT utilizado en inspección de juntas soldadas bajo Código para soldadura de acero estructural AWS D1.1/ D1.1M:2010.	98
4.2	Procedimiento para evaluación de Linealidad Horizontal. (Ver 3.11.1)	99
4.3	Procedimiento para evaluación de rango de precisión en dB. (Ver 2.11.2)	102
4.4	Procedimiento para Evaluación de reflexiones internas de transductor. (Ver 3.11.3)	107
4.5	Elaboración de procedimiento de soldadura bajo código estructural AWS D1.1M: 2010.	109
4.6	Elaboración de procedimiento para inspección de uniones soldadas por Ultra Sonido.	111
<b>CAPITULO V</b>		<b>123</b>
<b>5</b>	<b>Desarrollo de Procedimientos</b>	<b>123</b>
5.1	Elaboración de Probeta para procedimiento de inspección.	123
5.2	Ensayo de Macro ataque	126
5.3	Inclusión de reflector guía y trazado de longitudes de rastreo	127
5.4	Creación de Formato de Inspección y distancia de Barrido.	129
5.5	Evaluación de Unión Soldada con procedimiento de Inspección por Ultrasonido	131

**Conclusiones**----- a

**Recomendaciones**----- c

**Referencias Bibliográficas** ----- d

**Anexos** ----- f



## Índice de Tablas

Tabla 1-1 : Características Y Aplicaciones De Elementos Piezoeléctricos .....	28
Tabla 3-1: Reflexiones Obtenidas En Prueba De Linealidad Horizontal .....	101
Tabla 3-2: Valores "A" Y " B" Evaluación De Precisión .....	104
Tabla 3-3: Evaluación De Precisión Db- Ecuación.....	104
Tabla 3-4: Valores "C" Evaluación De Precisión Db- Nomografo.....	105
Tabla 3-5: Calculo De Precision Del Equipo .....	106
Tabla 5-1: Incremento De Nivel De Referencia Para Carga Estática .....	119
Tabla 5-2: Elección De Angulo De Rastreo Para El Transductor.....	119
Tabla 5-3: Criterio De Aceptación Visual .....	125
Tabla 6-1: Criterio De Evaluación Ut.....	134
Tabla 6-2criterios De Aceptación De Discontinuidades En Ut: .....	135



## Índice De Figuras

Figura 2-1 Frecuencias De Sonido Utilizadas .....	22
Figura 2-2 : Ciclo De Vibración .....	23
Figura 2-3 : Frecuencias De Sonido.....	24
Figura 2-4 : Separación De Particular .....	24
Figura 2-5 : Efecto Piezoeléctrico .....	26
Figura 2-6 : Propagación De Ondas Longitudinales.....	29
Figura 2-7 : Propagación De Ondas Transversales .....	30
Figura 2-8: Propagación De Ondas Superficiales .....	30
Figura 2-9: Propagacion De Ondas De Placa .....	31
Figura 2-10: Incidencia Perpendicular.....	32
Figura 2-11: Incidencia Angular .....	32
Figura 2-12 : Incidencia Angular Onda Refractada .....	33
Figura 2-13: Cambio De Modo.....	34
Figura 2-14: Conversión De Modo En Onda Longitudinal.....	34
Figura 2-15: Primer Angulo Crítico De Incidencia .....	35
Figura 2-16: Segundo Angulo Crítico De Incidencia .....	36
Figura 2-17: Atenuación.....	37
Figura 2-18 Partes Del Transductor .....	38
Figura 2-19 El Haz Ultrasónico .....	39
Figura 2-20: Método De Contacto .....	43
Figura 2-21: Método De Inmersión.....	44
Figura 2-22: Modo De Inspección Pulso Eco .....	45
Figura 2-23 : Modo De Inspección Pitch- Catch.....	46

Figura 2-24: Modo De Inspección De Transmisión .....	47
Figura 2-25: Equipo A Scan .....	48
Figura 2-26: Representación De Ondas En Modo De Pantalla A Scan .....	49
Figura 2-27: Método De Representación B- Scan.....	51
Figura 2-28: Método De Representación C-Scan .....	52
Figura 3-1: Conexión Tubo A Tubo T-Y-K.....	54
Figura 3-2: Dimensiones De Transductor .....	57
Figura 3-3: Distancia Del Borde De Carcaza A La Unidad De Exploración .....	58
Figura 3-4: Bloque De Referencia Iiw .....	59
Figura 3-5: Bloque Rc- Resolución Referencia .....	60
Figura 3-6: Posición De La Unidad De Exploración En El Bloque Rc .....	61
Figura 3-7: Identificación De Caras De La Junta Soldada .....	63
Figura 3-8: Patrones De Exploración Aplicables .....	68
Figura 3-9: Escaneo De Unión Soldada En Conexiones T-Y-K .....	76
Figura 3-10: Examinación En Primera Y Segunda Pierna .....	77
Figura 3-11: Bloque De Calibración Distancia Sensibilidad .....	80
Figura 3-12: Bloque De Calibración Iiw Tipo 1 .....	80
Figura 3-13: Posiciones Típicas Del Transductor Para Calibración .....	81
Figura 3-14: Calibración De Distancia.....	81
Figura 3-15: Indicaciones De Pared Posterior .....	82
Figura 3-16: Maximización De Primera Indicación De Pared Posterior.....	82
Figura 3-17: Posición De Transductor Recto Para Verificar Resolución.....	83
Figura 3-18: Indicación De Tres Distancias- Resolución.....	83
Figura 3-19: Detección Del Punto Índice De Emisión-Haz Angular .....	84

Figura 3-20: Verificación De Angulo De Transductor .....	85
Figura 3-21: Posición Del Transductor Para Calibración De Distancia .....	86
Figura 3-22: Calibración De Distancia Primera Indicación-Haz Angular .....	86
Figura 3-23: Calibración De Distancia Segunda Indicación-Haz Angular .....	86
Figura 3-24. Posición Del Transductor Para Calibrar Sensibilidad.....	87
Figura 3-25: Verificación De Calibración De Distancia Y Calibración De Sensibilidad .....	88
Figura 3-26: Posición De Transductor Para Verificación De Resolución Angular .....	88
Figura 3-27: Indicaciones De Tres Orificios -Resolución Haz Angular-Primer Orificio .....	89
Figura 3-28: Aproximación De La Distancia De La Unidad De Exploración O Transductor .....	89
Figura 4-1 Resolución Del Equipo.....	100
Figura 4-2: Obtención De 5 Reflexiones De Pared Posterior.....	101
Figura 4-3: Evaluación De Precisión En Db .....	102
Figura 4-4: Primera Reflexión – Precisión.....	103
Figura 4-5: Aplicación De Nomograma .....	105
Figura 4-6: Curva Precisión De Equipo.....	107
Figura 4-7: Evaluación De Reflexiones Internas Del Transductor-1.....	108
Figura 4-8: Evaluación D Reflexiones Internas-2 .....	108
Figura 6-1: Sensibilidad -Nivel De Referencia .....	116
Figura 6-2: Angulo De Rastreo Idóneo.....	120
Figura 6-3: Determinación De Viaje Del Sonido.....	121

Figura 6-4: Cupón De Soldadura Soldado Con Wps –Ucsm-Ppimem-001 .....	123
Figura 6-5: Zonas De La Unión Soldada.....	126
Figura 6-6: Macro Ataque Realizado A Cupón De Soldadura .....	126
Figura 6-7: Distancia De Salto Con Una Pierna Para Analizar La Raíz De La Unión Soldada .....	127
Figura 6-8: Distancia De Salto Con Dos Piernas Para Analizar La Cara De La Unión Soldada .....	128
Figura 6-9: Distancias Calculadas Para Movimiento De Transductor .....	128
Figura 6-10: Trazos Generados En Cupón De Soldadura-1 .....	129
Figura 6-11: Trazos Generados En Cupón De Soldadura-2 .....	129
Figura 7-1: Inspección De Cupón De Soldadura.....	131
Figura 7-2: Detección De Raíz De Soldadura .....	132
Figura 7-3: Detección De Cara De Soldadura.....	132
Figura 7-4: Cupón De Soldadura Con Inserción De Reflectores De Agrupados .....	133
Figura 7-5: Demarcación De Ejes De Rastreo Del Cupón De Soldadura .....	133
Figura 7-6: Detección De Reflector En Unión Soldada .....	134

## Índice de Ecuaciones

Ecuación 1-1: Frecuencia .....	23
Ecuación 1-2: Ley De Snell.....	32
Ecuación 2-1: Clasificación De Indicación -Ganancia Db .....	69
Ecuación 2-2: Clasificación Indicación - Atenuación Db .....	70
Ecuación 2-3: Ecuacion De Decibeles .....	93
Ecuación 5-1: Determinación De Distancia De Salto .....	127



## INTRODUCCION

SEÑOR DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS FÍSICAS  
Y FORMALES DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA DE  
AREQUIPA

SEÑOR DIRECTOR DEL PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA

SEÑORES MIEMBROS DEL JURADO

En cumplimiento con las Disposiciones y Reglamentos de Grados y Títulos de nuestra Facultad y con el propósito de optar el Título Profesional de Ingeniería Mecatrónica, es que propongo a consideración de ustedes el siguiente trabajo de investigación:

*“ANÁLISIS DE PROCEDIMIENTOS PARA INSPECCIÓN DE UNIONES SOLDADAS POR ULTRA SONIDO CONFORME LOS REQUERIMIENTOS DEL CÓDIGO PARA SOLDADURA DE ACERO ESTRUCTURAL AWS D1.1/ D1.1M:2010.”*

El cual fue realizado empleando los conocimientos adquiridos durante mi preparación universitaria y los estudios de especialización en uniones soldadas, utilizando también los conocimientos adquiridos en mi práctica laboral.

Con este trabajo pretendo encaminar al correcto uso de la potente herramienta de inspección no destructiva por Ultrasonido aplicando el estándar Internacional para soldadura de acero estructural AWS D1.1/ D1.1 M:2010.” además de mis conocimientos y experiencia

Atentamente

Jose Cristian Belón Corrales.

## CAPITULO I

### 1 Marco Investigativo

#### 1.1 Planteamiento del Problema

En el sur del país, se están desarrollando proyectos mineros y de energía en los cuales el uso del acero abarca un gran porcentaje, una de las formas más prácticas y seguras de unir el acero es mediante procesos de soldadura por arco eléctrico, para que estas uniones garanticen una adecuada transferencia de las cargas se debe desarrollar un procedimiento de soldadura y un procedimiento de inspección que cumplan con estándares internacionales desarrollados específicamente para cada tipo de estructura.

Uno de los métodos de inspección no destructiva cuya aplicación va en incremento por las bondades de dar resultados en tiempo real y no generar peligro para el personal que lo ejecuta es el ensayo por Ultrasonido.

El principal problema es la no utilización de procedimientos de inspección por Ultrasonido bajo un estándar que respalde su veracidad y correcto uso, se están realizando inspecciones basadas en técnicas generales o empíricas, no conforme a los requerimientos de los códigos o estándares aplicables para cada tipo elemento soldado, esto conlleva a que los resultados obtenidos no sean los correctos, pudiendo estos desencadenar en fallas críticas y retrasos en las construcciones causando daños personales y materiales.

#### 1.2 Formulación del Problema

Teniendo en cuenta lo explicado líneas arriba y siendo la mayor cantidad de acero utilizado en los proyectos para fines estructurales es por ello que este

trabajo de Tesis está abocado al análisis de procedimientos para la correcta inspección de uniones soldadas por Ultrasonido ,tomando como base el Código para Soldadura de Acero Estructural AWS D1.1/ D1.1M:2010 de la Sociedad Americana de Soldadura ( American Welding Society -AWS), este código nos indica específicamente como calificar los equipos, accesorios, técnicas y que criterios de evaluación deben ser usados para obtener una correcta inspección de manera que se apruebe o desapruere una unión soldada.

### **1.3 Justificación**

#### **1.3.1 Justificación Económica**

La inadecuada inspección de una unión soldada trae consigo grandes pérdidas económicas si los defectos no fueron detectados a tiempo y peor aún si estos defectos generan fallas traerían consecuencias graves el solo imaginar la caída de un puente de acero con personas cruzando este es en verdad seria catastrófico.

#### **1.3.2 Justificación Tecnológica**

Es posible medir el crecimiento de un país por la cantidad de acero que consume y si no hacemos uso correcto de la tecnología en este caso de los equipos de inspección Ultrasónica y de los estándares internaciones no tendremos un crecimiento Tecnológico verdadero.

El presente Análisis permitirá desarrollar procedimientos para elección y calibración de ondas Ultrasónicas, transductores, ángulos de ataque y frecuencias de Ultrasonido para inspeccionar uniones soldadas en planchas de acero estructural que cumplan con los requerimientos del código para

soldadura de acero estructural AWS D1.1/ D1.1M:2010 también permitirá desarrollar procedimientos para verificación de linealidad horizontal y vertical de equipos de Ultrasonido conforme los requerimientos del código para soldadura de acero estructural AWS D1.1/ D1.1M:2010, e implementar protocolos de inspección y crear formatos para almacenar datos obtenidos en inspecciones con forme los requerimientos del código para soldadura de acero estructural AWS D1.1/ D1.1M:2010.

#### **1.4 Objetivos**

##### **1.4.1 Objetivo General**

Desarrollar un procedimiento para la correcta inspección de uniones soldadas por Ultrasonido mediante el análisis de procedimientos de inspección con forme los requerimientos del código para soldadura de acero estructural AWS D1.1/ D1.1M:2010

##### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Desarrollar procedimientos para verificación de linealidad horizontal y vertical de equipos de Ultrasonido conforme los requerimientos del código para soldadura de acero estructural AWS D1.1/ D1.1M:2010
- Desarrollar procedimientos para elección y calibración de ondas Ultrasonicas, transductores, ángulos de ataque y frecuencias de Ultrasonido para inspeccionar uniones soldadas en planchas de acero estructural que cumplan con los requerimientos del código para soldadura de acero estructural AWS D1.1/ D1.1M:2010.

- Implementar protocolos de inspección y crear formatos para almacenar datos obtenidos en inspecciones con forme los requerimientos del código para soldadura de acero estructural AWS D1.1/ D1.1M:2010.

### 1.5 Alcances del Proyecto

- Se verificara la linealidad y resolución de equipos de Ultrasonido con el que cuenta el laboratorio de materiales del programa profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Mecatrónica, para evaluar si estas cualidades indispensables cumplen con lo requerido por el código para soldadura de acero estructural AWS D1.1/ D1.1M:2010. se realizara mediciones con patrones calibrados.
- Se implementara con los periféricos requeridos por el código para soldadura de acero estructural AWS D1.1/ D1.1M:2010. al equipo de Ultrasonido luego se procederá a calibrar el equipo de Ultrasonido para uso de ondas transversales que serán utilizadas en la inspección de uniones soldadas.
- Se implementara bloques de referencia para analizar la sensibilidad del equipo utilizado cuyas medidas serán certificadas por un ente acreditado.
- Se diseñara e implementara cupones soldados con los proceso de soldadura SMAW que serán utilizados para desarrollar procedimientos de inspección que cumplan los requerimientos el código para soldadura de acero estructural AWS D1.1/ D1.1M:2010.

- Se elaborara formatos que almacenen los datos esenciales obtenidos en las inspecciones requeridas por el código para soldadura de acero estructural AWS D1.1/ D1.1M:2010.



## CAPITULO II

### 2 Fundamento Teórico

#### 2.1 Ultrasonido.

El Ultrasonido son vibraciones mecánicas que se transmiten en un material por medio de ondas de la misma naturaleza que el sonido, pero con frecuencia mayor a los 20,000 ciclos por segundo (Hertz) fuera del rango audible del oído humano, la figura 2.1 detalla las frecuencias utilizadas en aplicaciones industriales.

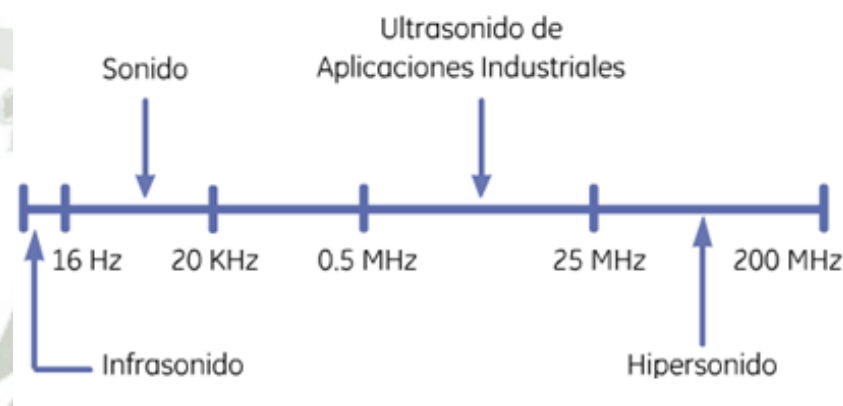


Figura 2-1 Frecuencias de sonido utilizadas

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

#### 2.2 Onda Ultrasónica

La propagación de las ondas de Ultrasonido está caracterizada por vibraciones mecánicas periódicas las cuales son comúnmente representadas por movimientos ondulatorios o ondas sinusoidales, las características más importantes del movimiento ondulatorio son

- Ciclo
- Longitud de Onda

- c) Frecuencia
- d) Velocidad

La figura 2.2 muestra un ciclo de vibración

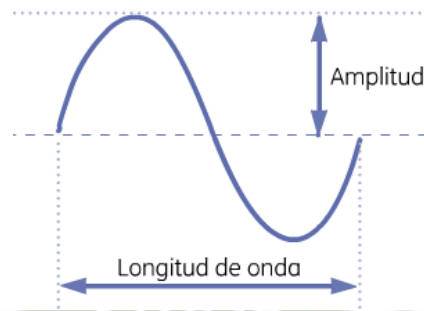


Figura 2-2 : Ciclo de Vibración

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

### 2.2.1 Ciclo

Puede ser definido como el movimiento completo de la onda

### 2.2.2 Longitud de Onda

Es la distancia requerida para completar un ciclo, se identifica con la letra griega (Lambda “ $\lambda$ ”).

### 2.2.3 Frecuencia

Se define como el número total de ciclos completos que pasan por un punto por unidad de tiempo, normalmente un segundo y se identifica con la letra “f”, en el Ultrasonido se utiliza las unidades conocidas como Hertz (Hz) que tiene la siguiente equivalencia:

$$1 \text{ Hertz} = 1\text{Hz} = 1 \frac{\text{ciclo}}{\text{Segundo}}$$

Ecuación 2-1: Frecuencia

En la figura 2.3 se muestra ejemplos de diferentes frecuencias.

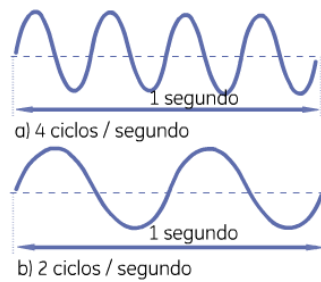


Figura 2-3 : Frecuencias de Sonido

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

### 2.3 Velocidad Acústica

Es la distancia total de viaje por unidad de tiempo se identifica con la letra “v” y se maneja en unidades del sistema internacional o del sistema inglés. La velocidad acústica está determinada principalmente por el módulo de elasticidad del material y su densidad, pero también está afectada en segunda instancia por la temperatura del material y el modo de onda, la velocidad es independiente de la frecuencia. La velocidad de la propagación de las ondas Ultrasónicas es diferente en cada estado de la materia debido básicamente a la separación de partículas (densidad del material) lo cual se representa en la figura 2.4.

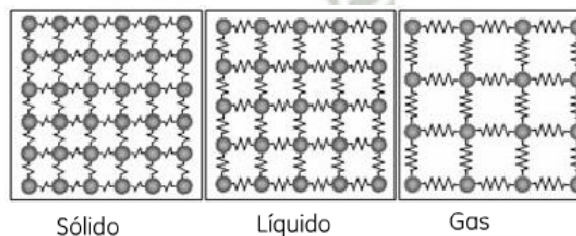


Figura 2-4 : Separación de Particular

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

En la inspección Ultrasónica la velocidad acústica es de gran importancia, puesto que los instrumentos Ultrasónicos deben calibrarse considerando el valor de la misma para el material que será inspeccionado.

## **2.4 Generación de Ultrasonido**

Para generar Ultrasonido se pueden aplicar principios físicos como:

- a) Electrostricción.
- b) Magnetostricción
- c) Efecto piezoeléctrico

### **2.4.1 Electrostricción.**

Al generar un campo eléctrico sobre un cristal que tiene sus dominios orientados al azar, estos tienden a orientarse en el sentido del campo y así provoca una deformación mecánica del cristal, esta deformación genera ondas Ultrasónicas.

### **2.4.2 Magnetostricción.**

Los materiales ferromagnéticos poseen la propiedad de contraerse o dilatarse con la influencia de un campo magnético generando ondas Ultrasónicas de frecuencias bajas aproximadamente 200 KHz, el campo de aplicación de estas ondas es recomendable para analizar materiales como el Concreto.

### **2.4.3 Efecto piezoeléctrico**

La palabra piezoelectricidad proveniente del griego “piezein” que significa estrujar da el nombre al efecto piezoeléctrico es la electricidad inducida mediante presión, en otras palabras se genera electricidad a partir de ejercer

presión en un material e inversamente cuando se aplica un campo eléctrico el material se deforma, la deformación producida por la expansión del espesor es modo más utilizado en la inspección Ultrasónica, algunos compuestos cristalinos naturales como el cuarzo y materiales creados por el hombre poseen esta propiedad, en la figura 2.5 se esquematiza el efecto piezoeléctrico directo e indirecto.

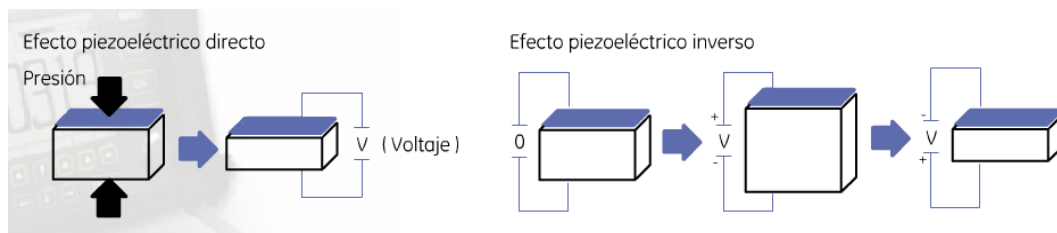


Figura 2-5 : Efecto Piezoeléctrico

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

El efecto piezoeléctrico fue descubierto por Jacques y Pierre Curie en los años 1880 estudiando la compresión de los cristales de cuarzo que al ser sometido a cargas de compresión ocasiona que las cargas de la materia se separen propiciando una polarización de la carga produciendo chispas, este fenómeno físico se presenta en algunos cristales debido a que su sistema de cristalización carece de simetría por ello aparece una diferencia de potencial eléctrico entre ciertas caras del cristal cuando este se somete a deformación mecánica denominándose efecto piezoeléctrico directo y cuando se le aplica un campo eléctrico a ciertas caras del cristal ocurre lo inverso pues este cristal experimenta distorsiones mecánicas denominado efecto piezoeléctrico inverso.

## 2.5 Tipos de Cristales piezoeléctricos

### 2.5.1 Cristales de Cuarzo

Eran los únicos cristales piezoeléctricos utilizados en la generación de Ultrasonido, las propiedades de los transductores dependen en gran parte de la dirección a lo largo de la cual los cristales fueron cortados.

Estabilidad eléctrica, estabilidad térmica, insolubilidad en la mayoría de los líquidos, resistencia mecánica, resistencia al desgaste, resistencia al envejecimiento junto a la excelente uniformidad son sus principales ventajas.

### 2.5.2 Sulfato de Litio:

Tiene mejores cualidades en cuanto a resolución por su capacidad de amortiguamiento acústico, son muy frágiles, máxima temperatura de servicio 75C°.

### 2.5.3 Cerámicas polarizadas

Son de alta eficiencia de conversión electromecánica, buena sensibilidad de rastreo y ganancia de enlace alta, por ejemplo:

#### 2.5.3.1 Titanato zirconato de plomo

Es mecánicamente reforzado, tiene buena tolerancia a temperaturas moderadamente elevadas y no pierde polarización con el tiempo, tiene alta respuesta piezoeléctrica en el modo radial lo cual hace que algunas veces limite su utilidad

### 2.5.3.2 Titanato de bario

También es mecánicamente reforzado y tiene una alta respuesta piezoeléctrica en el modo radial, su eficiencia es dependiente de la temperatura y con el tiempo se despolariza.

### 2.5.3.3 Metaneobato de plomo

Tiene un bajo amortiguamiento y buena tolerancia a la temperatura, su alto constante dieléctrico es su principal limitación ya que genera una alta capacitancia eléctrica en el transductor.

Las características y aplicaciones de los elementos piezoeléctricos del transductor se detallan en la tabla 2.1

Tabla 2-1 : Características y Aplicaciones de Elementos Piezoeléctricos

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

Elemento piezoeléctrico	Características de los elementos piezoeléctricos							Habilidad del elemento en		
	Eficiencia				Tolerancia a elevada temperatura	Habilidad de amortiguamiento	Modos no deseados (ruido inherente)	Inspección por contacto		Inspección por inmersión
	Transmisor	Receptor	Acoplamiento					Haz recto	Haz angular	
			Al aire	Al metal						
Cuarzo	P	B	B	M	B	M	B	B	M	B
Sulfato de litio	M	E	E	P	P	E	E	P	M	B
Titanato de bario	B	P	B	B	P	P	P	B	B	M
Titanato zirconato de plomo	E	M	M	E	E	M	P	E	E	M
Metaneobato de plomo	B	M	B	E	E	E	B	E	E	B

E = Excelente; B = Buena; M = Mediana; P = Pobre.

## 2.6 Propagación de las Ondas Ultrasónicas

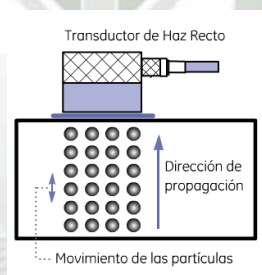
Las ondas Ultrasónicas se propagan en cualquier material elástico, las partículas atómicas de un material elástico se desplazan de su posición de equilibrio debido a una fuerza aplicada como respuesta del material actúan esfuerzos internos para restaurar las partículas a sus posiciones originales esto

genera un desplazamiento de las partículas continuas provocando una onda de esfuerzo deformación, en base al modo de desplazamiento de ñas articulas las ondas Ultrasónicas se clasifican como:

### 2.6.1 Ondas Longitudinales

Llamadas también ondas de compresión llamadas así por generar desplazamiento de las partículas del material en dirección paralela a la propagación del sonido, generando rarefacción (compresión y dilatación), separadas entre sí media longitud de onda en el material que se propagan.

En aplicaciones relacionadas a metales estas ondas son útiles para medir espesores de acero y detectar laminaciones.



*Figura 2-6 : Propagación de Ondas Longitudinales*

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

### 2.6.2 Ondas Transversales

Llamadas también ondas de corte llamadas así por generar desplazamiento de las partículas del material en dirección perpendicular a la propagación del sonido, la velocidad de estas ondas es aproximadamente la mitad de la velocidad de las ondas longitudinales esto comparadas si son aplicadas en el mismo material. Estas ondas son las más aplicadas para inspección de uniones soldadas.

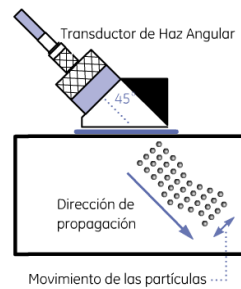


Figura 2-7 : Propagación de Ondas Transversales

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

### 2.6.3 Ondas Superficiales

Estas ondas se caracterizan por viajar a lo largo de superficies planas o curvas de elementos sólidos, penetran máximo una longitud de onda y la velocidad de propagación de estas ondas es aproximadamente el 90% de la velocidad de las ondas transversales.

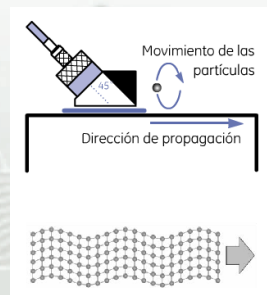


Figura 2-8: Propagación de Ondas Superficiales

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

### 2.6.4 Ondas de Placa

También llamadas ondas Lamb, se propagan en placas de metal o de materiales compuestos de espesores de unas cuantas longitudes de onda y pueden ser de dos tipos Simétricas y Asimétricas.

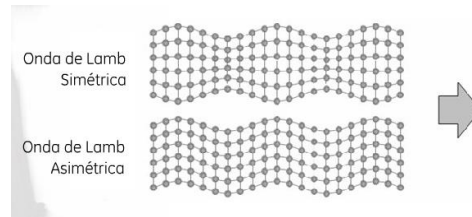


Figura 2-9: Propagación de Ondas de Placa

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

## 2.7 Comportamiento de las Ondas Ultrasónicas en superficies límites

Cualquier material presenta superficies límites lo cual genera la alteración de la propagación de la onda, al atravesar un medio y chocar al borde de un segundo medio una porción de la energía acústica incidente es reflejada del límite y parte es transmitida al segundo medio la característica que determina la cantidad de energía reflejada es la impedancia acústica que es la resistencia a la propagación de las ondas Ultrasónicas, propiedad de cada material.

### 2.7.1 Incidencia Perpendicular o Normal

Cuando las ondas encuentran un cambio discreto perpendicular, por ejemplo el límite entre dos materiales diferentes se reflejan parcialmente este reflejo es también perpendicular al límite de los dos materiales, la cantidad de ondas reflejadas y transmitidas dependerán de la diferencia entre impedancia acústica de los dos materiales, si las impedancias acústicas son similares habrá menor cantidad de ondas reflejadas proporcionalmente si las impedancias son muy diferentes como es el caso del acero con el aire prácticamente la totalidad de las ondas será reflejada.

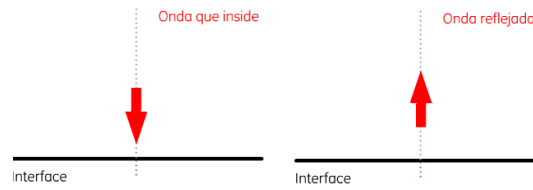


Figura 2-10: Incidencia Perpendicular

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

### 2.7.2 Incidencia angular

Cuando una onda de sonido localiza una interface a un ángulo diferente de la perpendicular, el ángulo de la dirección de la reflexión es el mismo que el ángulo incidente medido desde el eje perpendicular a la interface.

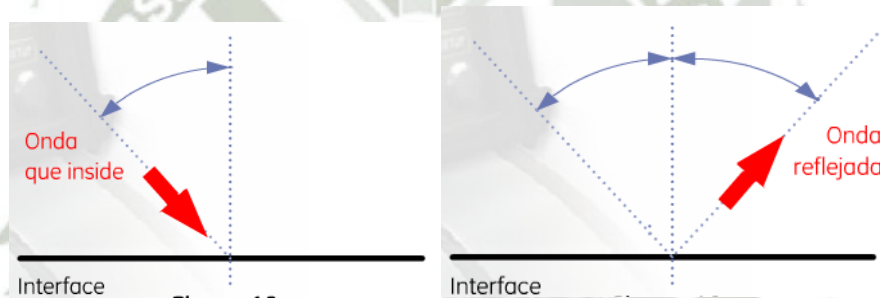


Figura 2-11: Incidencia Angular

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

Si la energía del sonido se transmite parcialmente por la interface puede ser refractada y/o convertida parcialmente a un modo de propagación diferente que la onda incidente, en este tipo de incidencia se utiliza la ley de reflexión y refracción conocida también con ley de Snell con la cual se puede calcular la dirección de las ondas reflejadas y transmitidas (refractadas).

$$\text{Ley de Snell: } \frac{\text{Sen } \alpha}{\text{Sen } \theta} = \frac{V_1}{V_2}$$

Ecuación 2-2: Ley de Snell

Dónde:

$\alpha$ = Angulo de incidencia

$\theta$ = Angulo de refracción

$V_1$ = Velocidad del sonido en el medio de incidencia

$V_2$ =Velocidad del sonido en el medio de transmisión.

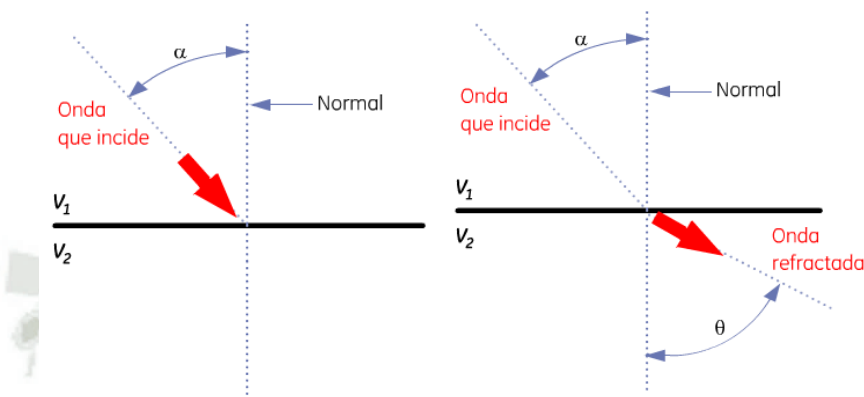


Figura 2-12 : Incidencia Angular Onda Refractada

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

### 2.7.3 Cambios de modo

Una onda longitudinal si se encuentra con un cambio discreto con un ángulo diferente de la perpendicular, las ondas que son reflejadas y transmitidas dan origen a un cambio de modo donde aparecerán ondas longitudinales y ondas transversales, por su puesto las velocidades incidentes con respecto a las velocidades transmitidas variaran.

La conversión se lleva a cabo por efecto de la geometría de la pieza en la cual las ondas Ultrasónicas viajan convirtiéndose en otros modos como muestra la figura a continuación.

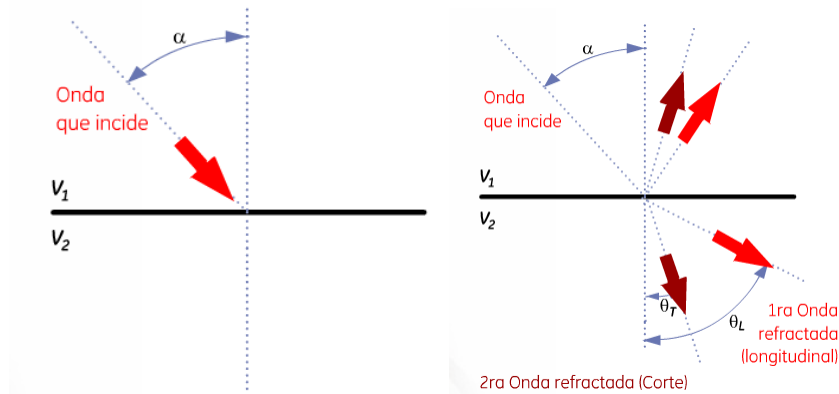


Figura 2-13: Cambio de Modo

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

Donde

$\alpha$ = Angulo de incidencia

$\theta_L$ =Angulo de refracción de la onda longitudinal refractada.

$\theta_T$ =Angulo de refracción de la onda transversal refractada.

Un ejemplo de la presencia de la conversión de modo es la reflexión de una onda longitudinal que incide sobre la superficie dentro de un sólido como se ilustra en la figura.

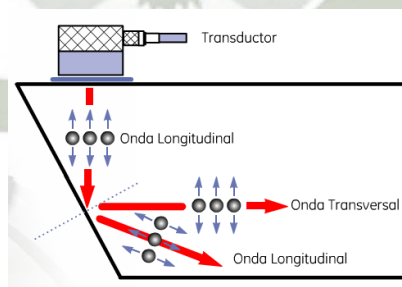


Figura 2-14: Conversión de Modo en Onda Longitudinal

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

### 2.7.3.1 Ángulos críticos de incidencia.

Son las condiciones límites en las cuales se logra la reflexión total de las ondas longitudinales y transversales refractadas, de llegar a estas condiciones se perderá la transmisión de ondas Ultrasónicas al segundo medio.

#### 2.7.3.1.1 Calculo del primer ángulo crítico de incidencia (Plexiglás-Acero)

El primer ángulo crítico de incidencia se alcanzará cuando  $\theta_L = 90^\circ$ .

Teniendo en cuenta:

Velocidad longitudinal del plexiglás =  $2.7 \frac{Km}{Seg}$

Velocidad Longitudinal del acero =  $5.9 \frac{Km}{Seg}$

Utilizamos la ley de Snell =  $\frac{Sen \alpha}{Sen \theta} = \frac{V_1}{V_2}$

$$Sen \alpha = \frac{V_1}{V_2} \times Sen \theta_L$$

$$Sen \alpha = \frac{2.7}{5.9} \times Sen 90^\circ$$

$$\alpha = Arc Sena \left( \frac{2.7}{5.9} \times Sen 90^\circ \right)$$

$$\alpha = 27.23^\circ$$

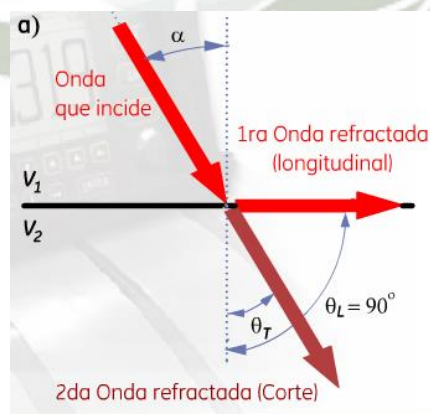


Figura 2-15: Primer Angulo Crítico de Incidencia

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

### 2.7.3.1.2 Cálculo del segundo ángulo crítico de incidencia (Plexiglás-Acero).

El segundo ángulo crítico de incidencia se alcanzará cuando  $\theta_T = 90^\circ$ .

Teniendo en cuenta:

Velocidad Transversal del acero =  $3.2 \frac{Km}{Seg}$

Utilizamos la ley de Snell =  $\frac{\text{Sen } \alpha}{\text{Sen } \theta} = \frac{V_1}{V_2}$

$$\text{Sen } \alpha = \frac{V_1}{V_2} \times \text{Sen } \theta_T$$

$$\text{Sen } \alpha = \frac{2.7}{3.2} \times \text{Sen } 90^\circ$$

$$\alpha = \text{Arc Sena} \left( \frac{2.7}{3.2} \times \text{Sen } 90^\circ \right)$$

$$\alpha = 57.53^\circ$$

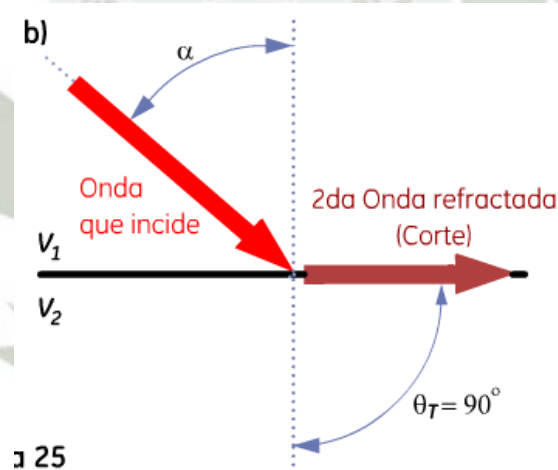


Figura 2-16: Segundo Angulo Crítico de Incidencia

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

## 2.8 Atenuación

Debido a la dispersión, cambio de dirección, interferencia acústica, absorción etc., las ondas de sonido decrecen en intensidad mientras viajan por medio de un material, la atenuación es una característica específica de un material, es proporcional a la distancia recorrida y representa la caída de amplitud de un reflector en función a la distancia, por ello la atenuación se mide en términos de pérdida de energía por unidad de longitud, por ejemplo decibelios por metro.

Al incrementar la frecuencia, la longitud de onda ultrasónica disminuye por lo tanto la absorción y la dispersión también incrementarían al mismo tiempo que se genera más fricción, la atenuación obliga a determinar de antemano la frecuencia de ensayo más apta para el trabajo a realizar.

Por ello el respetar las frecuencias recomendadas por los estándares bajo los cuales se fabrica e inspecciona una estructura soldada es de vital importancia para la detección de reflectores críticos.

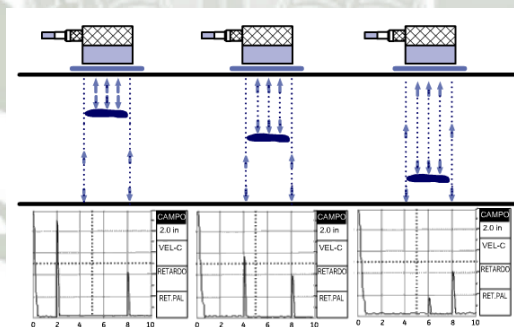


Figura 2-17: Atenuación

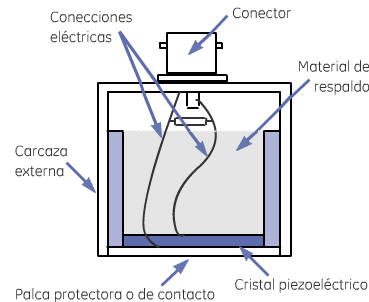
(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

## 2.9 Equipamiento y técnicas de inspección.

### 2.9.1 Transductor

Es la unidad básica de inspección por Ultrasonido de este dependen las cualidades y características de la onda ultrasónica que será propagada por el

material a inspeccionar, el transductor es el encargado de convertir la energía eléctrica en energía mecánica y viceversa.



*Figura 2-18 Partes del transductor*

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

### 2.9.1.1 Características de los Transductores

La calidad de un Transductor está determinada por las siguientes características

#### 2.9.1.1.1 Frecuencia

Depende del cristal y del espesor de este, mientras más delgado sea un cristal mayor será su frecuencia.

#### 2.9.1.1.2 Campo Muerto

Es la área frente a la cara del Transductor en la que no se puede hacer ningún tipo de inspección por que no es posible observar una discontinuidad debido a que su longitud es equivalente a la longitud de un pulso completo.

#### 2.9.1.1.3 Campo cercano

También llamado zona de Fresnel, es el área que continúa al campo muerto y es caracterizada por la variaciones de intensidad del haz Ultrasónico, esto se debe a que la distribución de presiones varia constantemente, se identifica a esta zona como N.

#### 2.9.1.1.4 Campo lejano

También llamado zona Fraunhofer, es la zona después del campo cercano caracterizada por el decremento de la intensidad de la onda ultrasónica conforme aumenta la distancia al transductor.

#### 2.9.1.1.5 Eje Central

Es el eje a lo largo del cual la presión acústica medida transversalmente al haz tendrá un valor máximo.

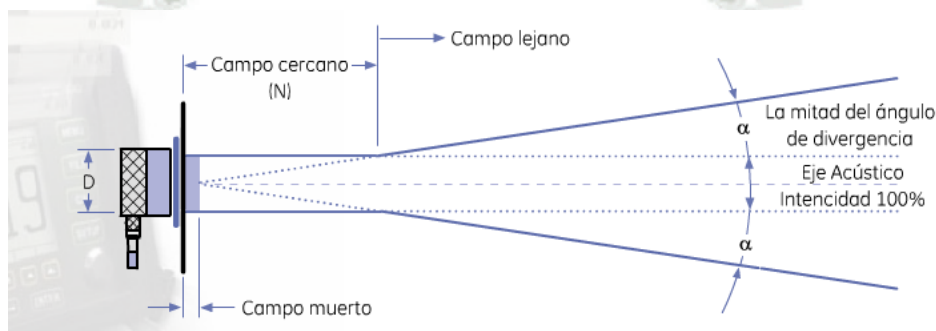


Figura 2-19 El Haz Ultrasónico

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

#### 2.9.2 Acoplante

Para realizar una inspección por Ultrasonido en forma satisfactoria es necesario que exista la transmisión de las ondas ultrasónicas desde el transductor a la pieza de prueba, para lograrlo se recurre al uso de un medio líquido o semilíquido que sirve como puente, este medio es conocido como "acoplante".

Como sabemos, el aire es un transmisor muy pobre de las ondas ultrasónicas. Ya que la diferencia de impedancias acústicas entre él y la mayoría de sólidos es muy grande, una capa muy delgada de aire evita severamente la transmisión de las ondas ultrasónicas. Basándose en lo anterior, el objetivo principal del uso de acoplante es eliminar el aire atrapado en el espacio entre

las superficies del transductor y de la pieza inspeccionada; además, sirve como lubricante para reducir la fricción entre las superficies de ambos con lo que se reduce el desgaste del transductor y se facilita su desplazamiento sobre la superficie de la pieza.

Los materiales utilizados como acoplantes podrían contar con una serie de características deseables, dentro de las que se incluyen a:

- a. Humectabilidad, que ayuda al acoplante a “mojar” las superficies del transductor y de la pieza.
- b. Viscosidad, apropiada para que el acoplante permanezca sobre la superficie de la pieza y no se escurra fácilmente.
- c. Costo, lo más bajo para que sea de fácil adquisición.
- d. Remoción, que sea fácilmente aplicado y principalmente para eliminar a un grado adecuado los residuos.
- e. No corrosivos, que no reaccione con el material inspeccionado y evitar con esto que ciertos materiales que son susceptibles a corrosión o agrietamiento, sean afectados por la presencia de contaminantes.
- f. No tóxico, para evitar que el personal técnico sufra de intoxicación por su manejo
- g. Atenuación, lo más baja posible para reducir pérdidas de la energía de la onda Ultrasónica dentro de él.
- h. Impedancia acústica, que sea similar a la de los diferentes materiales, para que sea transmitida la mayor energía posible de la onda Ultrasónica.

Para realizar la inspección por el método de contacto, los materiales comúnmente usados como acoplantes, incluyen: Aceites con varios grados de viscosidad, glicerina, pastas especiales, goma de celulosa, agua, grasa, y en algunas aplicaciones especializadas se ha llegado a utilizar láminas de elastómeros.

Para la inspección por el método de inmersión, el agua es el acoplante ampliamente utilizado, es económica, abundante y relativamente inerte. En algunos casos es necesario agregar agentes humectantes, aditivos anticorrosivos (para prevenir la corrosión) y agentes antiespumantes (asegurar la ausencia de burbujas y evitar el crecimiento de bacterias y algas).

El acoplante debe ser dispersado sobre la superficie de la pieza inspeccionada para formar una capa uniforme y delgada.

En la selección del acoplante, el técnico debe considerar todos o casi todos los factores siguientes:

- a. El acabado o condición de la superficie de la pieza.
- b. El tipo de material.
- c. La temperatura de la pieza.
- d. La orientación de la superficie.
- e. La disponibilidad del acoplante.
- f. La posibilidad de reacciones químicas con la superficie.

### **2.9.3 Métodos de acoplamiento**

#### **2.9.3.1 Método de contacto**

En este método el transductor se coloca, prácticamente, sobre la superficie de la pieza, utilizando una película ligera de acoplante, es muy versátil, ya que los transductores pueden ser fácilmente intercambiados, por lo que se pueden utilizar transductores de haz recto, de haz angular y de doble cristal, este método es práctico para la inspección de artículos de grandes dimensiones como por ejemplo placas, estructuras y recipientes a presión.

Tiene la ventaja de ser flexible para su localización, esto es, ofrece la oportunidad de tomar el equipo Ultrasónico y desplazarlo al sitio en el que se localiza el material o equipo a ser inspeccionado, y se requiere un mínimo de equipo y accesorios.

La limitación principal del método de contacto es la dificultad para mantener el acoplamiento o contacto uniforme sobre la superficie, este problema contribuye a la pérdida de sensibilidad y a obtener resultados no uniformes, por lo que es preferible que la superficie se encuentre maquinada, rolada o que sea razonablemente acondicionada, además, se tiene el problema del campo muerto, el cual es mayor que en el método por inmersión; las frecuencias de uso son relativamente bajas; durante la inspección el técnico debe proporcionar el acoplante repetidamente; y por último, el ángulo del transductor no puede variarse tan fácil y continuamente como en el método de inmersión.

La figura muestra un arreglo del método de contacto y como se presenta la pantalla del instrumento Ultrasónico.

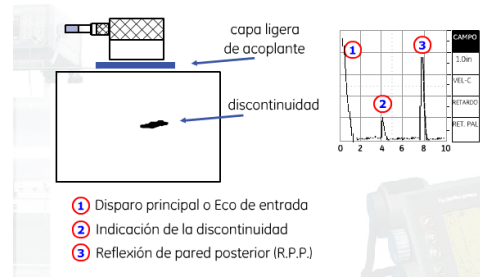


Figura 2-20: Método de Contacto

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

### 2.9.3.2 Método de inmersión

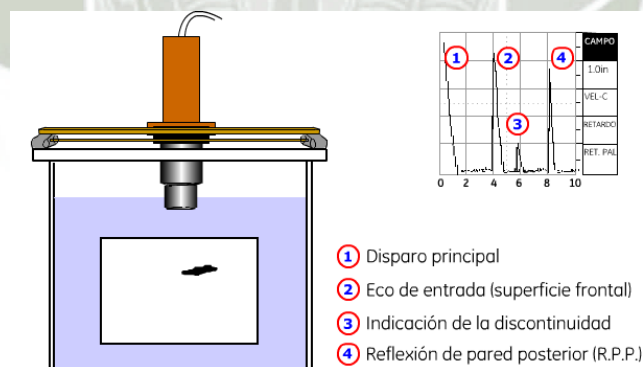
En este método el transductor está separado de la superficie de la pieza inspeccionada por una columna de acoplante (agua). Existen dos situaciones prácticas: tanto el transductor como la pieza se encuentran sumergidas en el acoplante; o, se utiliza un accesorio que mantiene un suministro constante de acoplante entre el transductor y la pieza.

Cuenta con ciertas ventajas: la mayoría de inspecciones se llevan a cabo utilizando sistemas automáticos que son fácilmente acomodados; el sistema de inspección puede ser adaptado a equipo que procese las señales y la imagen; se encuentran disponibles transductores de diferentes formas, tamaños y estilos; no se requiere de un acabado superficial específico como en el método de contacto; el barrido puede ser muy rápido; la inspección de una pieza puede ser cubriendo su totalidad; pueden ser usadas frecuencias altas; pueden ser inspeccionadas piezas tales como: tubería, fundiciones, soldaduras, forjas, barras roladas, lingotes y extrusiones; son usados comúnmente haces focalizados para mejorar la sensibilidad y la resolución.

Dentro de las limitaciones se incluyen a: el tiempo para el ajuste del sistema de inspección puede ser muy largo; se requiere un mantenimiento del acoplante; los planes de movimiento y articulaciones pueden reducir el uso de posiciones espontáneas; son altamente críticos los problemas de inclinación del transductor, posición y el alineamiento en general.

Los tanques utilizados pueden ser de dimensiones y formas diferentes, en general, están equipados con medios para el llenado, drenado y filtrado del agua; manipuladores, giratorios o rotativos, para el movimiento de las piezas inspeccionadas; sistemas de puentes para realizar los movimientos del transductor; y, con registradores y equipo para el procesado de la señal.

La figura muestra un sistema de inspección Ultrasónica por inmersión, así como un arreglo del método de inmersión y como se presenta la pantalla del instrumento Ultrasónico.



*Figura 2-21: Método de Inmersión*

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

## 2.9.4 Técnicas de inspección

En general, hoy en día las inspecciones por Ultrasonido se realizan por la técnica pulso-eco. Esta técnica consiste en enviar un “pulso” acústico que viaja a través del medio hasta que un cambio en la impedancia acústica provoca que sea “reflejado”, ocasionando que regrese para que posteriormente sea recibido.

Normalmente, la señal recibida indica la presencia de discontinuidades y contiene información sobre la distancia recorrida por el pulso, que es proporcional al tiempo de arribo del pulso, y la intensidad de la presión acústica en ese punto reflector, existen tres modos de inspección:

- a. Pulso-Eco.
- b. Picha y Cacha (Pitch-Catch).
- c. Transmisión a través (Through Transmission).

### 2.9.4.1 Modo de inspección Pulso-Eco.

Se utiliza un solo transductor que envía y recibe el pulso (transmisor y receptor), por lo que se requiere acceso a una sola superficie, la figura 2.20 ilustra este modo de inspección.

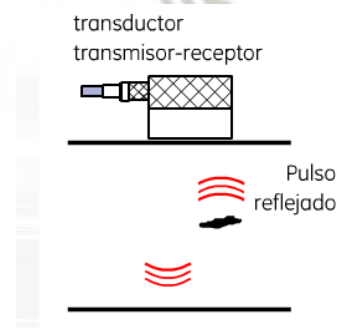


Figura 2-22: Modo de Inspección Pulso Eco

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

### 2.9.4.2 Modo de inspección Picha y Cacha (Pitch-Catch).

Se utilizan dos transductores, uno envía el pulso (transmisor) y el otro lo recibe (receptor), ambos transductores se localizan en una misma superficie, ver figura 2.21. Para determinar la localización de la discontinuidad se utilizan técnicas de triangulación. Una técnica del modo pitch-catch utiliza un arreglo “tándem”, normalmente usado para la inspección de la parte central en materiales gruesos, en esta técnica el transmisor envía un pulso a un cierto ángulo hacia la parte media del material (muchas veces en soldaduras a tope con doble “V”) y las reflexiones de superficies planas verticales son recibidas por un transductor localizado enfrente del transmisor. Otra técnica, encontrada en el método de inmersión, utiliza un receptor focalizado y un transmisor de haz ancho con un arreglo en forma de triángulo (técnica delta).

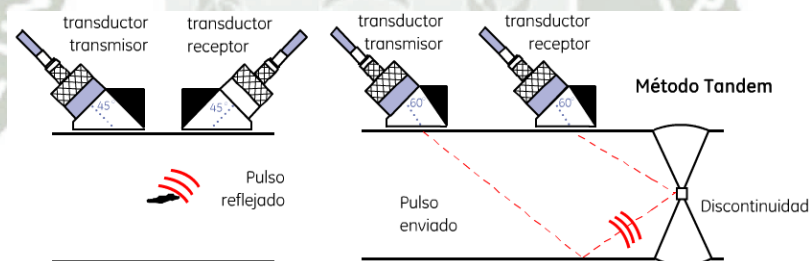


Figura 2-23 : Modo de Inspección Pitch- Catch

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

### 2.9.4.3 Modo de inspección Transmisión a través (Through Transmission).

También se utiliza un transductor transmisor y un transductor receptor, solo que en este caso se encuentran localizados en superficies opuestas. En este modo de inspección el pulso viaja a través de la pieza inspeccionada y es recibido en

la superficie opuesta al transmisor, la alineación entre los transductores es crítica.

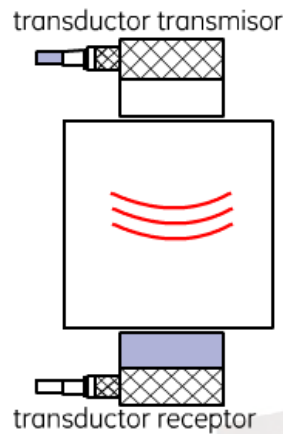


Figura 2-24: Modo de Inspección de Transmisión

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

## 2.9.5 Método de presentación

### 2.9.5.1 Tipo “A” (A-Scan)

La mayoría de instrumentos en uso cuentan con una presentación básica tipo “A”, también conocida como barrido tipo “A”, como se muestra en la figura xx.

Estos instrumentos pueden contar ya sea con una pantalla electroluminiscente, de cristal líquido, de video o un tubo de rayos catódicos. El barrido “A” esta basado en la presentación de una relación tiempo-amplitud. La presencia de discontinuidades es representada por medio de “ecos, picos, reflexiones o indicaciones” sobre la pantalla.

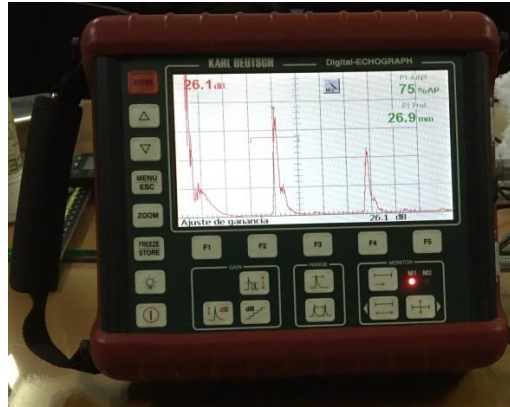


Figura 2-25: Equipo A Scan

(Fuente propia)

Con esta presentación se puede determinar:

- a. La profundidad o posición en la que se encuentra una discontinuidad, o el espesor de un material.
- b. La magnitud de una discontinuidad.

La presentación tipo “A” está compuesta por dos escalas:

#### 2.9.5.1.1 EHP - Escala horizontal de la pantalla.

Está compuesta por 10 divisiones equidistantes, y cada división se compone por 5 subdivisiones, lo cual proporciona un total de 50 subdivisiones. En esta escala se mide el tiempo de recorrido de la onda Ultrasónica dentro del material, desde la superficie de entrada y hasta alguna discontinuidad y/o la superficie posterior.

En situaciones prácticas de inspección se utiliza como escala de distancia, por lo que se emplea para:

- a. Determinar la profundidad a la que se encuentra una discontinuidad

- b. Medir la distancia recorrida por el Ultrasonido
- c. Medir espesores de pared

### 2.9.5.1.2 EVP - Escala vertical de la pantalla.

Está compuesta por 100 divisiones repartidas ya sea en 5 o 10 partes equidistantes, expresa porcentaje (%) de altura o amplitud. En general, la amplitud de las señales representa la intensidad de la onda transmitida o reflejada por discontinuidades o superficies de pared, en situaciones prácticas de inspección se utiliza para estimar y evaluar la magnitud de las discontinuidades, la atenuación en materiales, la divergencia del haz y otros factores, basándose en amplitudes de indicaciones de:

- a. Reflectores de referencia
- b. Discontinuidades
- c. Reflexiones de pared posterior

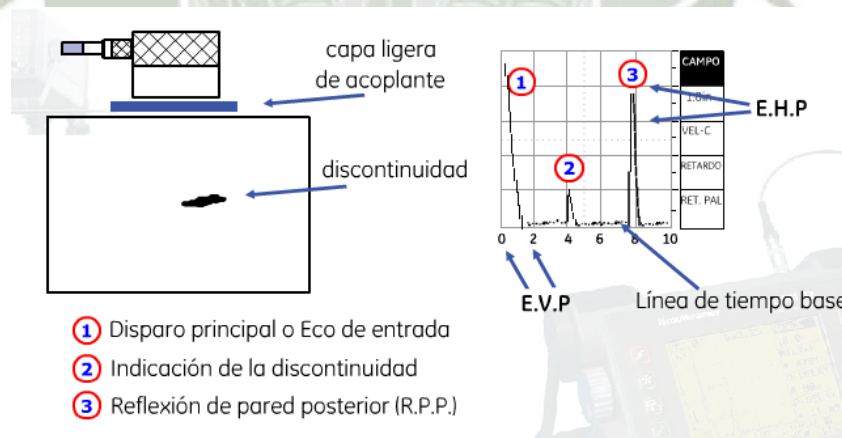


Figura 2-26: Representación de Ondas en Modo de Pantalla A Scan

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

### 2.9.5.2 Método de presentación Tipo “B” (B-Scan)

Cuando es de interés observar la forma a lo largo de una discontinuidad o su distribución a través de la sección transversal de una pieza, la presentación tipo “B” puede ser utilizada, la presentación tipo “B” muestra la sección transversal del material que está siendo inspeccionado, además de los componentes básicos de la unidad con presentación tipo “A”, se debe contar con algunas funciones adicionales:

- a. Modulación de la intensidad o brillantez por puntos en la pantalla, en proporción a la amplitud de la señal de la discontinuidad.
- b. Deflexión del trazo en la pantalla en forma sincronizada con el movimiento del transductor a lo largo de la pieza inspeccionada.
- c. Retención de la imagen sobre la pantalla.

En la pantalla se tiene como referencia la superficie frontal y posterior de la pieza inspeccionada, y se obtienen los datos de la longitud y profundidad de las discontinuidades, el tiempo de arribo de un pulso, en dirección vertical, se representa por una línea punteada en función de la posición del transductor, en dirección horizontal. Generalmente, la inspección se realiza por inmersión y el movimiento del transductor es automático o manual pero controlando la velocidad.

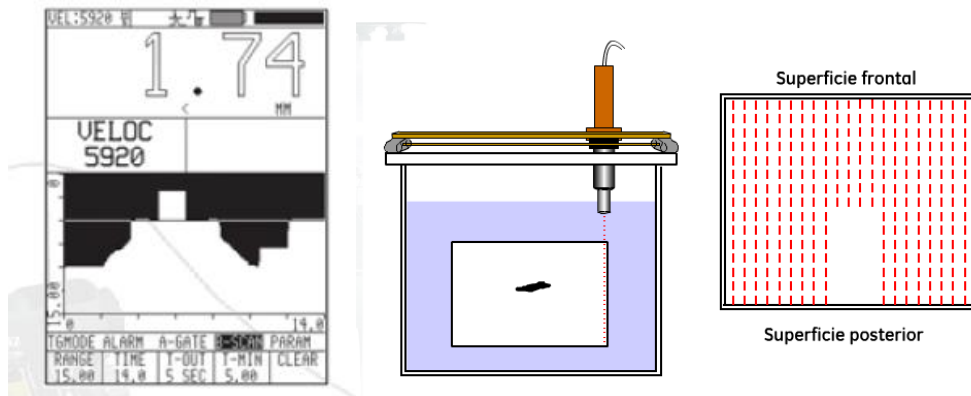


Figura 2-27: Método de Representación B- Scan

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

### 2.9.5.3 Método de presentación Tipo “C” (C-Scan)

Este tipo de presentación es una vista de planta, o sea, una vista superior en forma de mapa, similar a una imagen radiográfica. En la pantalla se muestra la proyección de los detalles internos, si existe una discontinuidad se obtiene el contorno de la misma, en este barrido no se utilizan las reflexiones frontal y posterior, solo las reflexiones de las discontinuidades, la presentación tipo “C” es desarrollada utilizando un patrón de barrido (X contra Y).

Como en el caso de la presentación tipo “B”, la inspección se realiza por medio de sistemas automáticos, la acumulación de datos para mostrarlos en la presentación (tanto para la presentación “B” como la “C”) es extraída utilizando “compuertas” electrónicas y proporciona registros permanentes.

Es usado, y particularmente efectivo, para materiales planos incluyendo productos rolados, paneles en forma de panel y productos compuestos laminados o adheridos.

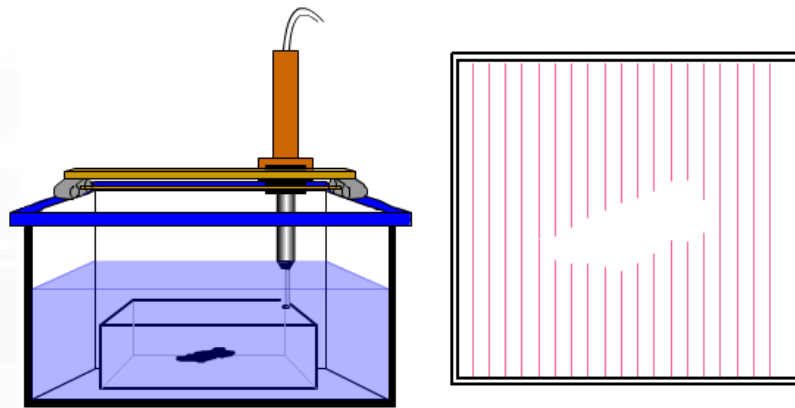


Figura 2-28: Método de Representación C-Scan

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)



## CAPITULO III

### **3 Análisis de Requerimientos para la elaboración y evaluación de procedimiento de inspección de uniones soldadas por Ultrasonido bajo Código para soldadura de acero estructural AWS D1.1/ D1.1M:2010.**

El código AWS D1.1/ D1.1M:2010. Es un estándar Americano, el cual rige o norma sobre uniones soldadas en cuanto al diseño, calificación de procedimientos, calificación de soldadores, fabricación, inspección, reparación y o refuerzo de estructuras en acero al carbono cuyo máximo límite de fluencia es 100ksi y cuyos espesores sean desde 3mm hasta ilimitado ilimitados.

En el capitulo 6 del código en mención se especifica cómo se debe desarrollar el procedimiento de ensayo por Ultrasonido donde estipula los siguientes requerimientos.

#### **3.1 Requerimientos Generales**

##### **3.1.1 Procedimientos y Normas**

Los procedimientos y las normas establecidas en este capítulo deberán reglamentar la inspección UT en las soldaduras de canal y la zona afectada por el calor, entre los espesores de 5/16 pulgadas y 8 pulgadas (8mm y 20 mm). Para espesores menores a 5/16 pulgadas (8 mm) o mayores que 8 pulgadas (200 mm), las pruebas deberán efectuarse en conformidad (Anexo S) que es para fines informativos (no es parte del Código) por ello no será motivo de investigación en el presente estudio. Estos procedimientos y normas deberán prohibirse para le conexiones de pruebas de tubo a tubo T-Y-K.

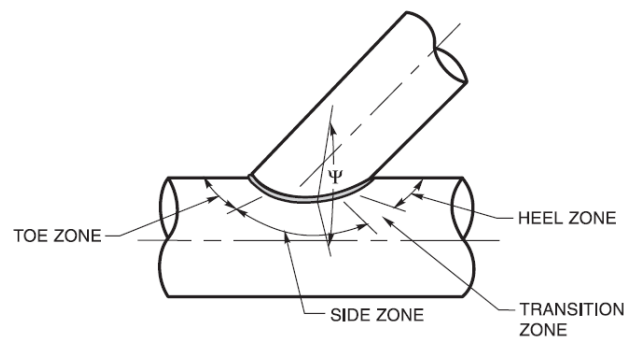


Figura 3-1: Conexión Tubo a Tubo T-Y-K

(Fuente AWS D1.1 -2010)

### 3.1.2 Variaciones

Las variaciones en los procedimientos de prueba, equipos y normas de aceptación no incluidas en esta sección pueden usarse de acuerdo con el Ingeniero del proyecto. Dichas variaciones incluyen otros espesores, geometría de soldadura, tamaños de los transductores frecuencias, acoplamientos, superficies pintadas, ensayos, etc. Tales variaciones aprobadas deberán estar registradas en los registros del contrato.

### 3.1.3 Porosidades en Tuberías

Para detectar la posible porosidad de la tubería, se recomienda RT para complementar el ensayo UT, en soldaduras realizadas con procesos ESW o EGW.

### 3.1.4 Metal Base

Estos procedimientos no tienen la intención de emplearse para someter a prueba los metales base. Sin embargo, las discontinuidades relativas a la soldadura (grietas, desgarro laminar, laminaciones, etc.) en el metal base

adyacente el cual no sería aceptable bajo las estipulaciones del Código AWS D 1.1:2010 deberán informarse al Ingeniero para su disposición.

### **3.2 Requerimiento de la Calificación**

Los operadores de ensayo UT deben certificar su habilidad con pruebas específicas y prácticas, los cuales deberán estar basados en los requerimientos del Código AWS D 1.1:2010. que estipula que debe ser calificado de acuerdo con la última edición de la practica recomendada SNT-TC-1A por la ASNT (American Society for Nondestructive Testing) como:

- NDT Nivel II o
- NDT Nivel I, trabajando bajo la supervisión de NDT Nivel II.

### **3.3 Equipo UT**

#### **3.3.1 Requerimientos del equipo**

El instrumento UT deberá ser de tipo eco apropiado para usarse en las oscilaciones de los transductores en frecuencias entre 1 y 6 MHz. La pantalla del equipo deberá tener presentación “Scan A” para la huella o el trazado del vídeo rectificado.

#### **3.3.2 Linealidad Horizontal**

La linealidad horizontal del instrumento de prueba deberá estar calificada sobre la distancia completa del trayecto de sonido que vaya a utilizarse en la prueba en conformidad con 3.11.1.

#### **3.3.3 Requerimientos para los Instrumentos de Pruebas**

Los instrumentos de prueba deberán incluir la estabilización interna de modo que después de calentar por el uso no haya como respuesta una variación

mayor que + 1 dB, con una fuente de voltaje que cambia de 15 % o en el caso de la batería a través de toda la vida de la carga. Deberá haber una alarma o medidor para señalar una caída del voltaje de la batería previa al apagado automático del instrumento debido al desgaste de la batería.

### **3.3.4 Calibración de los Instrumentos de Pruebas**

Un instrumento de ensayo o prueba deberá tener un control de ganancia calibrado o atenuador ajustable en etapas discretas de 1 ó 2 dB de un rango de al menos 60 dB. La exactitud de los ajustes del atenuador deberá estar dentro de +- 1dB. El procedimiento para la calificación deberá ser como se describe en 3.5.2 y 3.11.2.

### **3.3.5 Rango de la pantalla**

El rango dinámico de la pantalla del instrumento deberá ser tal que la diferencia que 1dB de amplitud puede detectarse fácilmente en la pantalla.

### **3.3.6 Unidades de Exploración del HAZ Recto (Onda Longitudinal)**

Los transductores de una unidad de exploración de haz recto o directo (onda longitudinal) deberán tener un área activa no menor a 1/2 pulgada cuadrada [323 mm<sup>2</sup>] ni mayor a 1 pulgada cuadrada [645 mm<sup>2</sup>]. El transductor deberá ser redondo o cuadrado. Los transductores deberán ser capaces de resolver los tres reflejos descritos en 3.10.1.3.

### **3.3.7 Unidades de Exploración de Haz de Angular**

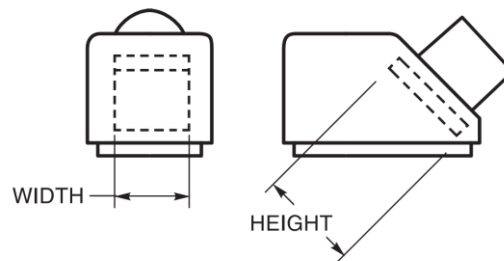
Las unidades de exploración de haz de angular consistirán de un transductor y una de ángulo. La unidad puede comprenderse de dos elementos separado o puede ser una sola unidad.

### 3.3.7.1 Frecuencia

La frecuencia del transductor deberá estar entre 2 y 2.5 MHz, inclusive.

### 3.3.7.2 Dimensiones del transductor

El cristal del transductor deberá ser cuadrado o rectangular en su forma y puede variar de 5/8 de pulgada a 1 pulgada [15 mm a 25 mm] de ancho (Width) y de 5/8 a 13/16 pulgadas [15 a 20 mm] de alto (Height) (Ver figura 3.2). El ancho máximo de la razón de altura deberá ser de 1.2 a 1.0 y el rango mínimo de ancho a altura deberá ser de 1.0 a 1.0.



*Figura 3-2: Dimensiones de Transductor*

(Fuente AWS D1.1 -2010)

La unidad de exploración producirá un haz de sonido en el material que se esté sometiendo a prueba dentro de  $\pm 2^\circ$  en uno de los siguientes ángulos apropiados:  $70^\circ$ ,  $60^\circ$ , o  $45^\circ$  como se describe en 3.10.2.2.

### 3.3.7.3 Marcas de Identificación

Cada unidad de exploración deberá marcarse para indicar claramente la frecuencia del transductor, el ángulo nominal de refracción y el punto índice. El procedimiento de locación del punto índice se describe en 3.10.2.1.

### 3.3.7.4 Reflejos Internos

Los reflejos internos máximos permitidos a partir de la unidad de exploración deberán ser los que se describen en 3.5.3.

### 3.3.7.5 Distancia del Borde

Las dimensiones de la unidad de exploración deberán ser tales que la distancia desde el borde anterior de la unidad de exploración hacia el punto de índice no deberá exceder 1" [25mm].

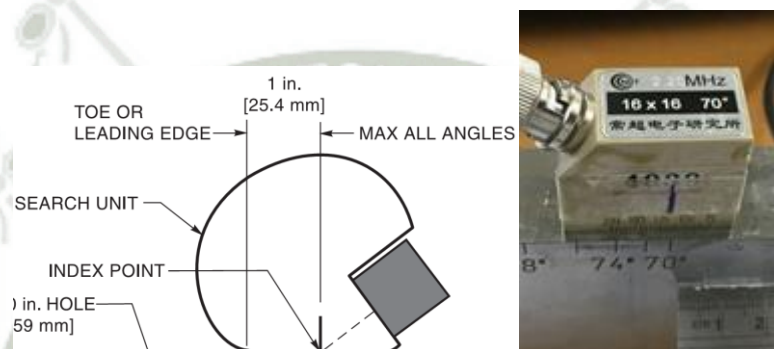


Figura 3-3: Distancia del Borde de Carcaza a la Unidad de Exploración

(Fuente AWS D1.1 -2010 / Propia)

### 3.3.7.6 Bloque IIW

El procedimiento de calificación que esté utilizando el bloque en referencia IIW deberá estar en conformidad con 3.10.2.6.

## 3.4 Estándares de Referencia

### 3.4.1 Estándar IIW

El bloque de referencia UT del Instituto Internacional de Soldadura (IIW) ver Figura 3.4, conforme ASTM E 164, deberá ser usado tanto para la distancia como para la calibración de la sensibilidad. Otros bloques portátiles pueden

utilizarse siempre que la sensibilidad del nivel de referencia para que el instrumento/ unidad de exploración tenga la combinación que se ajuste al equivalente de lo logrado con el bloque IIW. (Los bloques de calibración aprobados se muestran en el anexo A, Figura A.1)

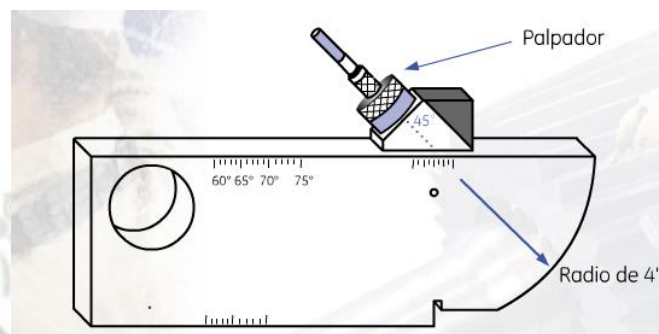


Figura 3-4: Bloque de Referencia IIW

(Fuente Llog- GE Inspection Technologies)

### 3.4.2 Reflectores Prohibidos

Estará prohibido el uso de esquinas como reflectores para propósitos de calibración.

### 3.4.3 Requerimientos de Resolución

La combinación de unidad de exploración (transductor) y de instrumentos deberá tener la capacidad de distinguir los tres agujeros en el block de prueba de referencia de resolución RC que se muestra en la Figura 3.5. La posición de unidad de exploración se describe en 3.10.2.5. y se visualiza en la Figura 3.6. La resolución será evaluada con los controles de los instrumentos ajustados a las pruebas normales y con indicaciones a partir de los orificios ubicados a la altura de la mitad de la pantalla. La resolución deberá ser lo suficiente como para distinguir los picos de indicaciones a partir de los tres orificios. Se prohíbe el uso del block de referencia RC para la calibración. Cada

combinación de unidad de exploración de instrumento (la zapata y el transductor) deberán ser revisados previos a su uso inicial. La verificación de este equipo deberá efectuarse inicialmente con cada unidad de exploración y con cada combinación de unidad UT. No es necesario efectuar nuevamente la verificación, siempre que se mantenga la documentación sobre los registros de los siguientes ítems:

- Marca del equipo, el modelo y el número de serie.
- El fabricante de la unidad de exploración, tipo, tamaño, ángulo y número de serie.
- Fecha de verificación y nombre del técnico.

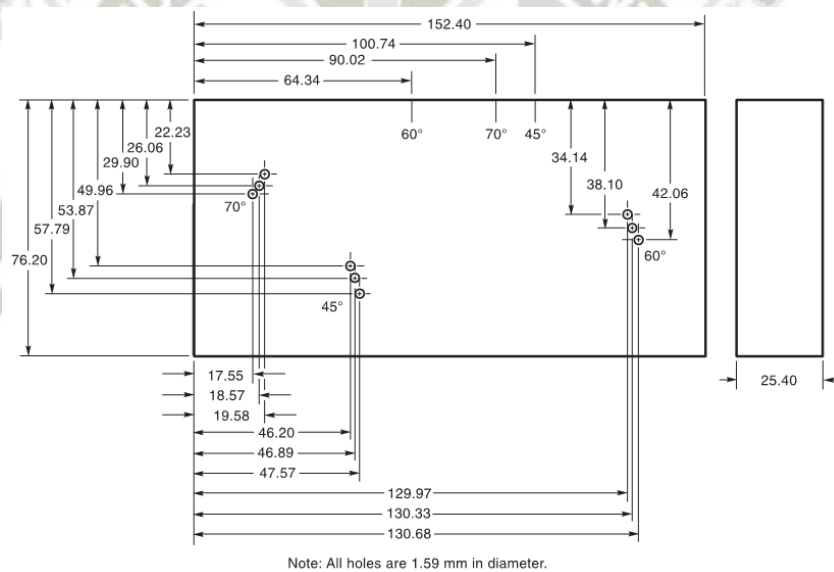
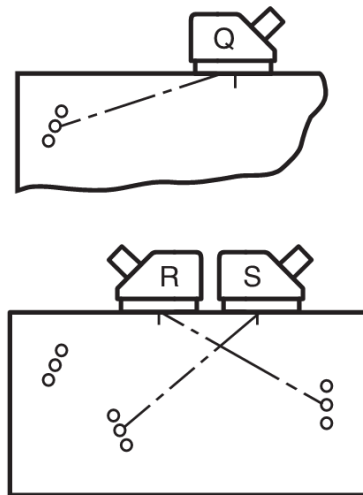


Figura 3-5: Bloque RC- Resolución Referencia

(Fuente AWS D1.1 -2010 )



RESOLUTION BLOCK

*Figura 3-6: Posición de la unidad de Exploración en el Bloque RC*

(Fuente AWS D1.1 -2010)

### 3.5 Calificación del Equipo

#### 3.5.1 Linealidad Horizontal

La linealidad horizontal del instrumento de prueba deberá recalificarse después de cada 40 horas de uso del instrumento en cada uno de los rangos de distancia en que se utilizará el instrumento. El procedimiento de calificación deberá estar en conformidad con 3.11.1.

#### 3.5.2 Control de Ganancia

El control de ganancia de un instrumento (atenuador) deberá cumplir con los requerimientos de 3.3.4. y deberá verificarse en cuanto a una calibración correcta con el intervalo de 2 meses en conformidad con 3.11.2.

### **3.5.3 Reflejos Internos**

Los máximos reflejos internos de cada unidad angular deberán verificarse a un intervalo máximo de tiempo de 40 horas del uso del instrumento en conformidad con 3.11.3.

### **3.5.4 Calibración del Angulo del Haz en Transductores.**

Con el uso de un block de calibración aprobado, cada unidad de exploración del ángulo de abertura del Haz deberá revisarse después de cada 8 horas de uso para determinar que la cara del contacto esté plana y que el punto de entrada acústico sea el correcto, y que el ángulo del haz este dentro de lo permitido con una tolerancia de más o menos  $2^{\circ}$  con una tolerancia en conformidad con 3.10.2.1 y con 3.10.2.2. Las unidades de exploración que no cumplan con estos requisitos deberán ser corregidas o reemplazarse.

## **3.6 Calibración para la Prueba**

### **3.6.1 Posición del Control de Rechazo**

Todas las calibraciones y las pruebas deberá hacerse con el control de rechazo apagado (limitación o supresión), el control puede alterar la linealidad del instrumento y alterar los resultados de la prueba.

### **3.6.2 Técnica**

La calibración en cuanto al barrido de sensibilidad y horizontal (distancia) deberá hacerse por parte del operador de la prueba de UT y en la localización de la prueba de cada soldadura.

### 3.6.3 Recalibración

La recalibración deberá hacerse después de un cambio de operadores, después de un intervalo de cada 30 minutos, o cuando el circuito eléctrico esté perturbado de alguna manera que incluya lo siguiente:

- Cambio del transductor
- Cambio de batería
- Cambio de salida eléctrica
- Cambio de cable coaxial
- Caída eléctrica (falla)

### 3.6.4 Prueba con Haz Recto en Material Base.

La calibración para la prueba del haz de luz directa del metal base deberá hacerse con la unidad de exploración aplicada a la Cara A ( ver figura 3.7) del metal base y efectuado de la siguiente manera.

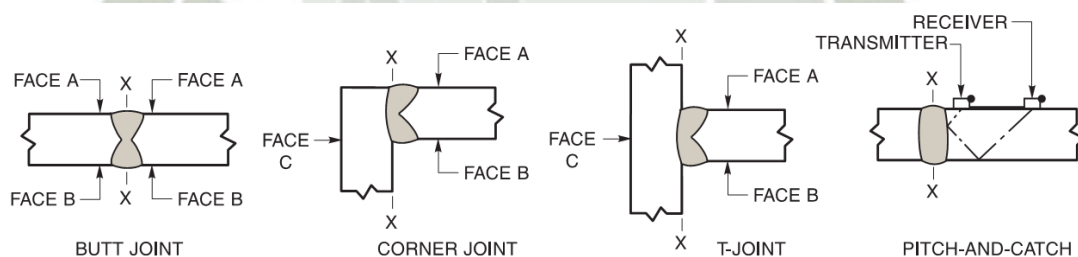


Figura 3-7: Identificación de Caras de la Junta Soldada

(Fuente AWS D1.1 -2010)

#### 3.6.4.1 Barrido

El barrido horizontal deberá ajustarse para que la calibración de la distancia presente el equivalente de a lo menos el grosor de 2 veces el espesor de la plancha inspeccionada en el pantalla.

#### **3.6.4.2 Sensibilidad**

La sensibilidad deberá ajustarse en una localización libre de indicaciones, de modo que el primer reflejo posterior desde el lado de atrás de la plancha sea de un 50% a un 75% de la altura total de la pantalla.

#### **3.6.5 Calibración para la Prueba con Haz Angular.**

La calibración para la prueba del ángulo de abertura del haz deberá efectuarse de acuerdo a lo siguiente

##### **3.6.5.1 Barrido Horizontal**

El barrido horizontal deberá ajustarse para representar la distancia del trayecto acústico utilizando el bloque IIW o bloques alternativos según lo descrito en 3.4.1. La calibración de la distancia deberá hacerse utilizando ya sea una escala de 5 pulgadas [125 mm] o de 10 pulgadas [250 mm] en el pantalla cualquiera sea apropiado. Sin embargo, si la configuración de la unión o del espesor evita un examen completo de la soldadura, en cada uno de estos ajustes, la calibración de la distancia deberá hacerse usando una escala o balanza de 5 pulgadas o 20 pulgadas [400 mm ó 500 mm], según se requiera. La posición de la unidad de exploración se describe en 3.10.2.3.

Nota: La localización horizontal de todas las indicaciones de la pantalla se basa en la ubicación en la cual el lado izquierdo de la desviación del trazado interrumpe la línea base horizontal.

##### **3.6.5.2 Nivel de Referencia Cero**

La sensibilidad del nivel de referencia cero utilizada para la evaluación de la discontinuidad ( "b" en el informe de la prueba Ultrasónica del formato F-01 en

el anexo B), se logrará ajustando el control de ganancia calibrado (atenuador) del detector de discontinuidad que cumpla con los requerimientos de 3.3; de modo que la desviación de la traza horizontal maximizada (ajustada a la línea de referencia horizontal en cuanto a altura con el control de ganancia calibrado [ atenuador] ) resulte en la pantalla en conformidad con 3.10.2.4.

### **3.7 Procedimientos de Prueba**

#### **3.7.1 Línea “X”**

Deberá marcarse una Línea “X” para la localización de la discontinuidad sobre la cara de prueba de la estructura soldada en una dirección paralela al eje de la soldadura. La distancia de localización perpendicular al eje de la soldadura deberá basarse en las figuras dimensionales en el detalle de planos y en las fallas usuales en la línea central de las soldaduras de uniones a tope, y siempre en las fallas corresponde a la cara cercana de un componente conector de T y las soldaduras de unión de esquina (la cara opuesta a la Cara C- ver figura 3.6 para identificar las caras del material base).

#### **3.7.2 Línea “Y”**

Una “Y” acompañada con un número de identificación de soldadura deberá marcarse con claridad sobre el metal base adyacente a la soldadura que está sometida a la UT. Esta marca se utiliza generalmente para los siguientes propósitos:

- (1) Identificación de la soldadura.
- (2) Identificación de la cara A.
- (3) Mediciones de distancia y dirección (+ o -) a partir de la línea “X”.

(4) medición de la localización desde los extremos de la soldadura o bordes.

Ejemplo de ubicación de eje X y eje Y

### **3.7.3 Limpieza**

Todas las superficies en las cuales una unidad de exploración deba examinar, deberá estar libre de salpicaduras, de soldaduras, suciedad, grasa, aceite (que no sean los que se utilizan como acoplamiento) pintura, escamas o laminillas suelta y deberán tener un contorno que permita el acoplamiento íntimo.

### **3.7.4 Material de Acoplamiento**

Se deberá utilizar un material de acoplamiento entre la unidad de exploración y el material de prueba. El material de acoplamiento deberá ser glicerina o goma de celulosa y mezclado con agua con una consistencia apropiada. Puede agregarse un agente humectante si fuera necesario. Puede usarse aceite ligero para maquinaria para el acoplamiento en los bloques de calibración

### **3.7.5 Extensión de las Pruebas**

El metal base completo a través del cual debe viajar el Ultrasonido para someter a prueba la soldadura, deberá testearse para que los reflectores laminados utilicen una unidad de exploración de haz de luz directa conforme a los requerimientos de 3.3.6 y calibrados en conformidad con 3.6.4. Si cualquier área del metal base exhibe una pérdida total de la reflexión de pared posterior, o una indicación igual a o mayor que la altura de la reflexión de pared posterior original que está localizada en una posición que vaya a interferir con el procedimiento de exploración normal de la soldadura, su tamaño, localización y profundidad de la cara superficie A deberá determinarse y darse a conocer en

el informe UT y deberá utilizarse un procedimiento alternativo de exploración de soldadura.

#### **3.7.5.1 Tamaño del Reflector**

El procedimiento de evaluación del tamaño del reflector deberá estar en conformidad con 3.12.1.

#### **3.7.5.2 Inaccesibilidad**

Si una parte de la soldadura es inaccesible a las pruebas en conformidad con los requerimientos de la tabla 3.7, debido a que el contenido laminar registrado en conformidad con 3.7.5, la prueba se deberá efectuarse usando uno o más de los siguientes procedimientos alternativos, según sea necesario para lograr la cobertura completa de la soldadura:

- (1) superficie de la soldadura, esta deberá ser esmerilada al ras.
- (2) Deberá efectuarse la prueba da las Caras A y B (Ver figura 3.7)
- (3) Deberán utilizarse otros ángulos de unidad de exploración.

#### **3.7.6 Pruebas de Soldaduras**

Las soldaduras deberán someterse a prueba utilizando una unidad de exploración de haz angular en conformidad con los requerimientos de 3.3.7, con el instrumento calibrado en total conformidad con 3.6.5., utilizando un ángulo tal como se demuestra en la tabla 2.3 del Anexo Tablas. Luego de la calibración y durante la prueba, el único ajuste del instrumento permitido es el nivel de la sensibilidad con el control de ganancia calibrada el control de rechazo (limitación o supresión) deberá apagarse o cortarse. La sensibilidad deberá aumentarse a partir del nivel de referencia para la exploración de la

soldadura en conformidad con la Tabla 2.1 ó 2.2 del anexo Tablas según sea aplicable.

### 3.7.6.1 Exploración

El procedimiento de exploración y el ángulo de prueba deberán estar en conformidad con aquellos que se muestran en la tabla 2.3 del anexo Tablas.

### 3.7.6.2 Uniones a Tope

Todas las soldaduras con uniones a tope deberán ser sometidas a prueba en cada lado del eje de la soldadura. Las soldaduras de esquina y de uniones en T deberán a someterse a prueba básicamente solo de un lado del eje de la soldadura. Todas las soldaduras deberán someterse a prueba utilizando los patrones de exploración aplicables, que se muestran en la figura 3.8. Según sea necesario para detectar tanto las discontinuidades longitudinales como las transversales. Se supone que como mínimo todas las soldaduras deberán ser sometidas a prueba haciendo pasar el sonido a través de todo el volumen completo de la soldadura y en la zona térmicamente afectada (ZAT) dos direcciones transversales; cualquiera sea más práctico.

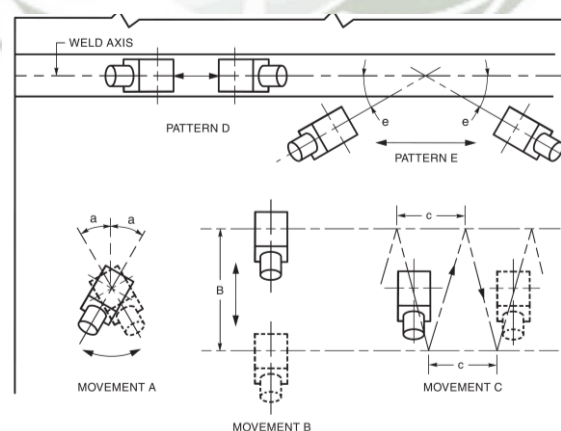


Figura 3-8: Patrones de Exploración Aplicables

(Fuente AWS D1.1 -2010)

### 3.7.6.3 Indicación Máxima

Cuando aparezca una indicación de discontinuidad en la pantalla, la indicación máxima alcanzada de esta discontinuidad deberá ajustarse para producir un nivel de referencia horizontal de rastro de deflexión en la pantalla. Este ajuste deberá hacerse con el control de ganancia calibrado (atenuador) y la lectura del instrumento en dB deberá usarse como “el nivel de indicación, a” para calcular “La clasificación de indicación, d” tal como se muestra en el informe de la prueba (Anexo B, F-04).

### 3.7.6.4 Factor de Atenuación

El “factor de atenuación, c” en el informe de la prueba deberá lograrse al restar 1 pulgada [25 mm] de la distancia del trayecto del sonido y multiplicando el remanente por 2. Este factor deberá redondearse hasta el valor más cercano al dB. Los valores fraccionales inferiores a 1/2 dB se reducirán al dB menor y aquellos de 1/2 dB o mayores se aumentará al más alto.

### 3.7.6.5 Clasificación de la Indicación

La “clasificación de indicación d” en el informe de la UT, Anexo B, F-04, representa la diferencia algebraica en dB entre el nivel de indicación y el nivel de referencia con corrección para la atenuación de acuerdo a lo indicado en las siguientes expresiones:

Instrumento con ganancia en dB:

$$a - b - c = d$$

*Ecuación 3-1: Clasificación de indicación -Ganancia dB*

Instrumentos con atenuación en dB:

$$b - a - c = d$$

*Ecuación 3-2: Clasificación Indicación - Atenuación dB*

### 3.7.7 Longitud de las Discontinuidades

La longitud de las discontinuidades estará determinada en conformidad con el procedimiento descrito en 3.12.2.

### 3.7.8 Bases para la Aceptación o el Rechazo

Cada discontinuidad en la soldadura deberá aceptarse o rechazarse en base a su clasificación de indicación y su longitud, en conformidad con la Tabla 2.1, para las estructuras estáticamente cargadas, o la Tabla 2.2 para las estructuras cíclicamente cargadas del anexo Tablas; cualquiera sea aplicable. **Solamente aquellas discontinuidades que sean rechazables necesitan registrarse en el informe del ensayo**, excepto para las soldaduras designadas en los documentos del contrato como “fractura crítica”, las clasificadas como aceptables que estén centro de 6dB inclusive, de la clasificación mínima rechazable deberán registrarse en el informe de la prueba.

### 3.7.9 Identificación del Área Rechazada

Cada discontinuidad rechazable deberá estar indicada en la soldadura mediante una marca directamente sobre la discontinuidad en toda su longitud. La profundidad de la superficie y la clasificación de la indicación deberán estar anotadas lo más cerca posible en el metal base.

### **3.7.10 Reparación**

La soldadura que se encuentre inaceptable mediante la UT deberá repararse a través de los métodos permitidos por el capítulo 5 del código AWS D1.1 . Las áreas reparadas deberán re testearse Ultrasónicamente con resultados tabulados en el formulario original o en formularios de informe adicional.

### **3.7.11 Informes de Re testeo**

La evaluación de las áreas de soldadura reparada y re testeada deberá tabularse en una nueva línea en un formulario de informe. Si se utiliza el formulario original del informe el prefijo R1, R2... Rn serán el prefijo para el n° de indicaciones. Si se utilizan formularios adicionales de informe el prefijo deberá ser el número y R en el número de informe.

### **3.7.12 Backing Metálico**

La inspección por UT en juntas de penetración completa con respaldo de acero deberá efectuarse como un procedimiento UT que reconozca los reflectores potenciales creados por la base de la interface del backing metálico.

## **3.8 Prueba UT de conexiones tubulares T-, Y-, y K**

### **3.8.1 Procedimiento**

Todos los procedimientos UT deberán estar en conformidad con un procedimiento escrito el cual ha sido preparado o aprobado por un individuo calificado en SNT- TC- 1 A, Nivel III y experiencia en UT de estructuras tubulares. El procedimiento se basará en los requerimientos de esta sección y Sección 6, Parte F, sea aplicable. Anterior a su uso en producción de soldaduras, el procedimiento y el criterio de aceptación deberá ser aprobado

por el Ingeniero, y el personal deberá haber sido exitosamente calificado en conformidad con 3.8.2. El procedimiento deberá contener, como mínimo, las siguiente Información con respecto al método y las técnicas de UT:

- (1) El tipo de configuración de la unión de soldadura que vaya a examinarse (por ejemplo, el rango aplicable de diámetro, espesor y ángulo diedro local). Las técnicas convencionales están limitadas generalmente a diámetros de 12-3/4 pulgadas [325 mm] y mayores espesores de 1/2 pulgada [12 mm] y superiores y ángulos diedro locales de 30° o mayores. Las técnicas especiales para los tamaños más pequeños pueden utilizarse siempre que estén calificadas según como se describan aquí, utilizando el menor tamaño de aplicación.
- (2) Aceptación del criterio para cada tipo y tamaño de soldadura.
- (3) Tipos de instrumentos para prueba radiográfica (marca y modelo).
- (4) Frecuencia del transductor (unidad de exploración, tamaño y forma activa, ángulo de abertura del haz y tipo de cuña en las sondas de pruebas del ángulo de abertura del haz. Los procedimientos que utilizan los transductores hasta de 6 MHZ disminuyen a 1/4 de pulgada [6 mm] y de diferente forma de la que se específica en otras partes, está puede usarse siempre que estén calificadas según lo descrito aquí.
- (5) Preparación de la superficie y del material de acoplamiento (en donde sea utilizado).
- (6) Tipo de bloque de prueba de calibración y reflector de referencia.

(7) Método de calibración y exactitud requerida para la distancia (el barrido) linealidad vertical, expansión de la abertura del haz de luz, sensibilidad y resolución.

(8) Intervalo de recalibración para cada ítem en visto en acápite (7)

(9) Método para determinar la continuidad acústica del metal base (Ver 3.8.4) y para establecer la geometría como una función del ángulo diedro local y el espesor.

(10) Patrón de exploración y sensibilidad (Ver 3.8.5)

(11) Corrección para la transferencia para la curvatura de superficie y aspereza (irregularidad) en donde se utilizan los métodos de amplitud (Ver 3.8.3).

(12) Métodos para determinar el ángulo de la abertura del haz efectivo (en materiales curvos, en el área de ajuste de la raíz, y en localizaciones de discontinuidad.

(13) Método de la longitud de la discontinuidad y determinación de la altura.

(14) Método de la verificación de la discontinuidad durante la excavación y la reparación.

### **3.8.2 Personal**

Además de los requerimientos sobre el personal dados en 3.14.6 cuando se vayan a efectuar los exámenes en las conexiones de T-, Y-, y K, el operador requerirá demostrar una habilidad para aplicar técnicas especiales requeridas para tales exámenes. Las pruebas prácticas deberán efectuarse en soldaduras de modelos simulados que representen el tipo de soldaduras que vayan a inspeccionar, incluyendo un rango representativo del ángulo diedro y los espesores que vayan a encontrarse en producción utilizando los

procedimientos y utilizando la aprobación calificada aplicable. Cada modelo simulado deberá contener deformaciones naturales o artificiales que entreguen indicaciones de la prueba UT por arriba y por debajo de los criterios de rechazo especificados en el procedimiento aprobado. El performance deberá juzgarse sobre la base de la habilidad del operador para determinar el tamaño y la clasificación de cada discontinuidad con una exactitud requerida para aceptar o rechazar cada pieza soldada y ubicar con exactitud las discontinuidades rechazables en las soldaduras y dentro de la sección transversal de la soldadura. A lo menos el 70% de las discontinuidades inaceptables deberán identificarse correctamente como rechazadas. Para el trabajo en estructuras no redundantes, todas las discontinuidades serias (por ejemplo, aquellas que excedan las dimensiones rechazables por un factor de dos, o con amplitudes de 6 dB) deberán localizarse e informarse.

### **3.8.3 Calibración**

La calificación del equipo UT y los métodos de calibración deberán cumplir con los requerimientos del procedimiento aprobado, excepto lo siguiente.

#### **3.8.3.1 Rango (distancia)**

El rango de calibración deberá incluir, como mínimo, distancia completa del trayecto acústico para ser utilizada durante el examen específico. Esto puede ajustarse para presentar ya sea el trayecto acústico la distancia de superficie o la profundidad equivalente debajo de la superficie de contacto, desplegada en la escala horizontal del instrumento, según lo que se diga en el procedimiento aprobado.

### **3.8.3.2 Calibración de la Sensibilidad**

La sensibilidad estándar para examinar la producción de soldadura deberá ser: la sensibilidad básica + la corrección de distancia amplitud + la corrección de transferencia. Esta calibración deberá efectuarse a lo menos 1 vez para cada unión que vaya a someterse a prueba; excepto que para las pruebas repetitivas del mismo tamaño y configuración, la frecuencia de calibración dada en 3.6.3 debe ser usada.

#### **(1) Sensibilidad Básica**

El nivel de referencia de altura de la pantalla obtenida utilizando la reflexión máxima del orificio de diámetro 0.60 pulgadas [1.5 mm] en el bloque IIW (u otro bloque que de cómo resultado la misma sensibilidad básica de calibración) como se describe en 3.6. ( ó en 3.10.).

#### **(2) Corrección Distancia Amplitud**

El nivel de sensibilidad deberá ajustarse para prever una pérdida atenuación a través de todo el rango del trayecto acústico que se vaya a utilizar, ya sea en las curvas de corrección de amplitud de distancia, por medios electrónicos o como se describe en 3.7.6.4. En donde se utilizan los transductores de alta frecuencia, la atenuación mayor deberá tomarse en consideración. La corrección de transferencia puede usarse para acomodar la prueba UT a través de capas estrechas de pintura que no excedan las 10 mils [0.25 mm] de espesor.

### **3.8.4 Examen del Metal Base**

Toda área sujeta al examen de prueba UT deberá examinarse mediante la técnica de la onda longitudinal para detectar reflectores laminados que

podieran interferir con la propagación intencionada y directa de la onda sonora. Todas las áreas que contengan reflectores laminares deberán marcarse para ser identificadas antes del examen de la soldadura y de las consecuencias consideradas en la selección de la unidad de los ángulos de la unidad de exploración y de las técnicas de examen de las soldaduras en esa área. El Ingeniero debe ser notificado de las discontinuidades del material base que excedan los límites de la **sección 5.15.1.1 del Código AWS D 1.1:2010**.

### 3.8.5 Escaneo de la Soldadura

El escaneo de la soldadura en conexiones T-, Y-, K deberán efectuarse desde la superficie del componente secundario llamado branch (brazo) (ver figura 3.9). Todos los exámenes deberán hacerse en las piernas I y II correspondientes al recorrido del sonido (ver figura 3.10), cuando sea posible. Para un examen inicial la sensibilidad deberá incrementarse en 12 dB por sobre lo establecido en 3.8.3 para el máximo trayecto de sonido. La evaluación de la indicación deberá efectuarse con referencia a la sensibilidad estándar.

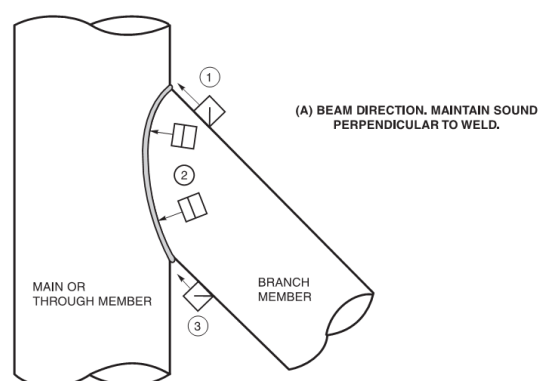


Figura 3-9: Escaneo de Unión Soldada en Conexiones T-Y-K

(Fuente AWS D1.1 -2010)

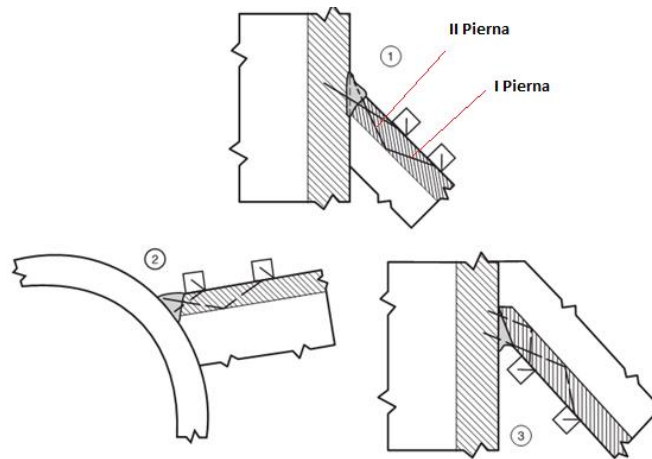


Figura 3-10: Examinación en Primera y Segunda Pierna

(Fuente AWS D1.1 -2010)

Indicaciones encontradas en las áreas de la raíz en las juntas de canal y a lo largo de la cara de fusión de cualquier unión soldada debe ser adicionalmente evaluada con transductores de  $70^\circ$ ,  $60^\circ$  o  $45^\circ$ , cual sea el más cercano a ser perpendicular a la cara de fusión esperada

### 3.8.6 Evaluación de la Discontinuidad.

Las discontinuidades serán evaluadas utilizando una combinación de límites de haz de luz y técnicas de amplitud. Los tamaños deben ser dados como longitud y altura (dimensión de profundidad) o amplitud según sea aplicable. La amplitud estará relacionada “la calibración estándar.” Además, las discontinuidades deberán clasificarse como lineales o planas versus esféricas, pero destacando los cambios en amplitud a medida o que el transductor oscile en un arco centrado en el reflector. Se deberá determinar la localización (posición) de las discontinuidades dentro de la sección transversal de la soldadura, al igual que de un punto de referencia establecido al largo del eje soldado.

### **3.8.7 Reportes**

#### **3.8.7.1 Formatos.**

Un formato de reporte deberá identificar claramente el trabajo y el área de inspección que deberá ser completado por el técnico en pruebas Ultrasonicas en el momento de la inspección. Un reporte detallado y un diagrama que muestre la localización a lo largo del eje de la soldadura, la ubicación dentro de las secciones transversales de la soldadura, el tamaño (o en la clasificación de la indicación), longitud, orientación y clasificación para cada discontinuidad deberá ser completada para cada soldadura en la cual se encuentren indicaciones significativas.

#### **3.8.7.2 Reporte de Discontinuidades**

Cuando se especifiquen, las discontinuidades que se acerquen a un tamaño rechazable, particularmente aquellas en donde haya alguna duda en cuanto a su evaluación también deberán ser reportadas.

#### **3.8.7.3 Inspección Incompleta.**

Las áreas para las cuales la inspección completa no se pueda realizar, también deberán ser registradas, junto con el motivo por el cual la inspección no se completó.

#### **3.8.7.4 Marcas de Referencia.**

A menos que se especifique de otro modo, la posición de referencia y la localización y longitud de las discontinuidades rechazadas también pueden marcarse físicamente en la pieza que vaya a soldarse.

### **3.9 Preparación y Disposición de los reportes**

#### **3.9.1 Contenido de los Informes.**

Un formato de reporte que identifique claramente el trabajo y el área de inspección deberán ser completados por el operador de la prueba Ultrasónica en el momento de la inspección. El reporte para soldaduras que sean aceptables sólo necesitan contener la información suficiente para identificar la soldadura, la firma del operador, y la aceptación de la soldadura. Un ejemplo de tal formato se muestra en el Anexo B, F-04.

#### **3.9.2 Reportes previos a la inspección**

Antes de que una soldadura esté sujeta a una prueba Ultrasónica por parte del Contratista para que sea aceptada por el Dueño de la obra, todos los formularios de informe pertenecientes a la soldadura, incluyendo cualquiera que muestre una calidad inaceptable previa a la reparación, deberá ser entregada al Inspector.

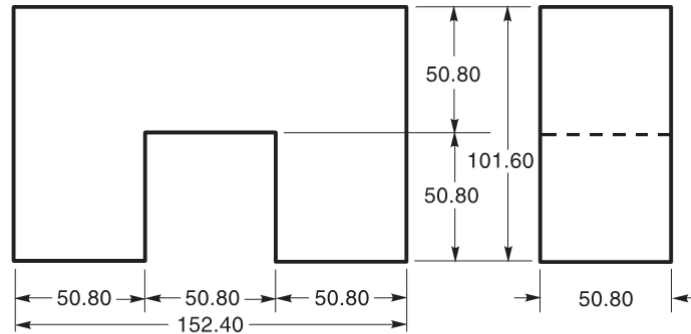
#### **3.9.3 Reportes Completados.**

Un grupo completo de formatos de reporte terminados de soldaduras sometidas a pruebas Ultrasónicas por parte del Contratista para el Propietario, incluyendo cualquiera que muestre alguna calidad inaceptable previa a la reparación, deberá ser entregado al Propietario después de que se haya completado el trabajo. La obligación del Contratista para retener los informes de pruebas Ultrasónicas terminará en los siguientes casos:

- (1) en cuanto se entregue el set completo al Propietario
- (2) un año completo después de haber terminado el trabajo del Contratista, siempre que se le dé un aviso por escrito con anticipación al Propietario.

### 3.10 Calibración de la Unidad Para Prueba Ultrasónica con Bloques IIW u Otros Bloques de Referencia Aprobados

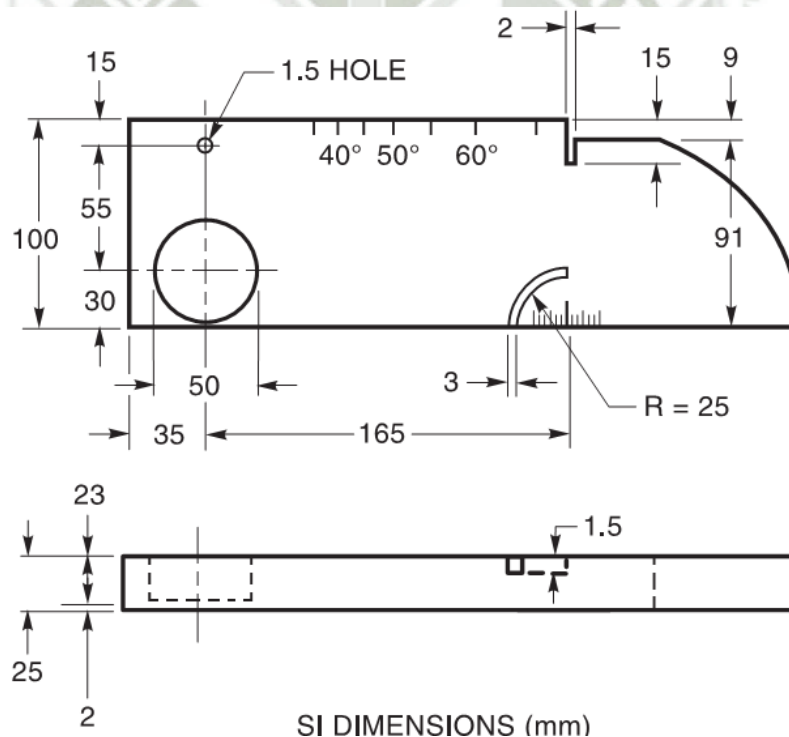
Ver figura 2.4, 2.5, 2.11, 2.12



TYPE - DISTANCE AND SENSITIVITY REFERENCE BLOCK

Figura 3-11: Bloque de Calibración Distancia Sensibilidad

(Fuente AWS D1.1 -2010)



SI DIMENSIONS (mm)

Figura 3-12: Bloque de Calibración IIW Tipo 1

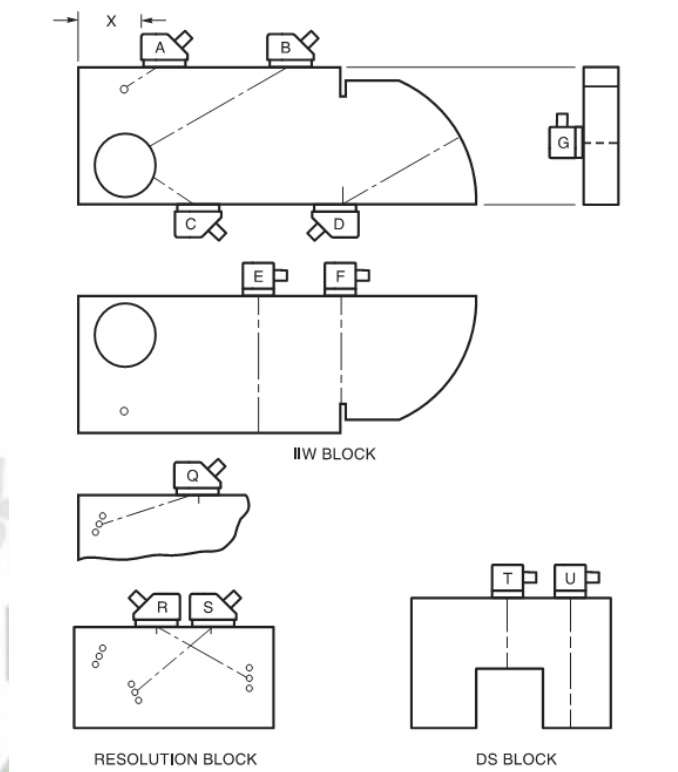


Figura 3-13: Posiciones Típicas del Transductor Para Calibración

(Fuente AWS D1.1 -2010)

### 3.10.1 Modo Longitudinal

#### 3.10.1.1 Calibración de Distancia.

(1) El transductor deberá colocarse en la posición G en el bloque IIW, (Ver figura 3.13)



Figura 3-14: Calibración de Distancia

(Fuente Propia)

(2) El instrumento deberá ajustarse para producir indicaciones en 1 pulgada [25 mm en un bloque métrico], 2 pulgadas [50 mm en un bloque métrico], 3 pulgadas [75 mm en un bloque métrico], 4 pulgadas [100 mm en un bloque métrico], etc. en el pantalla.

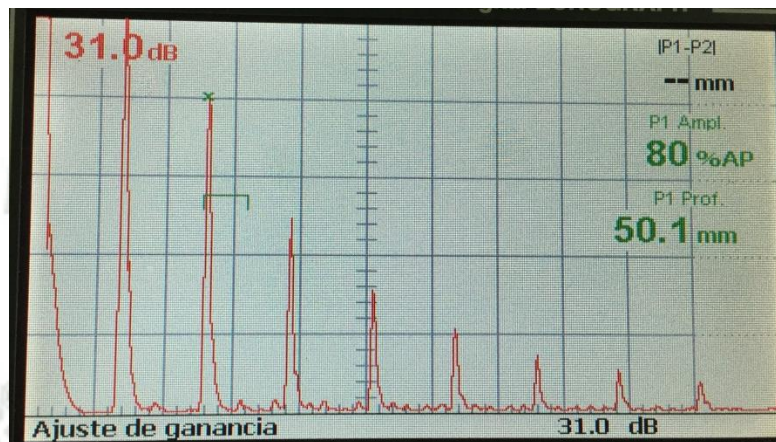


Figura 3-15: Indicaciones de Pared Posterior

(Fuente Propia)

### 3.10.1.2 Amplitud.

(1) El transductor deberá ajustarse en la posición G en el bloque IIW. (Ver figura 3.13)

(2) la ganancia deberá ajustarse hasta que la indicación maximizada del primer reflejo posterior corresponda a una altura de pantalla de 50 a 75%.

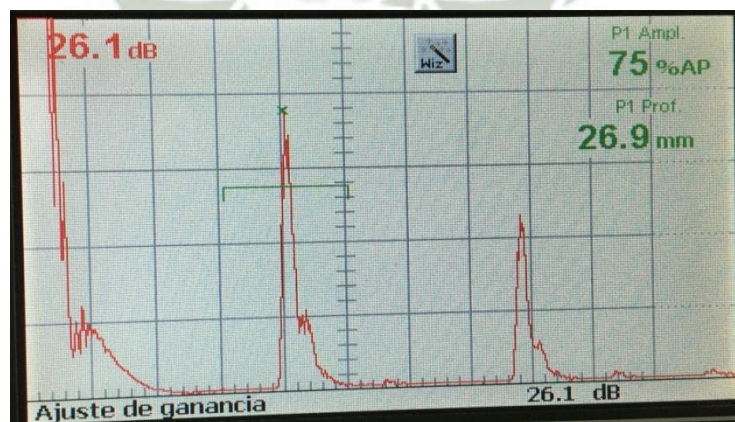


Figura 3-16: Maximización de primera indicación de Pared Posterior

(Fuente Propia)

### 3.10.1.3 Resolución.

(1) El transductor deberá ajustarse en posición F en el bloque IIV. (Ver figura 3.13)

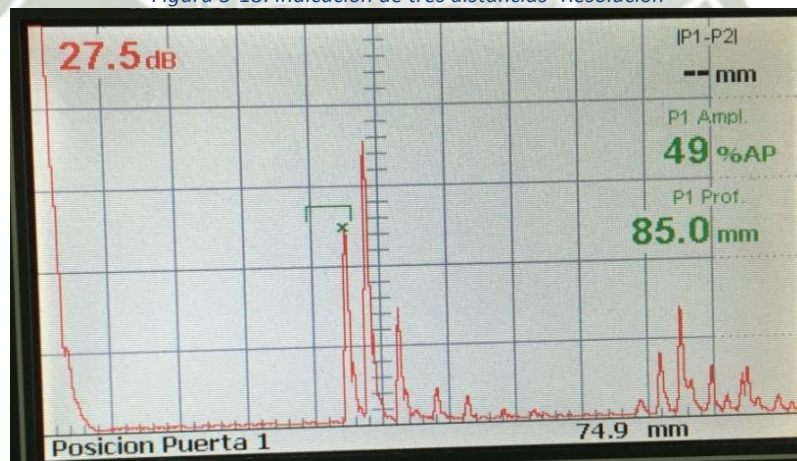


Figura 3-17: Posición de transductor Recto para verificar Resolución

(Fuente Propia)

(2) El transductor y el instrumento deberán resolver las tres distancias, (deben poder diferenciarse).

Figura 3-18: Indicación de tres distancias- Resolución



(Fuente Propia)

### 3.10.1.4 Calificación de la Linealidad Horizontal.

El procedimiento de calificación será según 3.5.1 y desarrollado en el capítulo 4

### 3.10.1.5 Calificación del Control de Ganancia (Atenuación).

El procedimiento de calificación deberá estar en conformidad con 3.5.2 y está desarrollado en el capítulo 4.

### 3.10.2 Modo de Onda de Corte (Transversal)

#### 3.10.2.1 Punto Índice.

El punto de entrada del sonido del transductor (punto índice) deberá ubicarse o verificarse para los siguientes procedimientos:

(1) El transductor deberá estar colocado en la posición D en el bloque IIW. (Ver figura 3.13)



*Figura 3-19: Detección del punto índice de emisión-Haz angular*

(Fuente Propia)

(2) El transductor deberá moverse hasta que la señal de la radio se maximice.

El punto en el transductor en el cual se alinea con la línea del radio en el bloque de calibración es el punto de entrada del sonido

### 3.10.2.2 Ángulos.

El ángulo del trayecto acústico del transductor deberá verificarse o deberá ser determinado por uno de los siguientes procedimientos:

(1) El transductor deberá ajustarse en la posición B en el bloque IIW para los ángulos de  $40^\circ$  hasta  $60^\circ$ , o en la posición C en el bloque IIW para ángulos de  $60^\circ$  a  $70^\circ$ , en este caso  $70^\circ$  (ver Figura 3.13).

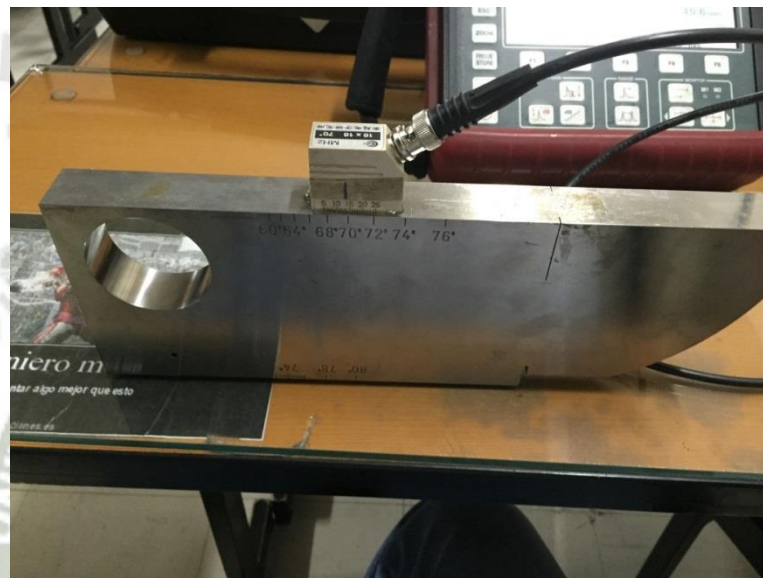


Figura 3-20: Verificación de Angulo de Transductor

(Fuente Propia)

(2) Para el ángulo seleccionado el transductor deberá moverse hacia atrás y hacia delante por sobre la línea indicadora del ángulo del transductor, hasta que la señal de radio se maximice. El punto de entrada acústica en el transductor deberá compararse con la marca del ángulo en el bloque de calibración (tolerancia  $\pm 2^\circ$ ).

### 3.10.2.3 Procedimiento de Calibración de Distancia.

El transductor deberá ajustarse en la posición D en el bloque IIW (en cualquier ángulo). (Ver figura 3.13) El instrumento entonces será ajustado para lograr

una primera indicación a 4 pulgadas [100 mm en un bloque métrico], y la segunda indicación a 8 pulgadas [200 mm en un bloque métrico] ó 9 pulgadas [225 mm en un bloque métrico]



Figura 3-21: Posición del transductor para calibración de distancia

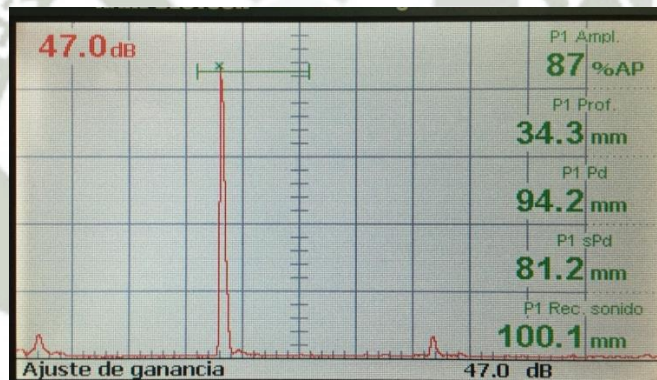


Figura 3-22: Calibración de Distancia primera indicación-Haz Angular

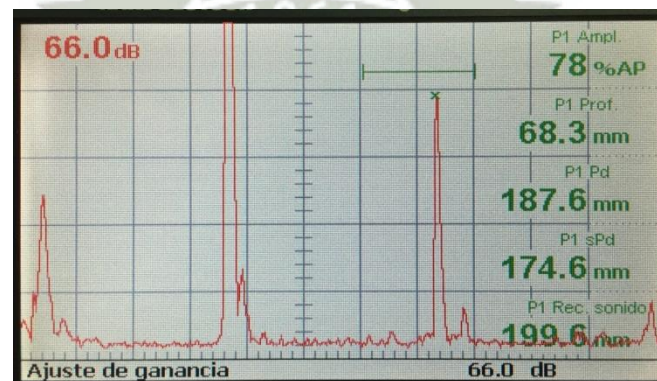


Figura 3-23: Calibración de Distancia Segunda indicación-Haz Angular

(Fuente Propia)

### 3.10.2.4 Amplitud o Procedimiento de Calibración de la Sensibilidad.

El transductor deberá ajustarse en la posición A en el bloque IIW (cualquier ángulo) (Ver figura 3.13). La señal maximizada entonces deberá aceptarse a partir del orificio de 0.060 pulgadas [1.59 mm] para lograr una indicación horizontal en la altura de la línea de referencia. La lectura máxima de decibeles obtenidos deberá cursarse como “Nivel de Referencia para el rastreo de reflectores en la pieza a inspeccionar; esta lectura deberá aparecer en la hoja de informe de pruebas en conformidad con 3.4.1 (Anexo B, F-04).

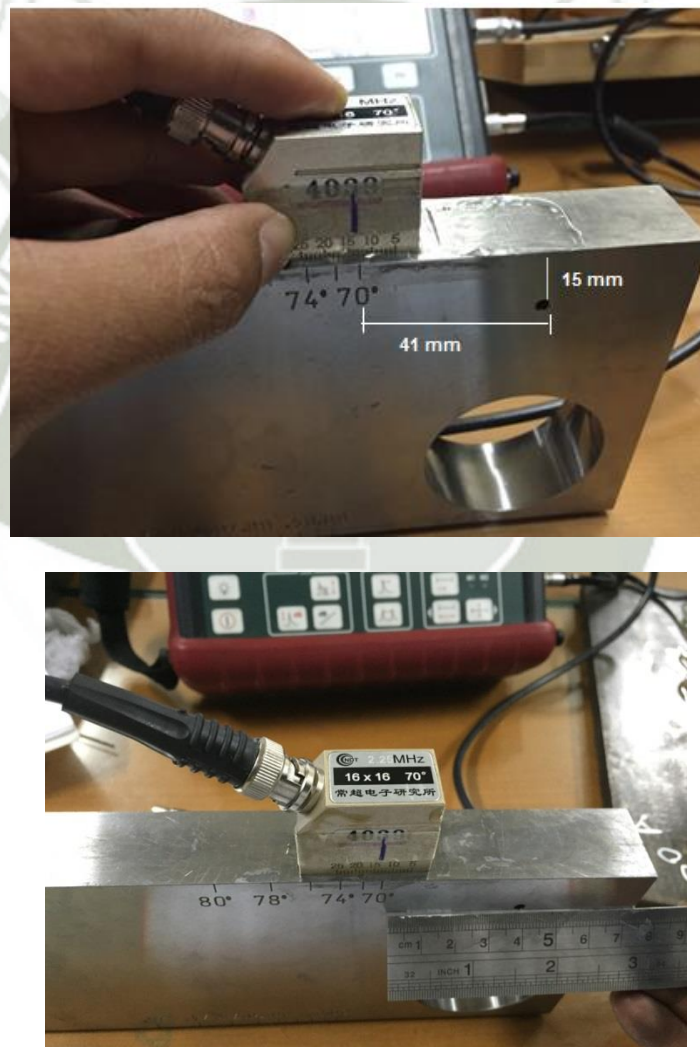


Figura 3-24. Posición del transductor para calibrar sensibilidad

(Fuente Propia)

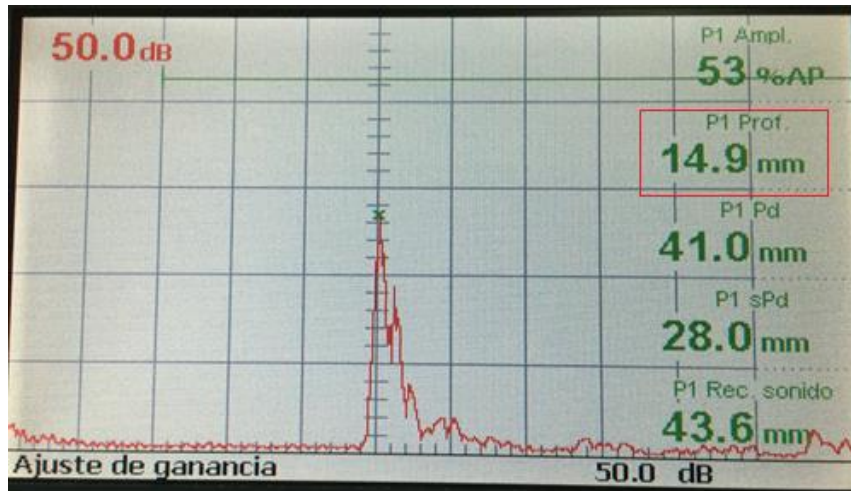


Figura 3-25: Verificación de calibración de distancia y calibración de sensibilidad

(Fuente Propia)

### 3.10.2.5 Resolución

(1) El transductor deberá ajustarse en el bloque de resolución RC posición Q para un ángulo de  $70^\circ$ , posición R para un ángulo de  $60^\circ$ , posición S para un ángulo de  $45^\circ$ . (Ver figuras 3.6), se coloca en la posición Q para el transductor de  $70^\circ$  en nuestro estudio.

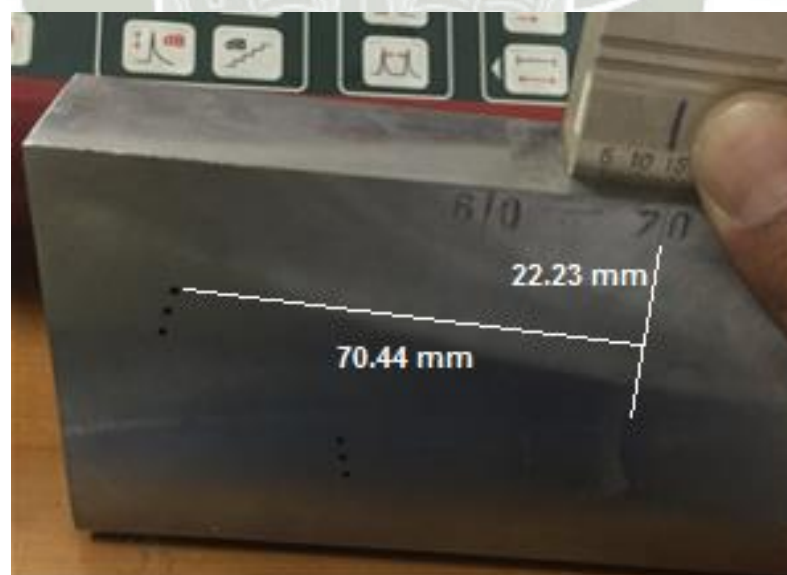


Figura 3-26: Posición de Transductor para verificación de Resolución Angular

(Fuente Propia)

(2) El transductor y el instrumento deberán resolver los tres orificios de ensayo o de prueba, a lo menos hasta un punto de distinguir los picos de las indicaciones de los tres orificios.

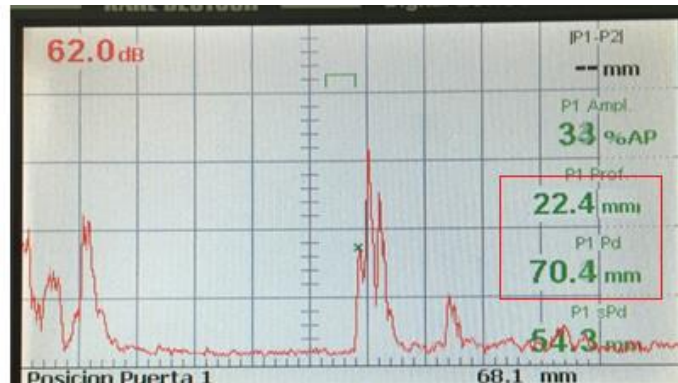


Figura 3-27: Indicaciones de tres orificios -Resolución Haz Angular-Primer Orificio

(Fuente Propia)

La distancia mínima permisible entre el borde de la unidad de exploración y el borde del bloque IIW deberá ser la siguiente.

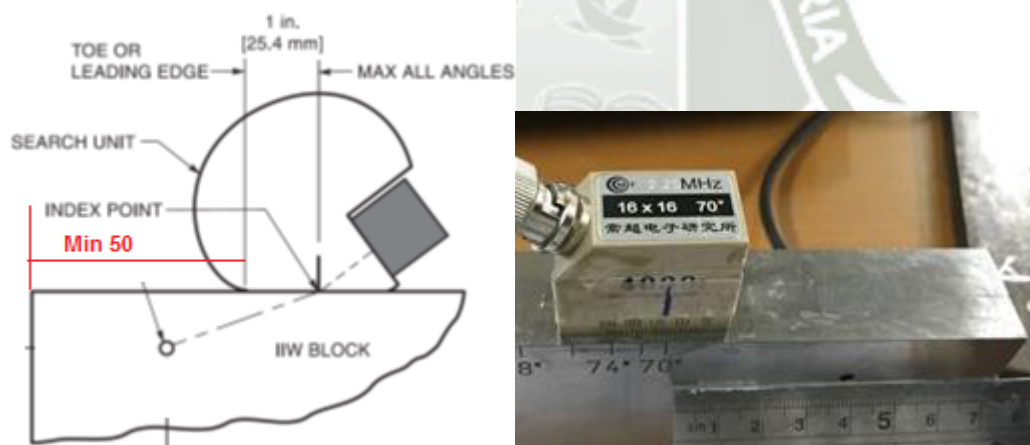


Figura 3-28: Aproximación de la Distancia de la Unidad de Exploración o Transductor

(Fuente AWS D1.1 2010 / Propia)

- Para el transductor de 70° X = 2 pulgadas [50 mm]
- Para el transductor de 60° X = 1-7/16 pulgadas [37 mm]
- Para el transductor de 45° X = 1 pulgada [25 mm]

### 3.11 Procedimientos Para la Calificación del Equipo

#### 3.11.1 Procedimientos de Linealidad Horizontal.

Nota: Ya que este procedimiento de calificación se efectúa con una unidad de exploración de un haz de luz directo, el cual produce ondas longitudinales con una velocidad del sonido de casi el doble de las ondas de corte; es necesario doblar los rangos de distancia de la onda de corte que se vayan a utilizar para aplicar este procedimiento.

Ejemplo: El uso de una calibración de pantalla de 10 pulgadas [250 mm] en la onda de corte requeriría una calibración de pantalla de 20 pulgadas [500 mm] para este procedimiento de calificación.

El siguiente procedimiento deberá utilizarse para la calificación del instrumento

- (1) Una unidad de exploración de haz de luz directa deberá acoplarse cumpliendo con los requerimientos de 3.3.6 para el bloque IIW o el bloque DS en posición G, T o U (ver Figura 3.13) según sea necesario para lograr los cinco reflejos en el rango de clasificación que sé este certificando.
- (2) El primero y el quinto reflejo posterior deberán ajustarse en sus propias localizaciones con el uso de ajuste de la calibración de distancia y del retardo de cero.
- (3) Cada indicación deberá ajustarse al nivel de referencia con el control de ganancia o de atenuación para el examen de la localización horizontal.
- (4) Cada localización de deflexión del trazado intermedio deberá corregirse dentro de un ancho de pantalla del 2%.

### 3.11.2 dB Precisión

#### 3.11.2.1 Procedimiento.

Nota: Para lograr una exactitud requerida ( $\pm 1\%$ ) al leer la altura de la indicación, la pantalla deberá graduarse verticalmente en intervalos del 2% ó del 2.5% para instrumentos con lectura de amplitud digital en pantalla liviana y horizontales de una altura media. Estas graduaciones se colocarán en la pantalla entre el 60% y el 100% de altura de pantalla. Esto puede lograrse con el uso de una sobre posición de pantalla transparente graduada. Si esta sobre posición se aplica como una parte permanente de la unidad de la prueba térmica, debería tenerse cuidado de que esta superposición no oscurezca la prueba normal.

(1) Una unidad de exploración de haz de luz directa deberá acoplarse, cumpliendo con los requerimientos de 3.3.6 con el bloque DS que aparece en la Figura 3.11, y en la posición "T", Figura 3.13.

(2) La calibración de la distancia deberá ajustarse de modo que la primera indicación de retro reflexión de 2 pulgadas [50 mm] (de aquí en adelante llamada la indicación), esté en la mitad de la pantalla horizontal.

(3) El control de atenuación o de ganancia calibrada deberá ajustarse de modo que la indicación esté exactamente en ó levemente por sobre el 40% de la altura de la pantalla.

(4) La unidad de exploración deberá moverse hasta la posición U, ver Figura 2.13, hasta que la indicación esté exactamente en el 40% de la altura de la pantalla.

- (5) La amplitud del sonido deberá aumentarse en 6 decibeles con el control de atenuación o el de ganancia calibrada. El nivel de indicación teóricamente debería ser exactamente a la altura del 80% de la pantalla.
- (6) La lectura de decibeles deberá registrarse bajo una “a” y el porcentaje real de la altura de la pantalla bajo “b”, del paso 5 en el informe de certificación (Anexo B, F-01), Línea 1.
- (7) La unidad de exploración deberá moverse hacia delante hasta la posición de U, Figura 3.13, hasta que la indicación esté exactamente en el 40% de la altura de la pantalla.
- (8) Deberá repetirse la etapa 5.
- (9) Deberá repetirse la etapa 6; excepto que la información debería aplicarse a la línea consecutiva siguiente en el Anexo B, F-01.
- (10) Las etapas 7, 8 y 9 deberán repetirse consecutivamente hasta que se logre el rango completo del control de ganancia (atenuador) (60 decibeles mínimo).
- (11) La información de las Filas o Líneas “a” y “b” deberá aplicarse a la ecuación 3.11.2.2 ó al nomograma descrito en 3.11.2.3 para calcular el decibel correcto.
- (12) Deberá aplicarse el decibel corregido de la etapa 11 a la Línea “c”.
- (13) Deberá sustraerse el valor de la Línea “c” de la Fila del valor “a” y la diferencia en la Fila “d”, el error de decibeles deberá aplicarse.
- Nota: Los valores pueden ser positivos ó negativos y esto deberá anotarse así.
- (14) Deberá tabularse la información en el formulario, incluyendo la información mínima equivalente que aparece en el Anexo B, formato F-01, y la unidad

deberá evaluarse en conformidad con las instrucciones que aparecen en este formulario.

(15) El formato F-02 del anexo B entrega un medio relativamente simple de evaluación de datos del Ítem (14). Las instrucciones para esta evaluación se entregan entre (16) hasta (18).

(16) La información de decibeles desde la Fila “e” (Formato F-01 Anexo B) deberá aplicarse verticalmente y la lectura de decibeles de la Fila “a” horizontalmente a medida que ó ya que X e Y coordinan para un trazado de una curva de dB en el Formato F-02 del Anexo B.

(17) La mayor longitud horizontal, representado por la diferencia de lectura de decibeles, la cual puede inscribirse en un rectángulo representado 2 decibeles de altura, denota que el rango de decibeles en el cual el equipo cumple los requerimientos del código. El rango mínimo permisible es de 60 decibeles.

(18) El equipo que no cumpla este requerimiento mínimo que deben utilizarse, los factores de corrección que se desarrollen y se utilicen para la evaluación de la discontinuidad fuera del rango de linealidad ajustable del instrumento, o que la evaluación de la prueba de soldadura y la discontinuidad se mantengan dentro del rango de linealidad vertical ajustable del equipo.

Nota: Las figuras con error dB (Fila “d”) pueden utilizarse como figuras de factor de corrección.

### 3.11.2.2 Ecuación de Decibeles

La siguiente ecuación deberá utilizarse para calcular los decibeles:

$$dB_2 - dB_1 = 20 \times \text{Log} \frac{\%_2}{\%_1}$$

*Ecuación 3-3: Ecuacion de Decibeles*

$$dB_2 = 20 \times \text{Log} \frac{\%_2}{\%_1} + dB_1$$

De acuerdo a lo relacionado con Anexo B, Formato F-01, (Ver desarrollo en 4.3)

$$dB_1 = \text{Fila "a"}$$

$$dB_2 = \text{Fila "c"}$$

$$\%_1 = \text{Fila "b"}$$

$$\%_2 = \text{Defindo el el formato M8}$$

### 3.11.2.3 Anexo B.

Las siguientes notas se aplican al uso del nomógrafo en el Anexo B Formato F-03:

- (1) Filas a, b, c, d y e están en la hoja de certificación, Anexo B, Formato F-01.
- (2) Las escalas A, B y C están en el nomógrafo, Anexo B, Formulario F-03.
- (3) Los puntos cero en la serie C deberán prefijarse agregando el valor necesario que corresponda con los ajustes del instrumento; es decir 0, 10, 20, 30, etc, (Ver desarrollo en 4.3.1.2)

### 3.11.2.4 Procedimiento.

Los siguientes procedimientos deberán aplicarse al uso de nomografo en el Anexo B, Formato F-03:

- (1) Una línea recta entre la lectura del decibel de la fila "a" aplicada a la serie C y al porcentaje correspondiente de la fila "b" aplicado a la serie A deberá prolongarse.
- (2) El punto en donde la línea recta de la etapa 1 cruce la línea pivote B, como un punto pivote para una segunda línea recta deberá utilizarse.

(3) Una segunda línea recta a partir de un punto de % promedio en la serie A a través del punto del pivote desarrollado en la etapa 2 y hasta el decibel de la escala C deberá prolongarse.

(4) Este punto en la serie C indica el decibel corregido para usarse en la fila "c".

### **3.11.3 Procedimiento de Reflexiones Internas**

(1) Calibrar el equipo en conformidad con 3.6.5.

(2) Remover el palpado (unidad de búsqueda) del bloque de calibración sin cambiar ningún otro equipo de ajuste.

(3) Aumentar la ganancia calibrada o la atenuación de 20 decibeles más sensibles que el nivel de referencia.

(4) El área de la pantalla más allá del trayecto acústico de  $\frac{1}{2}$  pulgada [12 mm] y arriba del nivel de altura de referencia deberán estar libres de cualquier indicación, (Ver desarrollo en 4.4)

## **3.12 Procedimientos de Evaluación del Tamaño de la Discontinuidad**

### **3.12.1 Prueba del Haz de Luz Directa (Longitudinal)**

El tamaño de las discontinuidades laminares no es siempre fácil de determinar, especialmente aquellos que son menores (ó de menor tamaño) que el tamaño del transductor. Cuando la discontinuidad sea mayor que el transductor, ocurrirá una pérdida completa del reflejo posterior y una pérdida de 6 decibeles de amplitud y de medición hasta la línea central del transistor es generalmente confiable para determinar la discontinuidad de los bordes. Sin embargo, la evaluación de tamaño aproximado de esos reflectores, los cuales son más pequeños que el transductor, deberán hacerse comenzando por la parte de

afuera (ó externa) de la discontinuidad con un equipo calibrado en conformidad con 3.6.4 y moviendo el transductor hacia el área de la discontinuidad hasta que alguna indicación en la pantalla comience a formarse. El borde guía de la unidad de registro en este punto es la que indica borde de la discontinuidad.

### **3.12.2 Prueba del Haz de Luz en Angulo (Corte).**

El procedimiento siguiente se utilizara para determinar las longitudes de las indicaciones que tengan valores de decibeles más serios que para una indicación de Clase D. La longitud de tal indicación deberá determinarse al medir la distancia entre las localizaciones de la línea central del transductor en donde la amplitud del valor de la indicación cae en un 50% (6 decibeles) por debajo del valor para la calificación de discontinuidad aplicable. Esta longitud deberá registrarse en el informe de pruebas como: "longitud de discontinuidad". En donde esté garantizado por la amplitud de discontinuidad, este procedimiento deberá repetirse para determinar la longitud de las discontinuidades de la Clase A, B y C. (ver Tabla 2.1 y Tabla 2.2) del anexo Tablas

### **3.13 Movimientos de Escaneo**

Los siguientes movimientos con el transductor se recomiendan para el escaneo en las uniones soldadas (Para mayor referencia ver la figura 3.8)

#### **3.13.1 Discontinuidades Longitudinales**

##### **3.13.1.1 Movimiento de rastreo A:**

Angulo de rotación  $\alpha = 10^\circ$ .

### 3.13.1.2 Movimiento rastreo B:

La distancia del rastreo B deberá ser tal que la sección de la soldadura que se esté sometiendo a prueba sea cubierta completamente.

### 3.13.1.3 Movimiento de rastreo C:

La distancia de avance c deberá ser de aproximadamente de la mitad del ancho del transductor. Nota: Los movimientos A, B, y C pueden combinarse en un patrón de rastreo o exploración.

## 3.13.2 Discontinuidades Transversales

### 3.13.2.1 Soldaduras Esmeriladas.

Deberá utilizarse el movimiento de exploración D cuando las soldaduras están esmeriladas al ras.

### 3.13.2.2 Soldaduras no Esmeriladas.

Deberá utilizarse el movimiento de exploración E, cuando el refuerzo de la soldadura no esté esmerilado a ras. Angulo de registro  $e = 15^\circ$  máximo, este movimiento deberá cubrir la sección completa de la soldadura.

## CAPITULO IV

### 4 Procedimientos

#### 4.1 Elaboración y evaluación de procedimiento para calificación de equipo de UT utilizado en inspección de juntas soldadas bajo Código para soldadura de acero estructural AWS D1.1/ D1.1M:2010.

El diagrama 4.1 resume la secuencia de operaciones a seguir para la certificación de un equipo de UT

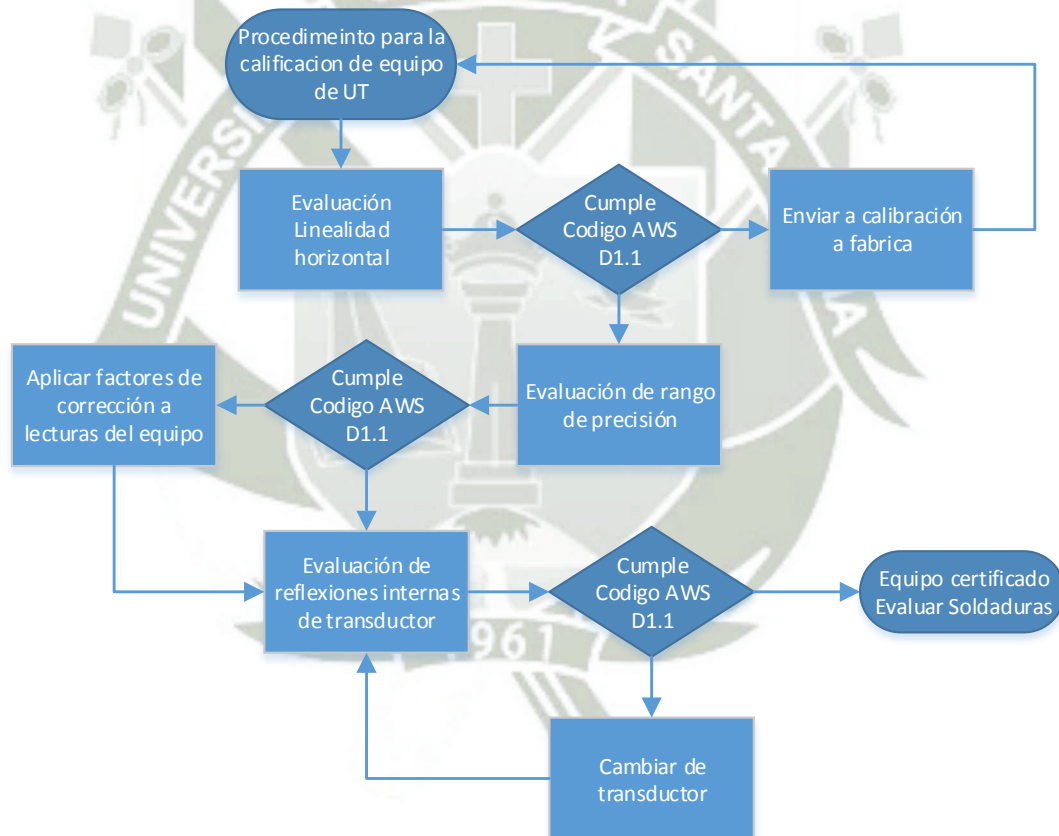


Diagrama 4-1: Secuencia de Operaciones Para Certificar un Equipo UT

(Fuente Propia)

##### 4.1.1 Equipo a ser evaluado. (Ver 3.3.1)

El equipo elegido para esta evaluación es:

Marca: Karl Deutsch.

Modelo: Echograph 1090.

Nº de Serie: 21477

Presentación: Scan A.

Transductor: Haz recto (UCSM-T-001).

Frecuencia: 4 Mhz

Área activa: 494 mm<sup>2</sup>

Desviación de linealidad horizontal: Max 2%

Rango de precisión de equipo: mínimo 60 dB

#### **4.2 Procedimiento para evaluación de Linealidad Horizontal. (Ver 3.11.1)**

Para esta evaluación se utilizó un bloque de calibración del tipo IIW tipo 2

Nº Serie Bloque: 5338 (Ver certificado en anexo C)

Certificado Calibración: 59108 (Ver certificado en Anexo C)

El rango de calibración se fijó en 250 mm para haz recto lo cual habilita un rango de calibración de 125 mm para haz angular.

Se siguió la secuencia que detalla el diagrama 3.1

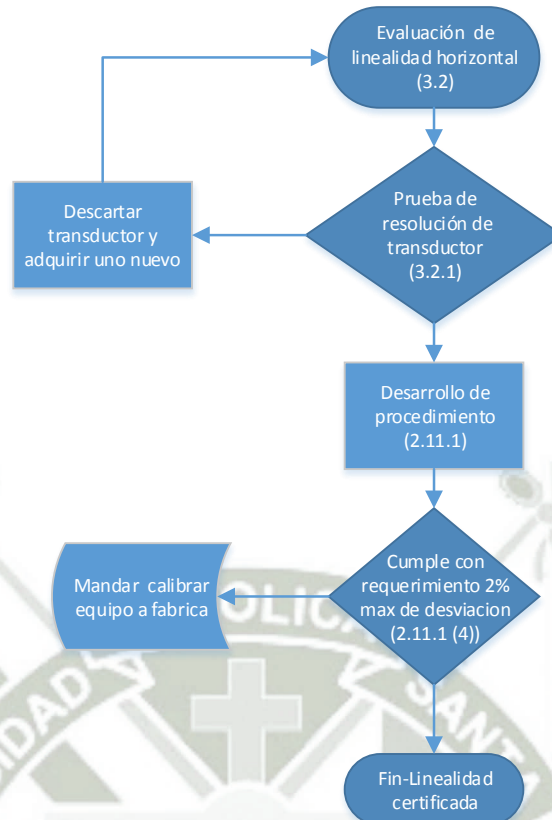


Diagrama 4-2: Secuencia de Verificación de Linealidad Horizontal

(Fuente Propia)

#### 4.2.1 Prueba de resolución del transductor (Ver 3.10.1.3)

Para poder realizar las evaluaciones de linealidad es preciso realizar prueba de resolución a los transductores utilizados, esta prueba se realizó con el bloque IIW tipo 2, el transductor utilizado es capaz de detectar y distinguir las tres distancias del bloque IIW tipo 2 como muestran la figura

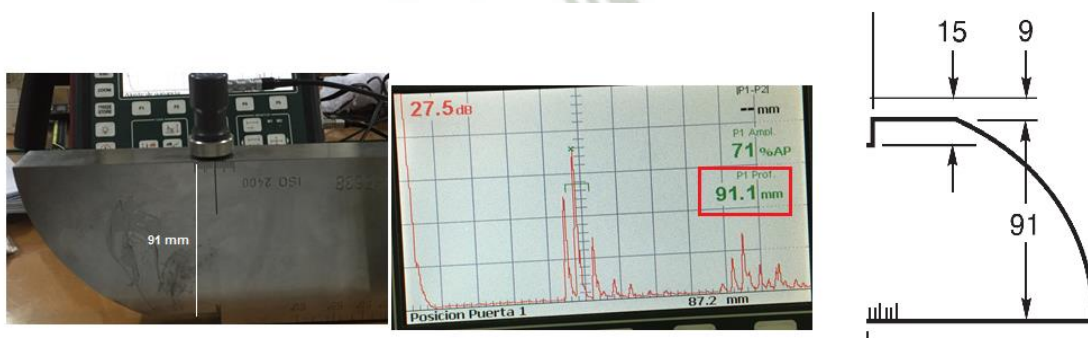


Figura 4-1 Resolución del equipo

(Fuente Propia)

#### 4.2.2 Desarrollo de procedimiento.

Se realizó acoplamiento entre el bloque de Calibración IIW tipo 2 y el transductor (UCSM-T-001) , obteniendo 5 reflexiones de pared posterior como lo muestra la figura 4.2, Se ajusta la primera y la última reflexión a sus propias locaciones.

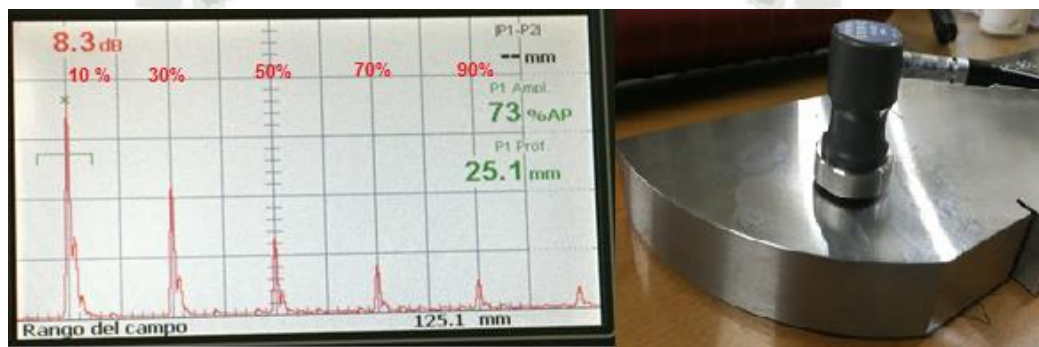


Figura 4-2: Obtención de 5 Reflexiones de Pared Posterior

(Fuente Propia)

El cuadro 4.1 registra los datos obtenidos y la variación entre cada una de las reflexiones

Tabla 4-1: Reflexiones Obtenidas en Prueba de Linealidad Horizontal

Reflexion	1ra	2da	3ra	4ta	5ta
% de pantalla	10%	30%	50%	70%	90%

Los resultados obtenidos muestran que la variación entre las reflexiones es de 0 %, todas difieren 20% entre consecutivas, los valores obtenidos satisfacen los requerimientos del código AWS D1.1/ D1.1M:2010 siendo el máximo aceptable 2%.

### 4.3 Procedimiento para evaluación de rango de precisión en dB. (Ver 2.11.2)

En esta evaluación se utilizó el patrón de prueba, Bloque DS (Distancia sensibilidad), acoplando el transductor en la posición “T” mostrada en la figura 3.13 y obteniendo las reflexiones que se muestran en la figura 3.6, y se utiliza el formato de calibración F-01 del anexo B.

Se siguió la secuencia que detalla en la figura

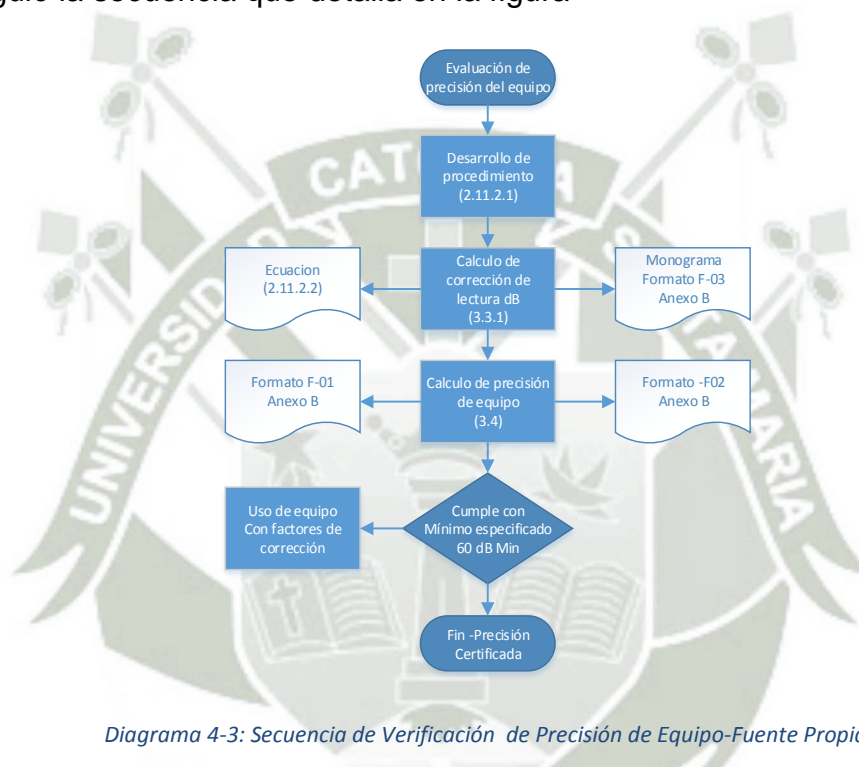


Diagrama 4-3: Secuencia de Verificación de Precisión de Equipo-Fuente Propia

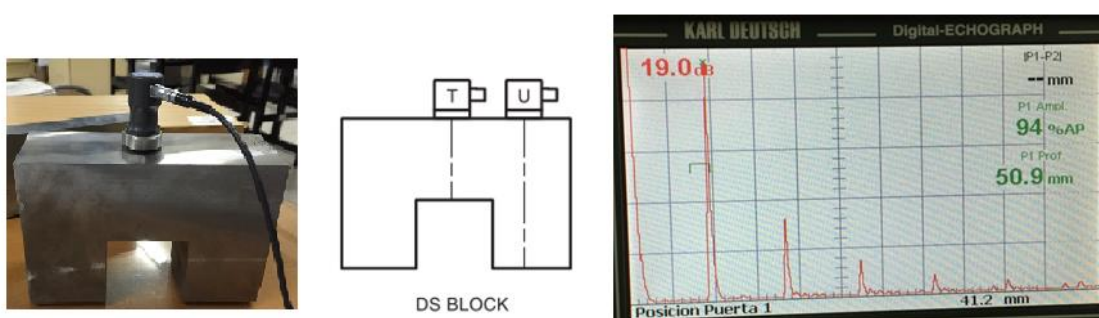


Figura 4-3: Evaluación de Precisión en dB

(Fuente Propia)

Se posiciona la primera reflexión obtenida en la mitad horizontal de la pantalla, se posiciono la reflexión cerca al 40% de la altura de la pantalla como muestra la figura en la posición T mostrada en la figura.

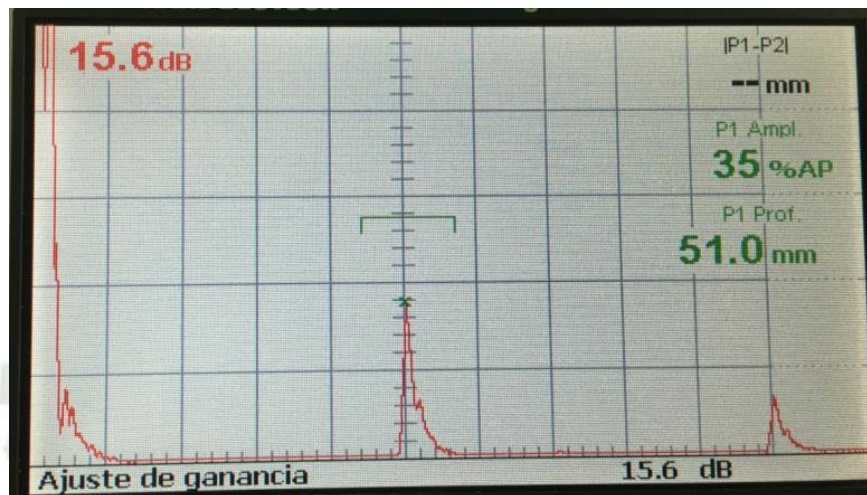


Figura 4-4: Primera Reflexión – Precisión

(Fuente Propia)

Se mueve el transductor hacia la posición “U” mostrada en la figura 3.13 y figura 4.3, regular la altura de la reflexión hasta que llegue al 40%, luego se incrementa la amplitud del sonido en 6dB , la altura de la amplitud se eleva al 80% aproximadamente, se tomó nota de los dB actuales con los que inspeccionamos el bloque y se anotan en el formato F-01 como “a”, también se toma nota el % de altura de la reflexión como “b” .

Se repitió este proceso hasta alcanzar los 60 dB como mínimo especificado por el código AWS D1.1/ D1.1M:2010 ,

Los datos “a” y “b” obtenidos de las lecturas se muestran en la Tabla 4.2.

Tabla 4-2: Valores "a" y "b" evaluación de Precisión

(Fuente Propia)

Row	Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
a	dB Reading	9.0	15.0	21.0	27.0	33.0	39.0	45.0	51.0	57.0	63.0	69.0	75.0
b	Display Height	79.0	81.0	74.0	78.0	79.0	81.0	74.0	81.0	81.0	76.0	77.0	77.0

Para calcular la corrección de lectura se pueden usar 2 técnicas, estipuladas por el código AWS D1.1/ D1.1M:2010.

#### 4.3.1.1 Cálculo de corrección de lectura por método (Ecuación-Decibeles)

Para este cálculo se utilizó la ecuación dada en 3.11.2.2

$$dB_2 - dB_1 = 20 \times \text{Log} \frac{\%_2}{\%_1}$$

$$dB_2 = 20 \times \text{Log} \frac{\%_2}{\%_1} + dB_1$$

Obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 4.3 como "c".

Tabla 4-3: Evaluación de Precisión dB- Ecuación

(Fuente Propia)

Row	Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
a	dB Reading	9.0	15.0	21.0	27.0	33.0	39.0	45.0	51.0	57.0	63.0	69.0	75.0
b	Display Height	79.0	81.0	74.0	78.0	79.0	81.0	74.0	81.0	81.0	76.0	77.0	77.0
c	Corrected Reading	8.9	14.7	21.5	27.0	32.9	38.7	45.5	50.7	56.7	63.2	69.1	75.1

#### 4.3.1.2 Cálculo de corrección de lectura por método (Nomógrafo)

Para este cálculo se utilizó el formato F-03 del anexo B, con los datos obtenidos en el apartado 4.3 y mostrados en la tabla 4.2, se realiza el procedimiento explicado en 3.11.2.4, en la figura 3.7 se detalla el primer cálculo realizado y los datos obtenidos se detallan en el cuadro 4.4 como "c".

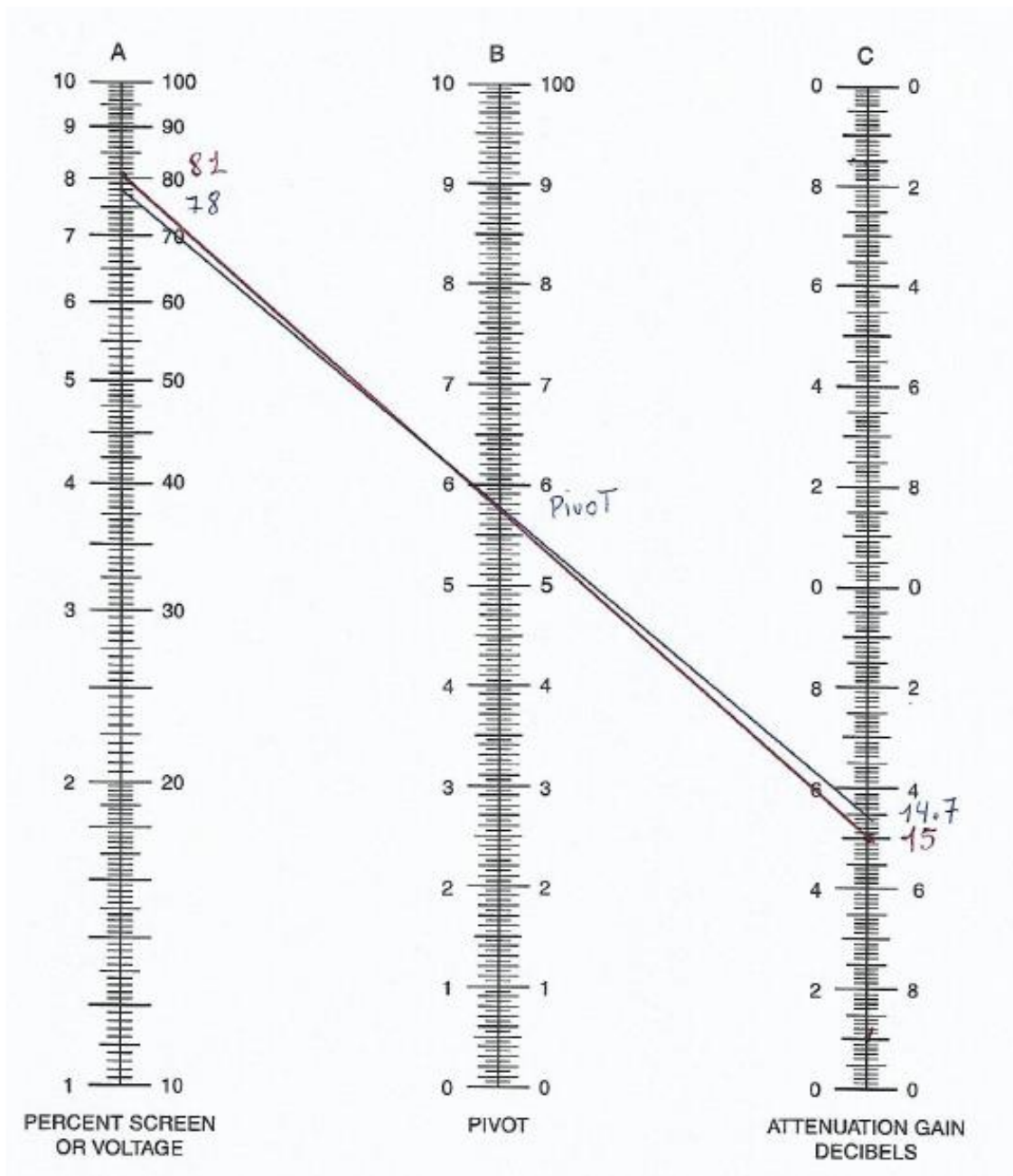


Figura 4-5: Aplicación de Nomograma

Tabla 4-4: Valores "c" Evaluación de Precisión dB- Nomografo

(Fuente Propia)

Row	Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
a	dB Reading	9.0	15.0	21.0	27.0	33.0	39.0	45.0	51.0	57.0	63.0	69.0	75.0
b	Display Height	79.0	81.0	74.0	78.0	79.0	81.0	74.0	81.0	81.0	76.0	77.0	77.0
c	Corrected Reading	8.9	14.7	21.5	27.0	32.9	38.7	45.5	50.7	56.7	63.2	69.1	75.1

### 4.3.2 Cálculo de rango de precisión del equipo.

Con los datos tabulados en el Formato F-01, y el procedimiento dado en 3.11.2 se obtuvo los datos mostrados en la tabla 4.5, de donde se calcula moviéndose horizontalmente por izquierda y derecha buscando el lapso por el cual los valores mayores y menores de error dB colectivo se mantengan o sean menores en 2 dB, los espacios entre estos valores se contaron se restó 1 y se multiplica el restante por 6, obteniendo 66 dB de precisión, este dato obtenido es aceptable ya que el código estipula como mínimo 60 dB.

Tabla 4-5: Cálculo de Precisión del Equipo

(Fuente Propia)

Row	Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
a	<b>dB Reading</b>	9.0	15.0	21.0	27.0	33.0	39.0	45.0	51.0	57.0	63.0	69.0	75.0
b	<b>Display Height</b>	79.0	81.0	74.0	78.0	79.0	81.0	74.0	81.0	81.0	76.0	77.0	77.0
c	<b>Corrected Reading</b>	8.9	14.7	21.5	27.0	32.9	38.7	45.5	50.7	56.7	63.2	69.1	75.1
d	<b>dB Error</b>	0.1	0.3	-0.5	0.0	0.1	0.3	-0.5	0.3	0.3	-0.2	-0.1	-0.1
e	<b>Collective Error</b>	-0.1	-0.2	-0.5	0.0	0.1	0.4	-0.1	0.2	0.5	0.3	0.1	0.0

Con los datos de la tabla 4.5 se graficó una curva en el formato F-02, siguiendo el procedimiento establecido en 3.11.2.1 acápites (16) y (17), la figura 4.6 muestra la curva, el rectángulo sobre la curva de 2dB de altura representa el rango de precisión del equipo, que coincide con los datos obtenidos en la tabla 4.5.

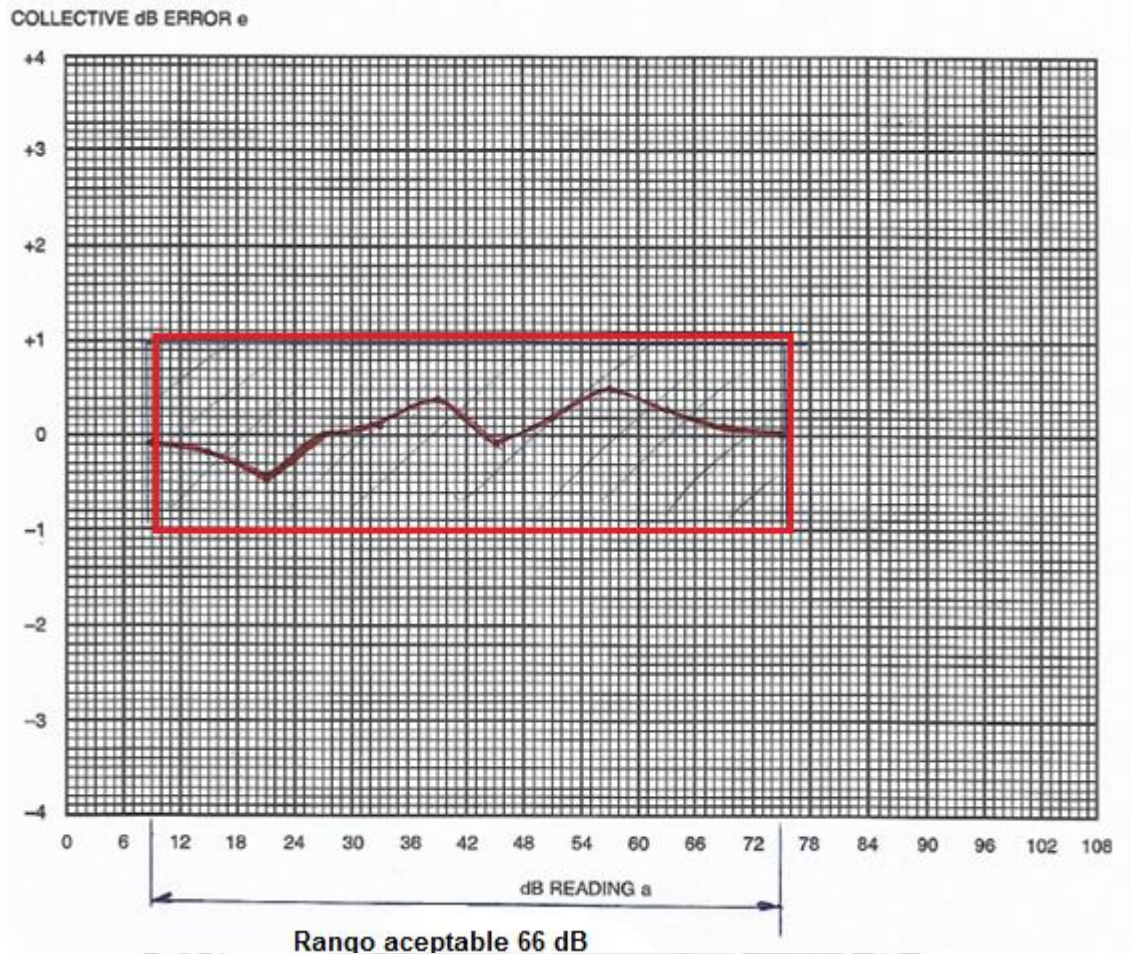


Figura 4-6: Curva Precisión de Equipo

(Fuente Propia)

#### 4.4 Procedimiento para Evaluación de reflexiones internas de transductor. (Ver 3.11.3)

Tipo de transductor: Haz angular

Angulo: 70°

Bloque IIW Tipo 2 N° Serie Bloque: 5338 (Ver certificado en anexo C)

Certificado Calibración: 59108 (Ver certificado en Anexo C)

Se realizó procedimiento detallado en 3.6.5 y 3.19.2.3 se calibra el equipo para barrido horizontal como se aprecia en la figura 4.7, obteniendo como dB de nivel de referencia (42)

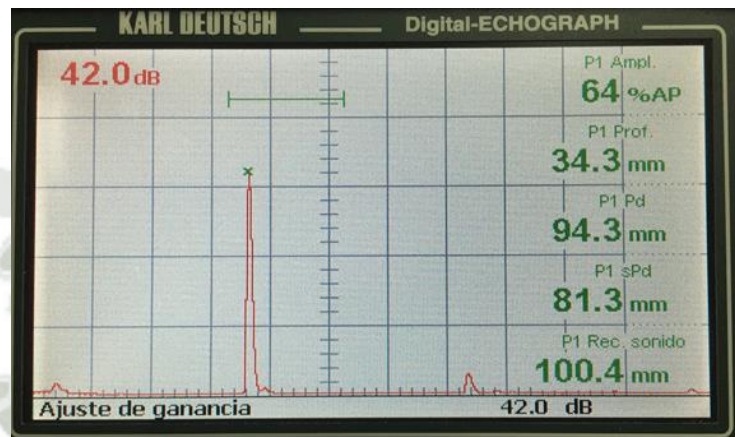


Figura 4-7: Evaluación de reflexiones internas del transductor-1

(Fuente Propia)

Se retira el transductor del bloque de calibración y se incrementa 20 dB sobre el nivel de referencia usado en la calibración de barrido horizontal (42dB+20dB =62 dB).

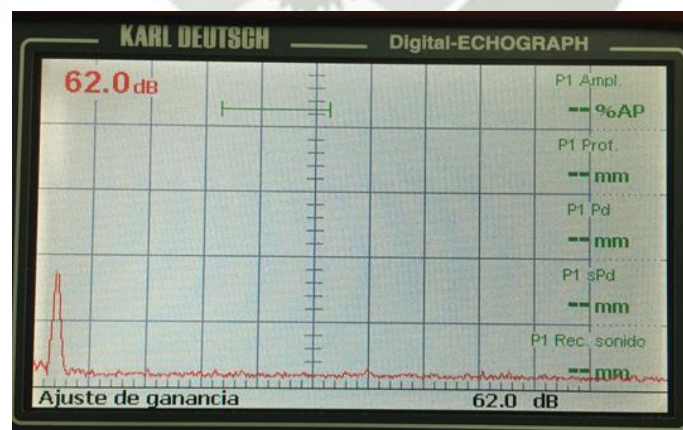


Figura 4-8: Evaluación d reflexiones internas-2

(Fuente Propia)

Se revisó la pantalla del equipo y no se encuentra indicaciones más allá de 12 mm de recorrido del sonido, con este resultado el transductor angular utilizado cumple con las especificaciones del código AWS D1.1/ D1.1M:2010.

#### **4.5 Elaboración de procedimiento de soldadura bajo código estructural AWS D1.1M: 2010.**

Se realizaron dos procedimientos de soldadura en acero ASTM A36 siguiendo los lineamientos establecidos por el código AWS D1.1M:2010 que es la publicación vigente a la fecha de presentación de esta tesis, se eligieron 02 tipos de junta.

Los procedimientos debidamente membretados firmados y certificados se encuentran en el Anexo &&

- Unión soldada N°1
  - Tipo de Junta: Butt Joint
  - Tipo de soldadura: Single V Groove.
  - Junta precalificada: B-U2
- Unión Soldada N°2
  - Tipo de junta: T-Joint
  - Tipo de soldadura: Fillet Weld
  - Junta precalificada.

##### **4.5.1 Procedimiento de soldadura para Unión soldada en canal y a tope.**

Se muestra el procedimiento de soldadura con el cual se realizó la unión 1.

PECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) PRECALIFICADO <u> X </u> CALIFICADO POR PRUEBA _____	
Proceso(s) de soldadura: <b>SMAW</b>	Identificación #: <b>UCSM-PPIMEM-001</b>
Soporte PQR N°(s): <b>PRECALIFICADO</b>	Revisión <b>1</b> Fecha <b>21/Jul/2015</b>
<b>DISEÑO DE LA JUNTA USADA</b> Tipo: <b>Ver Figuras 1</b> (Todas las medidas en milímetros) Backing: <b>No se requiere</b>	Autorizado por <b>Ing Jorge Castro</b> Tipo: <b>Manual</b>
<b>METAL BASE</b> Especificación del material: <b>ASTM A 36</b> Espesor: <b>Plancha</b> A tope: <b>10</b>	<b>POSICIONES PERMITIDAS</b> Posición a tope: <b>Vertical</b> Progresión vertical: <b>Ascendente</b>
<b>METAL DE APORTE</b> Especificación AWS: <b>A5.1</b> Clasificación AWS: <b>E 7018 (Supercito)</b>	<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS</b> Corriente: <b>Continua</b> Polaridad: <b>Electrodo al Polo Positivo</b>
<b>TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO E INTERPASE</b> Precalentamiento e interpase mínima <b>10 °C</b> Interpase, máxima <b>260 °C</b>	<b>TECNICA</b> Arrastre u oscilación: <b>Ambas</b> Pasada simple o múltiple: <b>El que requiera</b> Limpieza Inicial: <b>Escobillado y/o esmerilado</b> Limpieza entre pasadas: <b>Escobillado y/o esmerilado</b> Máximo espesor pase de raíz y pase de relleno: <b>5</b> Máximo cateto pase simple: <b>NA</b>
<b>TRATAMIENTO TERMICO POS SOLDADURA</b> Ninguno	<b>FIGURA 2: Numero y orden de pases de soldadura.</b>
<b>PARAMETROS DE SOLDEO</b>	<p>Backgougued BU2</p>
<b>Diámetro</b>   <b>Amperaje (A)</b>	
3.25   100 - 120	
<b>Voltaje (V)</b>   <b>Velocidad avance (mm/min)</b>	
21-23   60-80	
<b>FIGURA 1 : Tipo de Junta , medidas y tolerancias.</b>	
<b>Autorizado por:</b>	<b>Certificado por:</b>

(Fuente Propia)

#### **4.6 Elaboración de procedimiento para inspección de uniones soldadas por Ultra Sonido.**

Se establece procedimiento para la prueba por Ultrasonido para inspección de uniones soldadas.

##### **4.6.1 Alcance**

- Es aplicable para la prueba Ultrasónica de soldadura en canal y zona afectada térmicamente con espesores de 12.27 mm.
- Este procedimiento no puede ser usado para pruebas de conexiones tubulares en T, Y o K.
- Para detectar posibles porosidades vermiculares, se sugiere utilizar el método radiográfico en soldaduras realizadas con electro escoria y electro gas.
- Este procedimiento no debe ser empleado para probar metales base, sin embargo, discontinuidades relacionadas al proceso de soldadura adyacente en el metal base las cuales podrían no ser aceptables deben ser reportadas.

##### **4.6.2 Documentos de referencia**

- STRUCTURAL WELDING CODE-STEEL -AWS D1.1/D1.1M:2010 sección & parte F.

##### **4.6.3 Requisitos del personal**

- El personal que realice la prueba Ultrasónica debe estar calificado y certificado como nivel II, en conformidad con el procedimiento SNT-TC-1A.

- El personal calificado Nivel I podrá realizar la prueba siempre y cuando sea bajo la supervisión directa de un inspector Nivel II.
- La evaluación de indicaciones y el informe de resultados lo debe realizar un inspector nivel II calificado y certificado en evaluación Ultrasónica.

#### 4.6.4 Extensión de la prueba

- Para realizar la inspección Ultrasónica se deberá proporcionar información que indique tipo, categoría y localización de las uniones soldadas a ser inspeccionadas.
- Las juntas soldadas deben ser inspeccionadas en toda su longitud a menos que se especifique una prueba parcial o por puntos.
- Cuando se especifique una prueba parcial, la longitud y el área de las soldaduras deben ser claramente designadas.
- Cuando se especifique una prueba por puntos, el número de puntos de cada unión soldada a ser inspeccionada debe ser claramente designado.
- Cada punto de prueba debe cubrir al menos 100mm de longitud de la soldadura.
- Cuando la prueba por puntos revele indicaciones de discontinuidades rechazables, la extensión de estas discontinuidades debe ser examinada.
- El personal que realice la prueba deberá tener acceso a información relevante relacionada con la geometría de la junta soldada, espesor del material y el proceso de soldadura aplicado.

#### 4.6.5 Equipo

- El equipo Ultrasónico debe ser del tipo pulso-eco, disponible para usar transductores cuya frecuencia este entre 1 a 6 MHz, la pantalla debe tener representación Scan –A.
- La linealidad horizontal del equipo de prueba deberá ser calificada del total de la distancia del haz Ultrasónico a ser usada en la prueba.
- El transductor de haz recto debe tener un área efectiva no menor a 323 mm<sup>2</sup> ni mayor a 645mm<sup>2</sup>, el transductor debe ser redondo o cuadrado, la frecuencia del transductor debe ser de 2 a 2.5 MHz.
- Los transductores de haz angular pueden estar compuestos de dos partes, transductor y zapata o de una unidad integral, la frecuencia debe ser entre 2 a 2.5 MHz.
- El cristal del transductor debe ser cuadrado o rectangular las medidas pueden variar de 16 a 25 mm de ancho y de 16 a 21 mm de alto, la máxima relación de ancho- alto debe ser 1.2 a 1 y la mínima relación 1 a 1, el transductor utilizado en esta sección de la tesis es (UCSM-T-002),de cristal de 16 mm x 16mm, de frecuencia 2.25 Mz y de 70°.
- El transductor debe reproducir un haz Ultrasónico en el material a probar de +- 2° para ángulos de 70°, 60°, 45°.
- Las dimensiones del transductor deben ser tal que la distancia del borde de apoyo al punto de salida del haz Ultrasónico no exceda de 25 mm.

#### 4.6.6 Bloques de Referencia.

- Para la calibración en distancia y sensibilidad se utilizara el block IIW. Otros bloques equivalentes al IIW pueden ser utilizados como referencia para el nivel de sensibilidad del instrumento/transductor.
- El uso de la esquina como reflector para fines de calibración está prohibido.
- La combinación instrumento/ transductor debe tener la resolución de tres barrenos en block de resolución RC. La resolución se evaluará con los controles del instrumento colocados en posición normal de prueba y llevado las indicaciones de los barrenos al 50% de la altura total de la pantalla. La resolución debe ser lo suficiente para distinguir al menos los picos de las tres indicaciones.

#### 4.6.7 Verificación del Equipo

- La linealidad del equipo debe ser recalificada después de 40 horas de uso en cada rango de distancia que el instrumento fue utilizado y este no debe tener una variación en el ancho de la pantalla mayor del 2%.
- El control de ganancia del instrumento debe ser verificado en su calibración cada dos meses y su exactitud debe ser de  $\pm 1$  dB.
- Las reflexiones internas máximas de cada transductor deben ser verificadas cada 40 horas de uso.
- Utilizando el block IIW, cada transductor angular debe ser verificado cada 8 horas para determinar que la cara de contacto es plana, que el punto de salida del sonido es correcto y que el haz angular cumple no tenga variación mayor a  $\pm 2$  para ángulos de  $70^\circ, 60^\circ, 45^\circ$ .

#### 4.6.8 Calibración para prueba

- Todas las calibraciones y pruebas debes ser realizada con el control de rechazo apagado.
- La calibración para sensibilidad y barrido horizontal debe ser realizada por el operador de Ultrasonido justo antes y en lugar de la prueba de cada soldadura.
- Es necesario recalibrar después de un cambio de operador, cada 30 minutos o cuando los circuitos eléctricos se vean afectados por cualquiera de lo siguiente.
- Cambio de transductor
- Cambio de batería
- Cambio en la salida eléctrica
- Cambio en el cable coaxial.
- Falla de la fuente de poder.
- La calibración para prueba con haz recto de metal base debe ser realizada con el transductor aplicado a la cara “A” del metal base y desarrollada como sigue:
- El barrido horizontal debe ser ajustado para una distancia de calibración de al menos dos espesores en la pantalla del equipo.
- La sensibilidad debe ser ajustada en un lugar libre de indicaciones y la primera reflexión de pared posterior debe estar del 50% de la altura total de la pantalla.
- La calibración para la prueba con haz angular se debe realizar como sigue:

- El barrido horizontal debe ser ajustado para representar la distancia angular del sonido usando el block IIW o un block alternativo .La calibración de la distancia deberá hacerse utilizando ya sea una escala de 5 pulgadas [125 mm] o de 10 pulgadas [250 mm] en el pantalla cualquiera sea apropiado. Sin embargo, si la configuración de la unión o del espesor evita un examen completo de la soldadura, en cada uno de estos ajustes, la calibración de la distancia deberá hacerse usando una escala o balanza de 5 pulgadas o 20 pulgadas [400 mm ó 500 mm], según se requiera.
- La sensibilidad del nivel de referencia cero utilizada para la evaluación de la discontinuidad (“b” en el informe de la prueba Ultrasónica del formato F-01 en el anexo B), debe obtenerse ajustando el control de ganancia y maximizando la señal de reflexión a nivel de referencia horizontal,  $b=49\text{dB}$  y referencia de amplitud 56%.

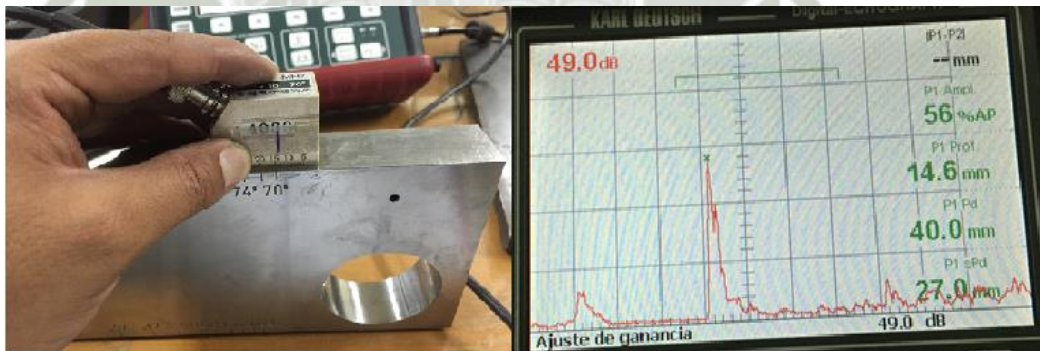


Figura 4-9: Sensibilidad -Nivel de Referencia

(Fuente Propia)

#### 4.6.9 Procedimiento de Prueba

- Deberá marcarse una Línea “X” para la localización de la discontinuidad sobre la cara de prueba de la estructura soldada en una dirección

paralela al eje de la soldadura. La distancia de localización perpendicular al eje de la soldadura deberá basarse en las figuras dimensionales en el detalle de planos y en las fallas usuales en la línea central de las soldaduras de uniones a tope, y siempre en las fallas corresponde a la cara cercana de un componente conector de T y las soldaduras de unión de esquina.

- Una “Y” acompañada con un número de identificación de soldadura deberá marcarse con claridad sobre el metal base adyacente a la soldadura que está sometida a la UT. Esta marca se utiliza generalmente para los siguientes propósitos:
  - Identificación de la soldadura.
  - Identificación de la cara A.
  - Mediciones de distancia y dirección ( + o - ) a partir de la línea “X”.
  - medición de la localización desde los extremos de la soldadura o bordes.
- Todas las superficies en las cuales una unidad de exploración deba examinar, deberá estar libre de salpicaduras, de soldaduras, suciedad, grasa, aceite (que no sean los que se utilizan como acoplamiento) pintura, escamas o laminillas suelta y deberán tener un contorno que permita el acoplamiento íntimo.
- El acoplante utilizado para la prueba debe ser glicerina o goma de celulosa mezclado con agua con una consistencia apropiada. Aceite ligero de maquinaria puede ser usado como acoplante en los blocks de calibración.

- El metal base completo a través del cual debe viajar el Ultrasonido para someter a prueba la soldadura, deberá testearse para verificar posibles laminaciones. Si cualquier área del metal base exhibe una pérdida total de la reflexión de pared posterior, o una indicación igual a o mayor que la altura de la reflexión de pared posterior original, su tamaño, localización y profundidad de la cara superficie A deberá determinarse y darse a conocer en el informe UT y deberá utilizarse un procedimiento alternativo de exploración de soldadura.
- El procedimiento utilizado para la evaluación del dimensionado del reflector será el de caída de 6db.
- Si una parte de la soldadura es inaccesible a las pruebas en conformidad con la **tabla 1**, debido a indicaciones laminares, la prueba puede ser conducida usando uno o más de los siguientes procedimientos alternativos, el que sea más conveniente.
  - Esmerilar la soldadura al ras del metal base.
  - Realizar pruebas por ambos lados cara “A” y “B”.
  - Otros transductores angulares deben ser usados.
- Las soldaduras deben ser examinadas usando transductores angulares y con el ángulo indicado en la **tabla 2.3 Anexo 1**. La sensibilidad debe ser incrementada del nivel de referencia para el rastreo de soldadura de acuerdo con la **tabla 2.1 o 2.2 del Anexo 1** respectivamente, aquel que sea aplicable para la prueba, en esta inspección consideraremos conexión no tubular cargada estáticamente.

Tabla 4-6: Incremento de Nivel de Referencia para carga estática

(Fuente AWS D1.1 : 2010)

Scanning Levels	
Sound path <sup>b</sup> in in. [mm]	Above Zero Reference, dB
through 2-1/2 [65 mm]	14
> 2-1/2 through 5 [65–125 mm]	19
> 5 through 10 [125–250 mm]	29
> 10 through 15 [250–380 mm]	39

<sup>b</sup> This column refers to sound path distance; NOT material thickness.

- El nivel de Rastreo debe ser como mínimo

$$b + 19dB = \text{Nivel de Rastreo}$$

$$49dB + 19dB = 68 \text{ db}$$

- El Angulo de prueba y procedimiento de rastreo será como indica en la tabla 2.3 del Anexo 1, teniendo en cuenta la unión que se inspeccionara es junta a tope (Butt Joint), el espesor de la probeta (12mm) con el Anexo Tablas, tabla 2.3 se determina el ángulo de escaneo de 70 °.

Weld Type	Material Thickness, in. [mm]									
	5/16 [8] to 1-1/2 [38]	> 1-1/2 [38] to 1-3/4 [45]	> 1-3/4 [45] to 2-1/2 [60]	> 2-1/2 [60] to 3-1/2 [90]	> 3-1/2 [90] to 4-1/2 [110]	> 4-1/2 [110] to 5 [130]	> 5 [130] to 6-1/2 [160]	> 6-1/2 [160] to 7 [180]	> 7 [180] to 8 [200]	
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Butt	I O	1 F	1G or 4 F	1G or 5 F	6 or 7 F	8 or 10 F	9 or 11 F	12 or 13 F	12 F	12 F

Tabla 4-7: Elección de Angulo de rastreo para el transductor.

(Fuente AWS D1.1 : 2010)

Area of Weld Thickness			
No.	Top Quarter	Middle Half	Bottom Quarter
1	70°	70°	70°

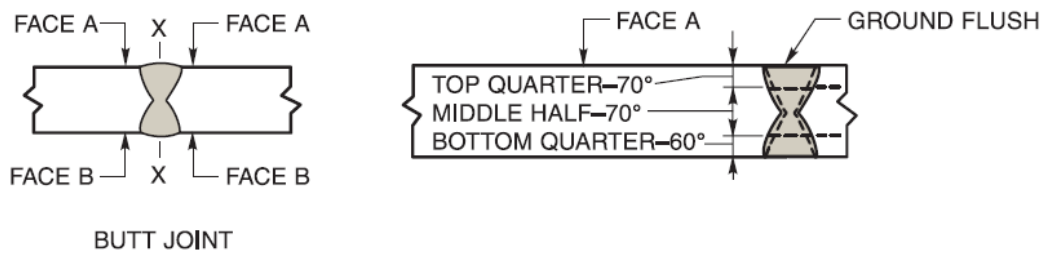


Figura 4-10: Angulo de rastreo idóneo

(Fuente AWS D1.1 : 2010)

- Todas las juntas soldadas a tope deben ser probadas de cada lado del axis de la soldadura. Juntas soldadas en C o en T deben ser probadas primeramente de un lado del axis. El rastreo debe ser el adecuado para detectar discontinuidades longitudinales y transversales.
- Cuando una indicación de discontinuidad aparece en la pantalla, la máxima indicación alcanzable de la discontinuidad debe ser ajustada para producir una reflexión de señal de nivel de referencia horizontal en la pantalla, y la lectura en dB del instrumento debe ser registrada como “a” (nivel de indicación).
- El factor de atenuación “c” en el reporte de prueba es obtenido por la sustracción de 25 mm. (1.0”) de la distancia angular ( recorrido del sonido) y multiplicado el resto por 2 si se usa el sistema de unidades U.S. o por 0.08 para el sistema de unidades S.I. Este factor debe ser redondeado al valor de dB más cercano. Valores fraccionarios menores

a 0.5 deben ser reducidos al nivel entero inferior y aquellos iguales o mayores a 0.5 dB deben ser incrementados al nivel entero superior.

- El valor de C depende de la ubicación del reflector en el viaje de recorrido del sonido

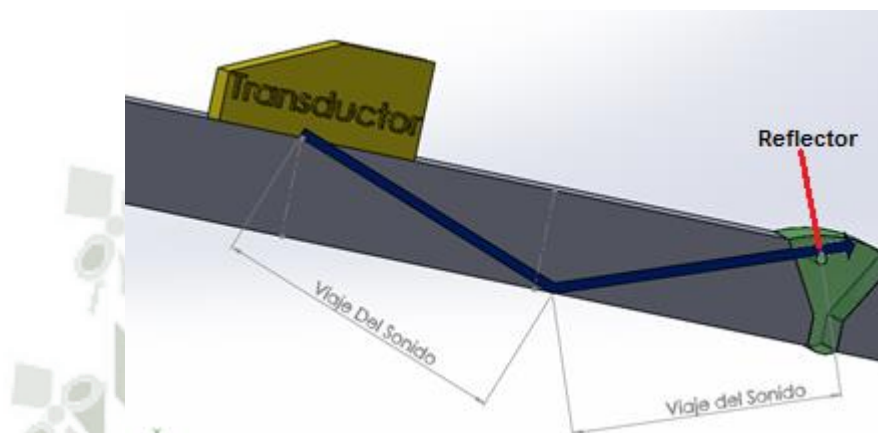


Figura 4-11: Determinación de viaje del sonido

(Fuente Propia)

- La clase de identificación “d” en el reporte de Ultrasonido esta presentado por la diferencia algebraica en dB entre el nivel de indicación y el nivel de referencia con el factor de atenuación y queda expresado como sigue de acuerdo al tipo de equipo (instrumento).
  - $a - b - c = d$  Instrumento con Ganancia en dB ... .. Tipo 1
  - $b - a - c = d$  Instrumento con atenuacion en dB ... .. Tipo 2
- El equipo con el que se realiza la inspección es del tipo 1
- La longitud de las fallas debe ser determinada por la técnica de caída de 6db, esto no aplica para indicaciones de clase “b”.
- Cada discontinuidad de la soldadura debe ser aceptada o rechazada con base en la clase de indicación y su longitud de acuerdo a la **tabla 2,**

**anexo 2** para estructuras con cargas estáticas, la tabla **3, anexo 3** para estructuras sometidas a carga dinámicas. Únicamente aquellas discontinuidades que son rechazadas deben ser registradas excepto que por documento contractual se designen soldaduras como “fractura crítica” incluyendo aquellas que estén arriba de 6db. Menos críticas que las rechazables, serán registradas.

- Cada discontinuidad rechazable debe ser indicada en la soldadura por marcado directo y este en toda su longitud. La profundidad de la indicación y si clase debe ser anotada en la parte más cercana del metal base.
- La evaluación de área de soldadura reparada y reexaminada debe ser tabulada en una nueva línea en el formato de reporte. Si en el reporte original se usan las letras R1, R2...Rn debe anexarse al número de indicación. Si un reporte adicional es usado, la letra será anexada al número de reporte.

## CAPITULO V

### 5 Desarrollo de Procedimientos

#### 5.1 Elaboración de Probeta para procedimiento de inspección.

Se soldó un cupón de soldadura de dimensiones 304.cm x 254 cm, utilizando el Procedimiento de Soldadura desarrollado en el capítulo 4.



*Figura 5-1: Cupón de Soldadura Soldado con WPS –UCSM-PPIMEM-001*

(Fuente Propia)

La inspección visual debe ser realizada antes, durante y después de realizada la unión Soldada.

#### 5.1.1 Antes de la soldadura, verificar:

- a) Preparación de la junta, dimensiones y limpieza.
- b) Dimensiones libres de láminas de respaldo, anillos o insertos consumibles.
- c) Alineamiento y encaje de las partes a ser soldadas.

- d) Proceso de soldadura y ajuste de máquina.
- e) Temperatura de precalentamiento especificada.
- f) Calidad de la soldadura de apuntalamiento

**5.1.2 Durante la soldadura, verificar:**

- a) Tratamiento de las soldaduras de apuntalamiento.
- b) Calidad del pase de raíz y las capas de soldadura siguientes.
- c) Temperatura de precalentamiento e interpase adecuada.
- d) Secuencia de pases de soldadura.
- e) Limpieza interpase.
- f) Condiciones de la raíz previa a la soldadura del segundo lado.
- g) Distorsión.
- h) Conformidad con el procedimiento de soldadura aplicable.

**5.1.3 Después de la soldadura, verificar:**

- a) Apariencia final de la soldadura.
- b) Tamaño final de la soldadura.
- c) Extensión de la soldadura.
- d) Discontinuidades: fisuras, mordeduras, traslape, porosidad e
- e) Inclusiones de escoria expuestas, refuerzo inaceptable y no uniformidad de las caras de soldadura.

Se realizó inspección visual con forme a la tabla 6.1 del código AWS D1.1, no se encontró defectos.

Tabla 5-1: Criterio de aceptación visual

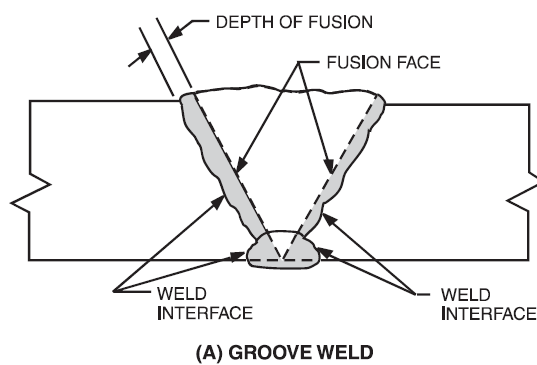
(Fuente AWS D1.1)

Discontinuity Category and Inspection Criteria	Statically Loaded Nontubular Connections	Cyclically Loaded Nontubular Connections	Tubular Connections (All Loads)										
<b>(1) Crack Prohibition</b> Any crack shall be unacceptable, regardless of size or location.	X	X	X										
<b>(2) Weld/Base-Metal Fusion</b> Thorough fusion shall exist between adjacent layers of weld metal and between weld metal and base metal.	X	X	X										
<b>(3) Crater Cross Section</b> All craters shall be filled to provide the specified weld size, except for the ends of intermittent fillet welds outside of their effective length.	X	X	X										
<b>(4) Weld Profiles</b> Weld profiles shall be in conformance with 5.24.	X	X	X										
<b>(5) Time of Inspection</b> Visual inspection of welds in all steels may begin immediately after the completed welds have cooled to ambient temperature. Acceptance criteria for ASTM A 514, A 517, and A 709 Grade 100 and 100 W steels shall be based on visual inspection performed not less than 48 hours after completion of the weld.	X	X	X										
<b>(6) Undersized Welds</b> The size of a fillet weld in any continuous weld may be less than the specified nominal size (L) without correction by the following amounts (U): <table style="margin-left: auto; margin-right: auto; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">L,</td> <td style="text-align: center;">U,</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><u>specified nominal weld size, in. [mm]</u></td> <td style="text-align: center;"><u>allowable decrease from L, in. [mm]</u></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">≤ 3/16 [5]</td> <td style="text-align: center;">≤ 1/16 [2]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1/4 [6]</td> <td style="text-align: center;">≤ 3/32 [2.5]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">≥ 5/16 [8]</td> <td style="text-align: center;">≤ 1/8 [3]</td> </tr> </table>	L,	U,	<u>specified nominal weld size, in. [mm]</u>	<u>allowable decrease from L, in. [mm]</u>	≤ 3/16 [5]	≤ 1/16 [2]	1/4 [6]	≤ 3/32 [2.5]	≥ 5/16 [8]	≤ 1/8 [3]	X	X	X
L,	U,												
<u>specified nominal weld size, in. [mm]</u>	<u>allowable decrease from L, in. [mm]</u>												
≤ 3/16 [5]	≤ 1/16 [2]												
1/4 [6]	≤ 3/32 [2.5]												
≥ 5/16 [8]	≤ 1/8 [3]												
<b>(7) Undercut</b> (A) For material less than 1 in. [25 mm] thick, undercut shall not exceed 1/32 in. [1 mm], with the following exception: undercut shall not exceed 1/16 in. [2 mm] for any accumulated length up to 2 in. [50 mm] in any 12 in. [300 mm]. For material equal to or greater than 1 in. thick, undercut shall not exceed 1/16 in. [2 mm] for any length of weld. (B) In primary members, undercut shall be no more than 0.01 in. [0.25 mm] deep when the weld is transverse to tensile stress under any design loading condition. Undercut shall be no more than 1/32 in. [1 mm] deep for all other cases.	X												
<b>(8) Porosity</b> (A) CJP groove welds in butt joints transverse to the direction of computed tensile stress shall have no visible piping porosity. For all other groove welds and for fillet welds, the sum of the visible piping porosity 1/32 in. [1 mm] or greater in diameter shall not exceed 3/8 in. [10 mm] in any linear inch of weld and shall not exceed 3/4 in. [20 mm] in any 12 in. [300 mm] length of weld. (B) The frequency of piping porosity in fillet welds shall not exceed one in each 4 in. [100 mm] of weld length and the maximum diameter shall not exceed 3/32 in. [2.5 mm]. Exception: for fillet welds connecting stiffeners to web, the sum of the diameters of piping porosity shall not exceed 3/8 in. [10 mm] in any linear inch of weld and shall not exceed 3/4 in. [20 mm] in any 12 in. [300 mm] length of weld. (C) CJP groove welds in butt joints transverse to the direction of computed tensile stress shall have no piping porosity. For all other groove welds, the frequency of piping porosity shall not exceed one in 4 in. [100 mm] of length and the maximum diameter shall not exceed 3/32 in. [2.5 mm].	X												
		X	X										

Note: An "X" indicates applicability for the connection type; a shaded area indicates non-applicability.

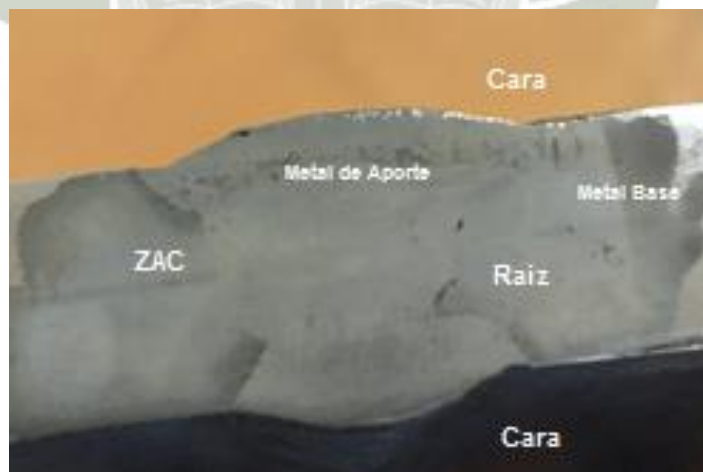
## 5.2 Ensayo de Macro ataque

Para diferenciar la zona de soldadura de la del material base y poder localizar la raíz, cara de fusión y la interface de soldadura, se atacó con solución de ácido Nítrico en concentración del 10 % en Alcohol, esta es la concentración recomendada por el Anexo Informativo B en el código de Referencia AWS B2.1.



*Figura 5-2: Zonas de la Unión Soldada*

(Fuente AWS A3.0:2010)



*Figura 5-3: Macro ataque Realizado a Cupón de Soldadura*

(Fuente Propia)

### 5.3 Inclusión de reflector guía y trazado de longitudes de rastreo

Se realizó una perforación de diámetro 1.6mm por ser este el diámetro de referencia en el bloque de calibración y se ejecuta los trazos para identificar las longitudes de rastreo basándonos en los posibles reflectores generados que pudiesen encontrarse en el tipo de junta como por ejemplo, porosidad, falta de fusión y fisuración.

Determinado el ángulo de inspección de 70° se calculó la distancia que recorrerá el sonido y la distancia de salto del haz de sonido y en base a este cálculo se dibujan los trazos que son los que el haz de sonido recorrerá cubriendo el total del área transversal

Calculo de distancia de salto

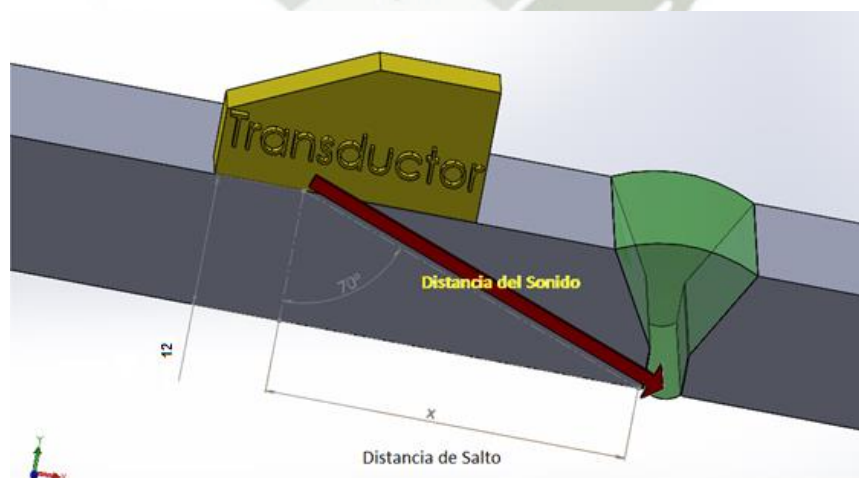
$$\tan(70) = \frac{x}{12mm}$$

$$x = \text{Tan } 70 \times 12$$

$$x = 32.97$$

*Ecuación 5-1: Determinación de distancia de Salto*

Distancia de salto con una pierna para analizar la raíz de la unión soldada



*Figura 5-4: Distancia de Salto con una Pierna para Analizar la Raíz de la Unión Soldada*

(Fuente Propia)

Distancia de salto con dos piernas para analizar la cara de la soldadura

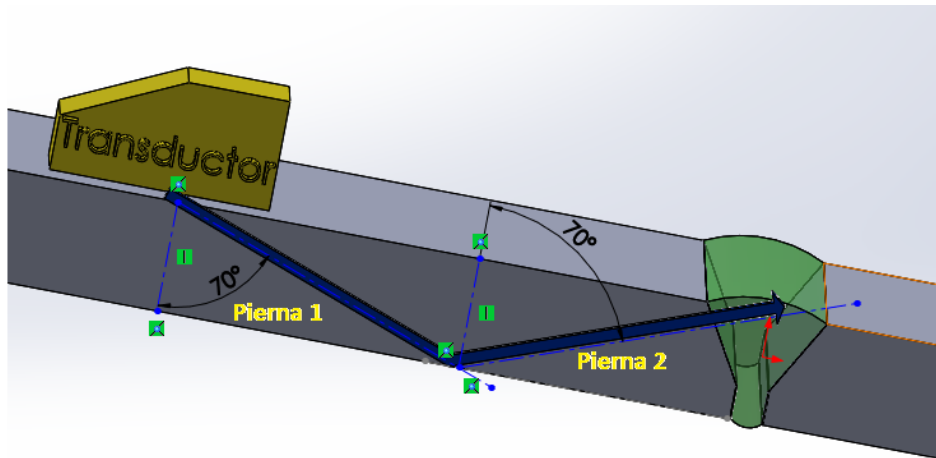


Figura 5-5: Distancia de Salto con Dos Piernas para Analizar la Cara de la Unión Soldada  
(Fuente Propia)

Movimiento del transductor para inspeccionar la junta soldada desde la raíz hasta a cara.

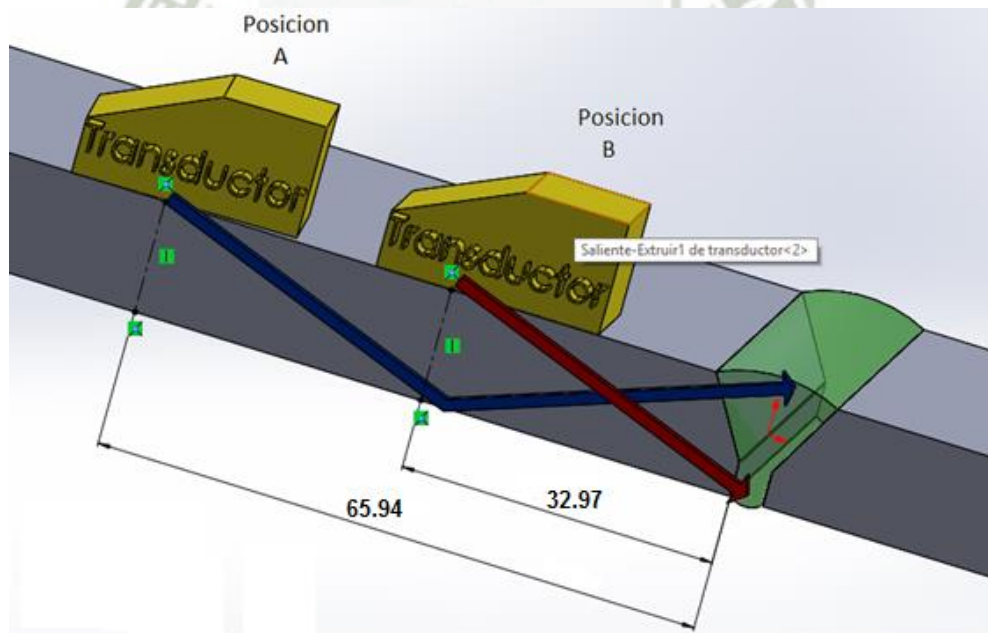


Figura 5-6: Distancias Calculadas para Movimiento de Transductor  
(Fuente Propia)

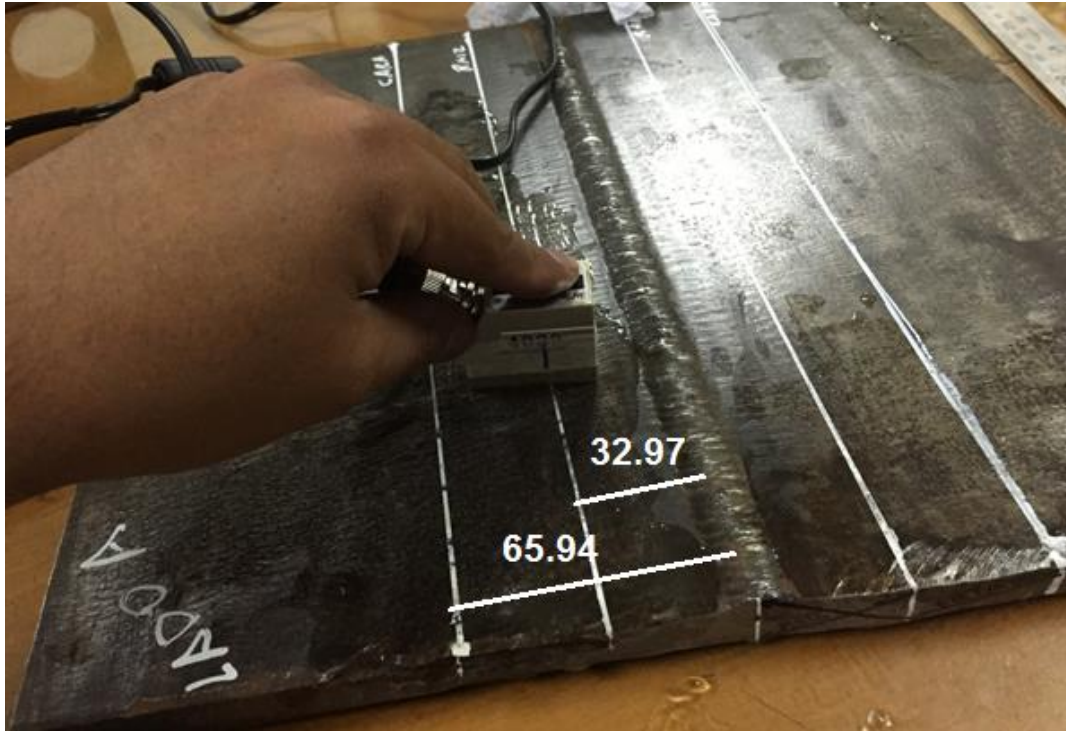


Figura 5-7: Trazos Generados en Cupón de Soldadura-1

(Fuente Propia)<sup>5</sup>

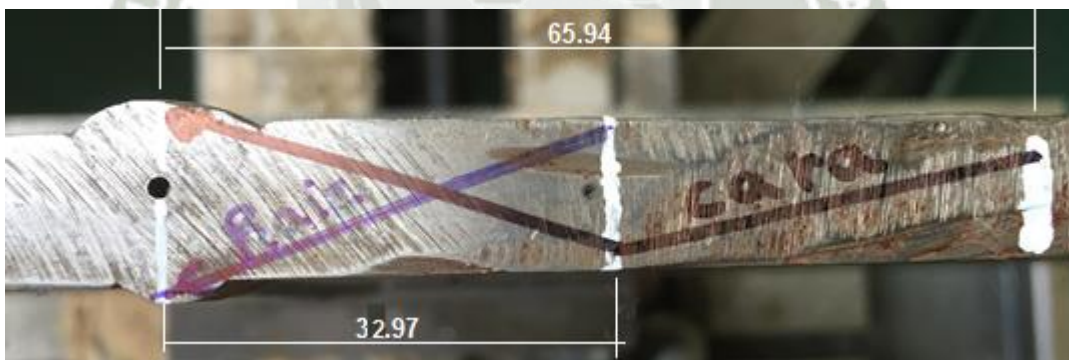



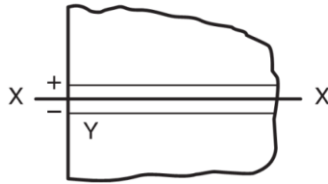
Figura 5-8: Trazos Generados en Cupón de Soldadura-2

(Fuente Propia)

#### 5.4 Creación de Formato de Inspección y distancia de Barrido.

Con los datos recopilados se establece el formato F-04 de reporte de ensayo UT en Unión Soldada, y las distancias de barrido.

F-04	Reporte de ensayo UT en Unión Soldada	
------	---------------------------------------	---



Proyecto	Reporte N°
Identificación de Junta	
Espesor del material	
Junta de soldadura AWS	
Procesos de soldadura	
Equipo Utilizado	
Transductor	

Item	Número de Indicación	Angulo de Transductor	Desde Cara	N° Pierna	Decibeles dB				Discontinuidad				Observaciones	
					Nivel de Indicación	Nivel de Referencia	Factor de Atenuación	Ratio de Indicación	Longitud	Distancia Angular	Profundidad desde cara "A"	Distancia		
												Desde X		Desde Y
a	b	c	d											
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														

Nosotros los abajo firmantes, certificamos que las declaraciones en este formato son correctas y que las soldaduras fueron preparadas y testeadas conforme los requerimientos de la Cladula 6, parte F de AWS D1.1 /D1.1 M 2010.

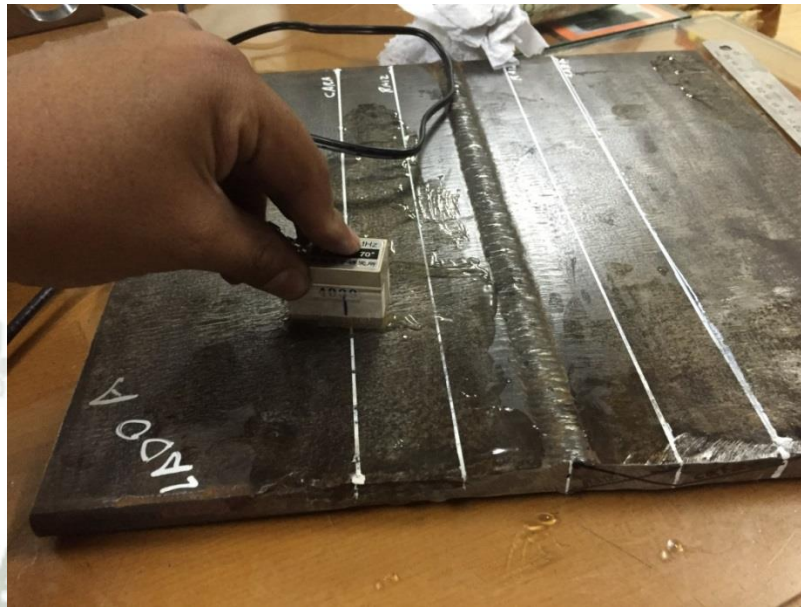
Fecha de ensayo: Diciembre 20 del 2015	Contratista: Tesis José Belón Corrales
Inspeccionado por:	Autorizado por:
	Fecha:

Nota: Este formato solo es aplicable a estructuras no tubulares estáticamente o cíclicamente cargadas, no es aplicable a estructuras tubulares.

Anexo - B

### 5.5 Evaluación de Unión Soldada con procedimiento de Inspección por Ultrasonido

Siguiendo el procedimiento establecido en el capítulo 5 se realiza la inspección de la unión soldada en material ASTM A36, espesor 12 mm, tipo de junta en V, nombre de la junta TESIS-JBC-UCSM



*Figura 5-9: Inspección de cupón de Soldadura*

(Fuente Propia)

Se muestra el reporte de inspección a continuación donde no se encontró reflectores.

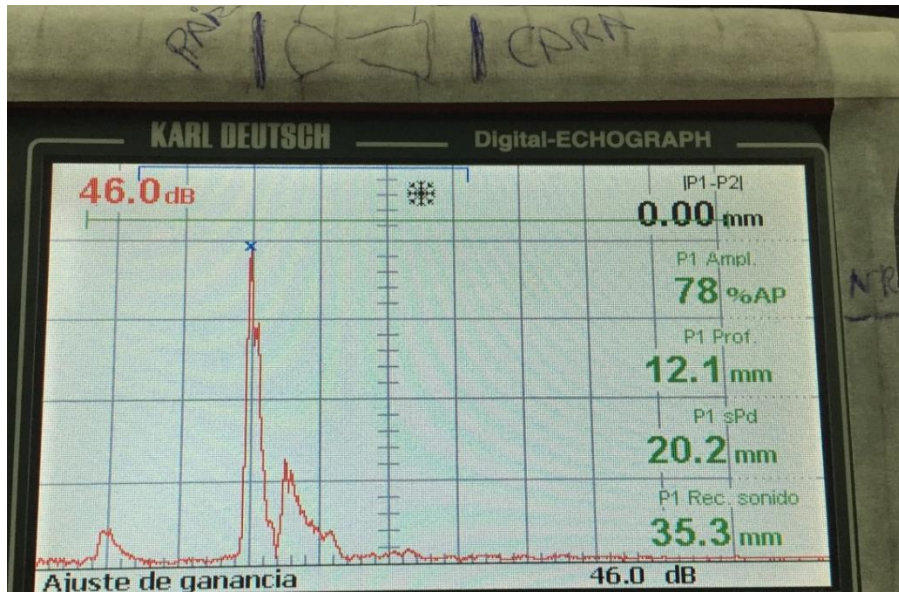


Figura 5-10: Detección de Raíz de Soldadura

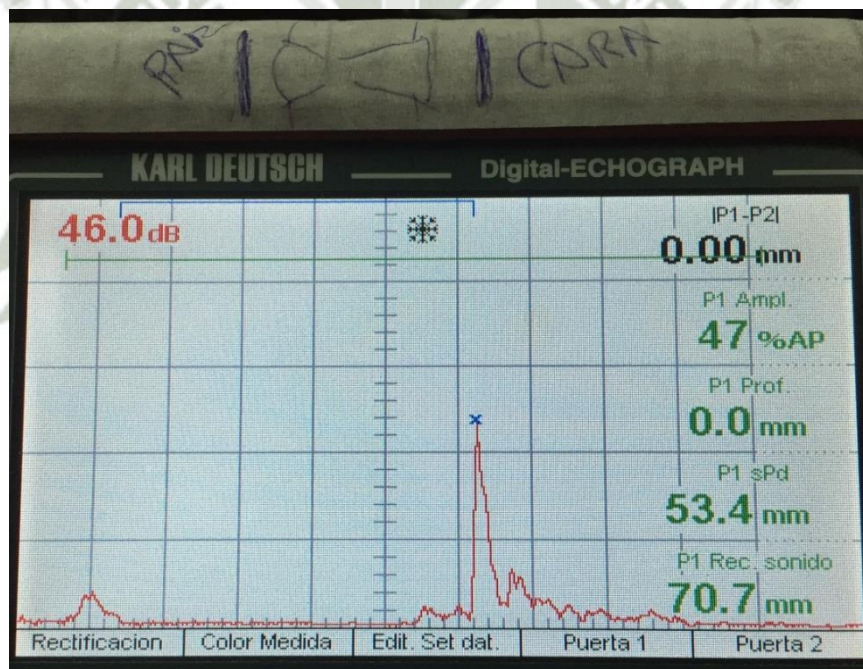


Figura 5-11: Detección de Cara de Soldadura

(Fuente Propia)

### 5.5.1 Inclusión de reflector en unión soldada

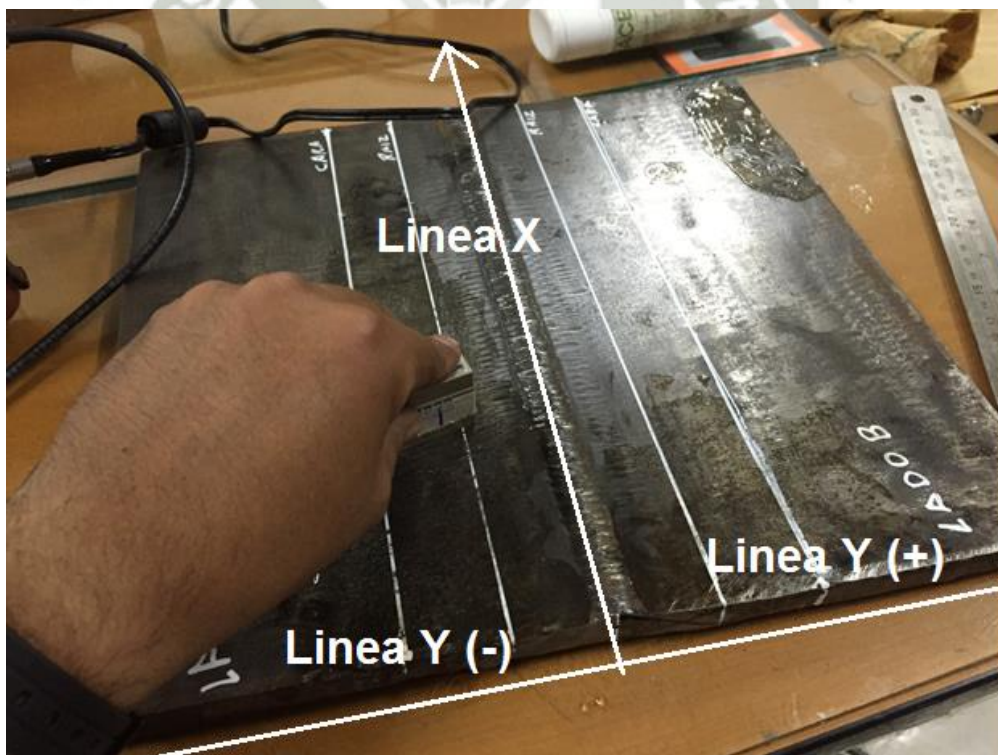
Para mostrar la fiabilidad del procedimiento de inspección establecido en el capítulo 5, a la unión soldada examinada en el párrafo anterior se le inserta a

propósito agrupación de reflectores con la finalidad de simular un defecto, se vuelve a inspeccionar, se emite un nuevo reporte mostrado a continuación



*Figura 5-12: Cupón de Soldadura con Inserción de Reflectores de agrupados*

(Fuente Propia)



*Figura 5-13: Demarcación de ejes de rastreo del cupón de Soldadura*

(Fuente Propia)



Figura 5-14: Detección de Reflector en unión Soldada

Formula vista en Capitulo 2.7.6.5.

$$a - b - c = d$$

$$56 - 49 - (54.4 - 25) * 0.08 = d$$

$$56 - 4 - 2.35 = 4.64$$

De acuerdo a la tabla 2.1 del anexo tablas, esta discontinuidad debe ser rechazada, pues ya se considera un defecto.

Tabla 5-2: Criterio de evaluación UT

(Fuente AWS D1.1 : 2010)

**UT Acceptance-Rejection Criteria (Statically Loaded Nontubular Connections) (see 6.13.1)**

Discontinuity Severity Class	Weld Size <sup>a</sup> in in. [mm] and Search Unit Angle										
	5/16 through 3/4 [8–20]	> 3/4 through 1-1/2 [20–38]	> 1-1/2 through 2-1/2 [38–65]			> 2-1/2 through 4 [65–100]			> 4 through 8 [100–200]		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°
Class A	+5 & lower	+2 & lower	-2 & lower	+1 & lower	+3 & lower	-5 & lower	-2 & lower	0 & lower	-7 & lower	-4 & lower	-1 & lower
Class B	+6	+3	-1 0	+2 +3	+4 +5	-4 -3	-1 0	+1 +2	-6 -5	-3 -2	0 +1
Class C	+7	+4	+1 +2	+4 +5	+6 +7	-2 to +2	+1 +2	+3 +4	-4 to +2	-1 to +2	+2 +3
Class D	+8 & up	+5 & up	+3 & up	+6 & up	+8 & up	+3 & up	+3 & up	+5 & up	+3 & up	+3 & up	+4 & up

<sup>a</sup> Weld size in butt joints shall be the nominal thickness of the thinner of the two parts being joined.

Tabla 5-3 Criterios de aceptación de discontinuidades en UT:

(Fuente AWS D1.1 : 2010)

Class A (large discontinuities)  
Any indication in this category shall be rejected (regardless of length).

Class B (medium discontinuities)  
Any indication in this category having a length greater than 3/4 in. [20 mm] shall be rejected.

Class C (small discontinuities)  
Any indication in this category having a length greater than 2 in. [50 mm] in the middle half or 3/4 in. [20 mm] length in the top or bottom quarter of weld thickness shall be rejected.

Class D (minor discontinuities)  
Any indication in this category shall be accepted regardless of length or location in the weld.

Estos datos son reportados en el formato F-04 mostrado líneas abajo



En el reporte mostrado líneas arriba se detecta el reflector insertado a propósito dando valor de medición 4.64 catalogado como clase A por la tabla 2.2, que estipula rechazo inmediato de la unión Soldada.



## Conclusiones

- a) El procedimiento elaborado para Inspección por Ultrasonido de uniones soldadas a Tope, cumple con los requerimientos dados por CÓDIGO PARA SOLDADURA DE ACERO ESTRUCTURAL AWS D1.1/ D1.1M:2010, ya que logró detectar las discontinuidades consideradas como defectos en la unión de soldadura
- b) El procedimiento elaborado para verificar la linealidad Horizontal y Vertical del equipo de Ultrasonido cumple con los requerimientos dados por CÓDIGO PARA SOLDADURA DE ACERO ESTRUCTURAL AWS D1.1/ D1.1M:2010.
- c) La verificación de Linealidad Horizontal y Vertical del equipo de Ultrasonido permitió realizar un correcto procedimiento de Inspección, esta verificación es fundamental para poder validar los resultados obtenidos en un Procedimiento de Inspección Ultrasónica.
- d) La implementación del protocolo de inspección permite tener trazabilidad de los datos obtenidos en las inspecciones los mismos que cuentan con requerimientos dados por CÓDIGO PARA SOLDADURA DE ACERO ESTRUCTURAL AWS D1.1/ D1.1M:2010.
- e) El equipo Marca Karl Deutsch modelo Echograph 1090 N° Serie 21477, y los transductores de Haz recto (UCSM-T-001) y de Haz angular 70° (UCSM-T-002), han sido verificados y cumplen con los requerimientos

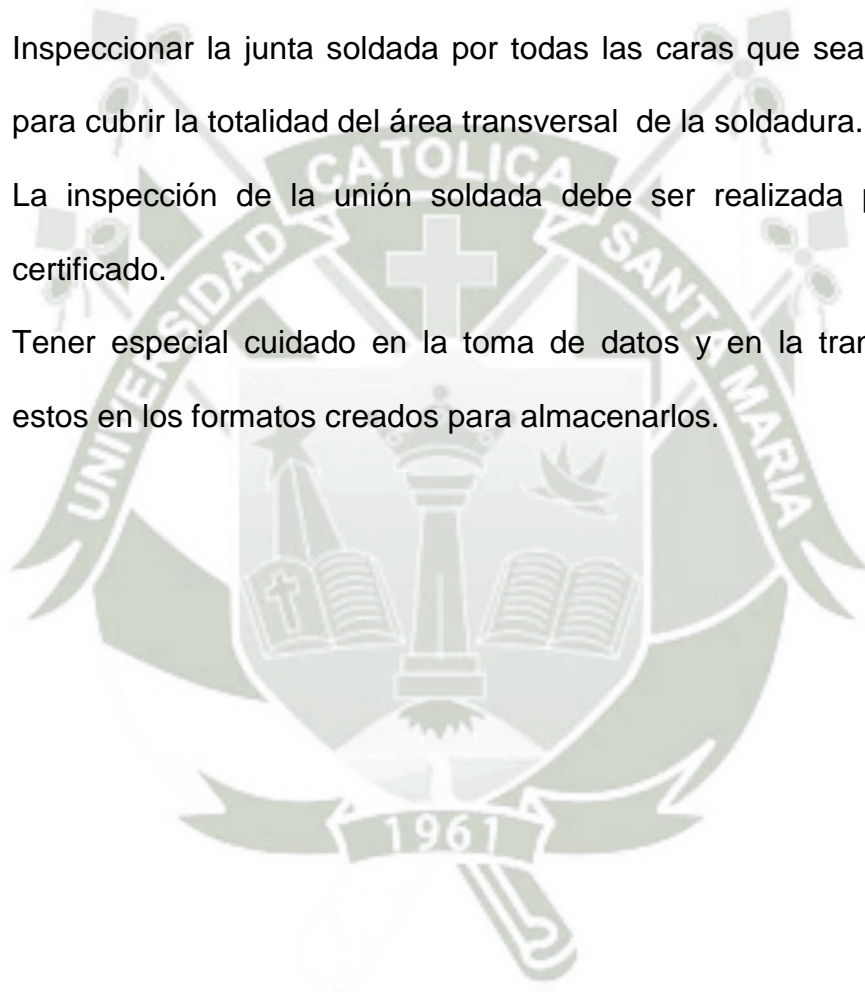
dados por CÓDIGO PARA SOLDADURA DE ACERO ESTRUCTURAL  
AWS D1.1/ D1.1M:2010.

- f) Los periféricos elegidos en base a los las especificaciones solicitadas por el CÓDIGO PARA SOLDADURA DE ACERO ESTRUCTURAL AWS D1.1/ D1.1M:2010, influyeron en el éxito del Procedimiento de Inspección.
- g) No usar equipos certificados, transductores, frecuencias, ángulo de inspección determinados por el CÓDIGO PARA SOLDADURA DE ACERO ESTRUCTURAL AWS D1.1/ D1.1M:2010 en base al tipo y espesor de material conllevan a una examinación sin validez.



## Recomendaciones

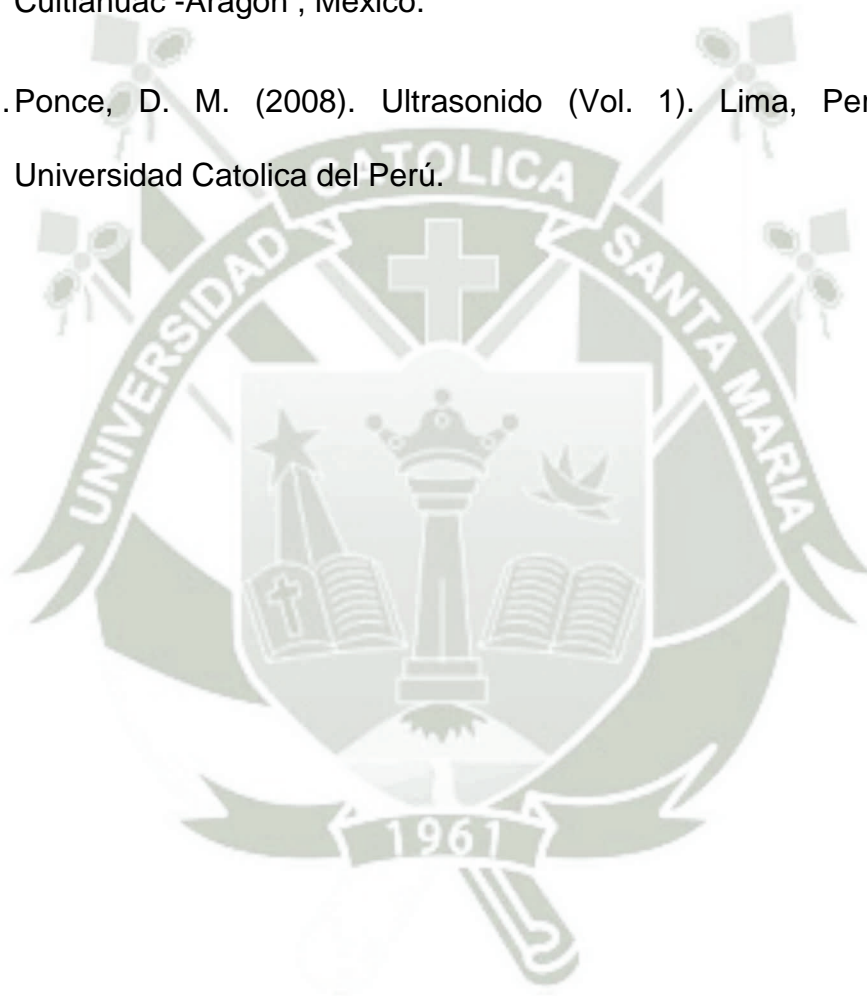
- a) Tener especial cuidado en verificar la Linealidad Horizontal y Vertical del Equipo antes de realizar las inspección, este paso es crucial para que la inspección sea fiable.
- b) Emplear la técnica de rastreo oscilante que nos permita cubrir el área transversal completa de la soldadura.
- c) Inspeccionar la junta soldada por todas las caras que sean necesarias para cubrir la totalidad del área transversal de la soldadura.
- d) La inspección de la unión soldada debe ser realizada por personal certificado.
- e) Tener especial cuidado en la toma de datos y en la transcripción de estos en los formatos creados para almacenarlos.



## Referencias Bibliográficas

1. American Society for Testing and Materials . (2005). Standar Practice for Ultrasonic Pulse-Echo Straight Beam examination by Contact Method E114-95. Pensilvania: American Society for Testing and Materials .
2. American Society for Testing and Materials. (2003). Standar Practice for Evaluating Performance Characteristics of Ultrasonic Pulse-Echo Testing Instrument and System Without the Use of Electronic Measurement Instruments E317-06a. Pensilvania: American Society for Testing and Materials.
3. American Society for Testing and Materials. (2009). Standard Specification for Carbon Structural Steel ASTM A-36. Pensilvania: American Society for Testing and Materials.
4. American Society for Testing and Materials. (2003). Standar Practice for Ultrasonic Contact Examination of Weldments E164-03. Pensilvania: American Society for Testing and Materials.
5. American Welding Society. (2009). Guide for the Nondestructive Examination of Welds. Miami: American Welding Society.
6. American Welding Society. (2009). Standard Welding Terms and Definitions AWS A3.0. Miami: American Welding Society.
7. American Welding Society. (2010). Structural Welding Code Steel AWS D1.1. Miami: American Welding Society.

8. American Welding Society. (2011). Standard Symbols for Welding Brazing and Nondestructive Examinations AWS A2.4. Miami: American Welding Society.
9. CIDESI. (2005). Ultrasonido Industrial. Mexico, Mexico: CONACYT-JICA.
10. Llog S.A. de CV. (2010, 03 25). Ultraman Interactive. Mexico DF, Cuitlahuac -Aragon , Mexico.
11. Ponce, D. M. (2008). Ultrasonido (Vol. 1). Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.



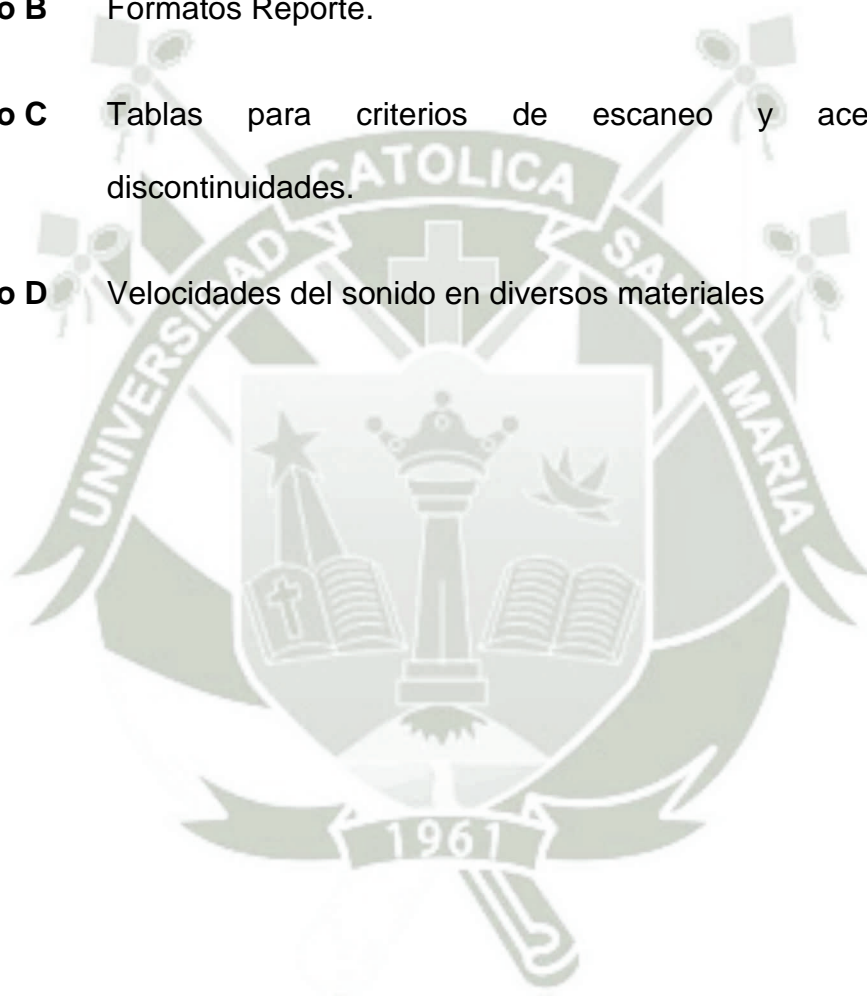
## Anexos

**Anexo A** Bloques Aprobados para Calificación y Calibración de Equipos UT.

**Anexo B** Formatos Reporte.

**Anexo C** Tablas para criterios de escaneo y aceptación de discontinuidades.

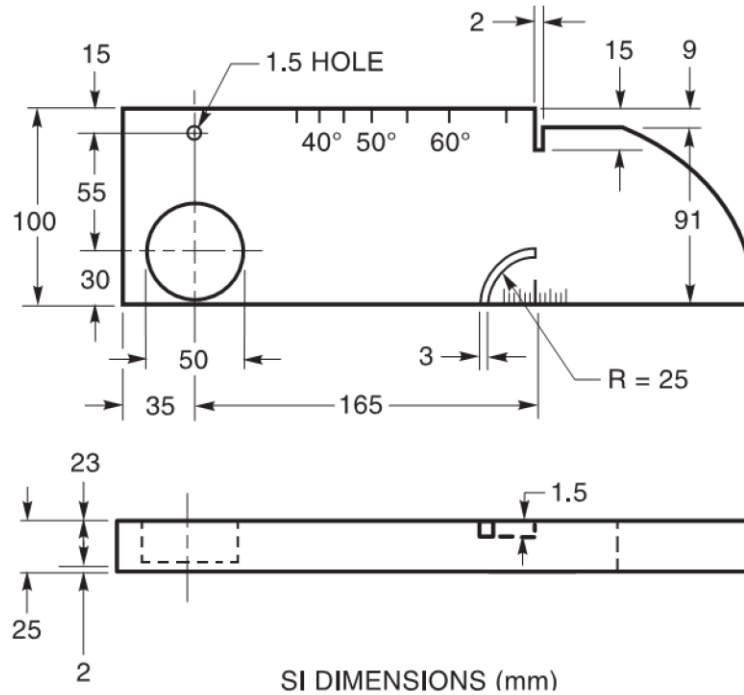
**Anexo D** Velocidades del sonido en diversos materiales



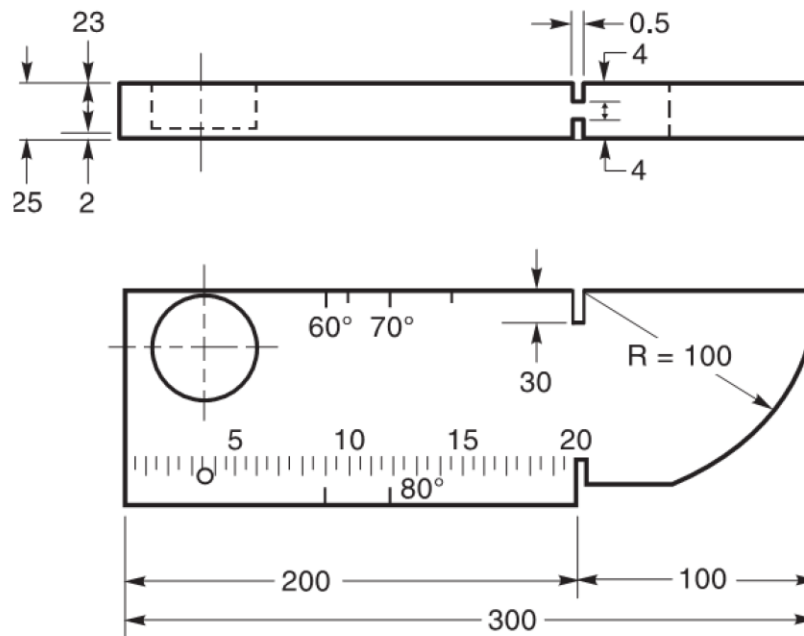
# Anexo A - Bloques Aprobados para Calificación y Calibración de Equipos UT.



Anexo A



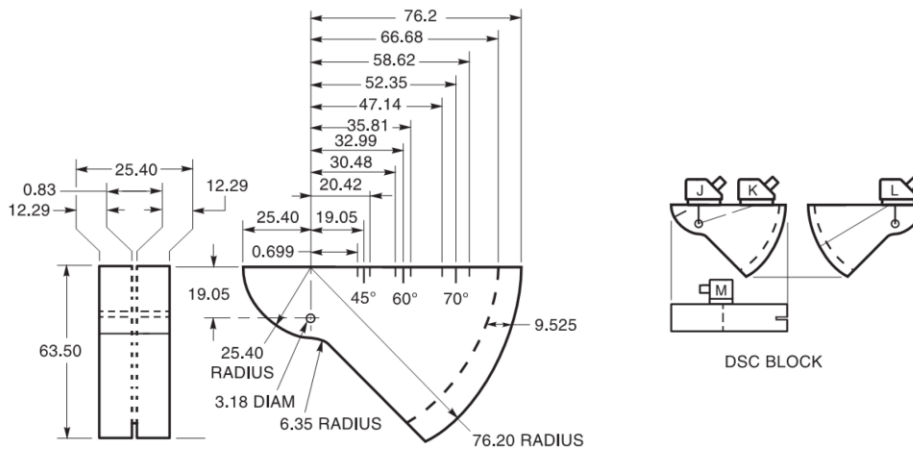
Bloque IIW Tipo 1



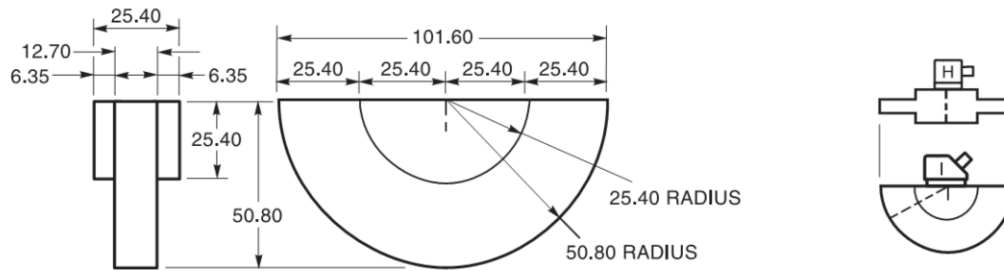
Bloque IIW Tipo 2

Figura A.1 Bloques aprobados para calificación y calibración de equipos UT

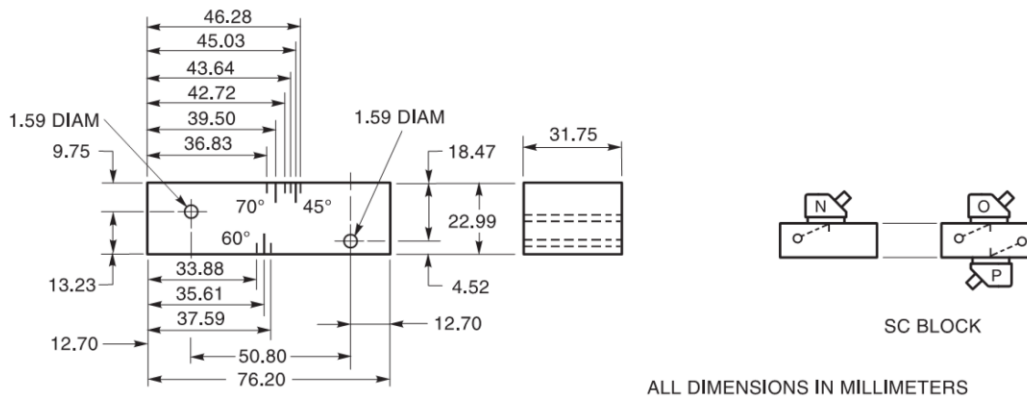
Anexo A



Tipo DSC- Distancia y Sensibilidad



Tipo DC- Referencia Distancia




Tipo SC - Referencia Sensibilidad

Figura A.1 (Continuación) Bloques aprobados para calificación y calibración de equipos UT

## Anexo B- Formatos Reporte.



F-01	Reporte de Calibración de Unidad Ultrasónica	
------	--	---

Modelo de Equipo de Ultrasonido:	Nº Serie:	
Tamaño de transductor:	Tipo:	Frecuencia:
Fecha de Calibración:	Intervalo:	Método:
Nº Serie de Block de Calibración:	Como se encontró	Como se ajustó

### Instrucciones Suplementarias.

Comenzar con la menor cantidad de dB con la cual se pueda obtener una indicación del 40% de la altura de la pantalla al colocar el transductor sobre la sección de 2" (50 mm) del bloque DS. Adicionar 6 dB y tomar nota de la cantidad de dB total como "a" y el porcentaje de altura de la señal como "b", tome estos datos como punto de inicio.

Después de registrar los valores "a" y "b" mueva el transductor hasta obtener nuevamente una indicación que abarque el 40% de la altura de la pantalla. Sin mover el transductor sume 6dB, registre el valor total de dB y el nuevo porcentaje de altura de la señal en las filas "a" y "b" correspondientemente, repita este paso hasta que el equipo lo permita.

Calcule el promedio de los porcentajes registrados en la fila "b" descartando la 3 primeras y las 3 últimas tabulaciones use este valor como %<sub>2</sub> en el cálculo de la lectura correcta.

La siguiente ecuación es usada para calcular el valor de "c".  $dB_2 = 20 \times \text{Log} \frac{\%_2}{\%_1} + dB_1$

$$dB_1 = "a"$$

$$dB_2 = "c"$$

$$\%_1 = "b"$$

$$\%_2 = \text{promedio de los valores de "b" descartando las 3 primeras y 3 ultimas lecturas.}$$

Los dB de error "b" son obtenidos por la sustracción del valor de la fila "c" al valor de la fila "a". (a-c=d)

El error colectivo de dB "e" es obtenido a partir del dB error "d" más cercano a 0.0, colectivamente sume los valores dB de error "d" Horizontalmente, coloque los subtotaes de la fila "e".


Moviéndose horizontalmente por izquierda y derecha por el promedio % de la línea, busque el lapso por el cual los valores mayores y menores de error dB colectivo se mantengan o sean menores en 2 dB. Cuente el número horizontal de espacios que se movió, réstele 1 y multiplique el resto por 6, este valor obtenido el rango aceptable de la unidad.

Para poder establecer el rango aceptable gráficamente este formato debe ser utilizado en conjunto con el formato F-02 de la siguiente manera.

1. Aplique los valores verticales de error colectivo dB "e" sobre el desplazamiento horizontal coincidiendo con la lectura de los valores en dB "a".
2. Establezca una curva pasando atreves de esta serie de puntos.
3. Aplique una ventana horizontal de 2 dB de altura sobre esta curva posicionada verticalmente de manera que la sección mas larga esta completamente contenida dentro de una altura de 2dB de error.
4. Esta longitud de ventana representa el rango aceptable en dB de la unidad.

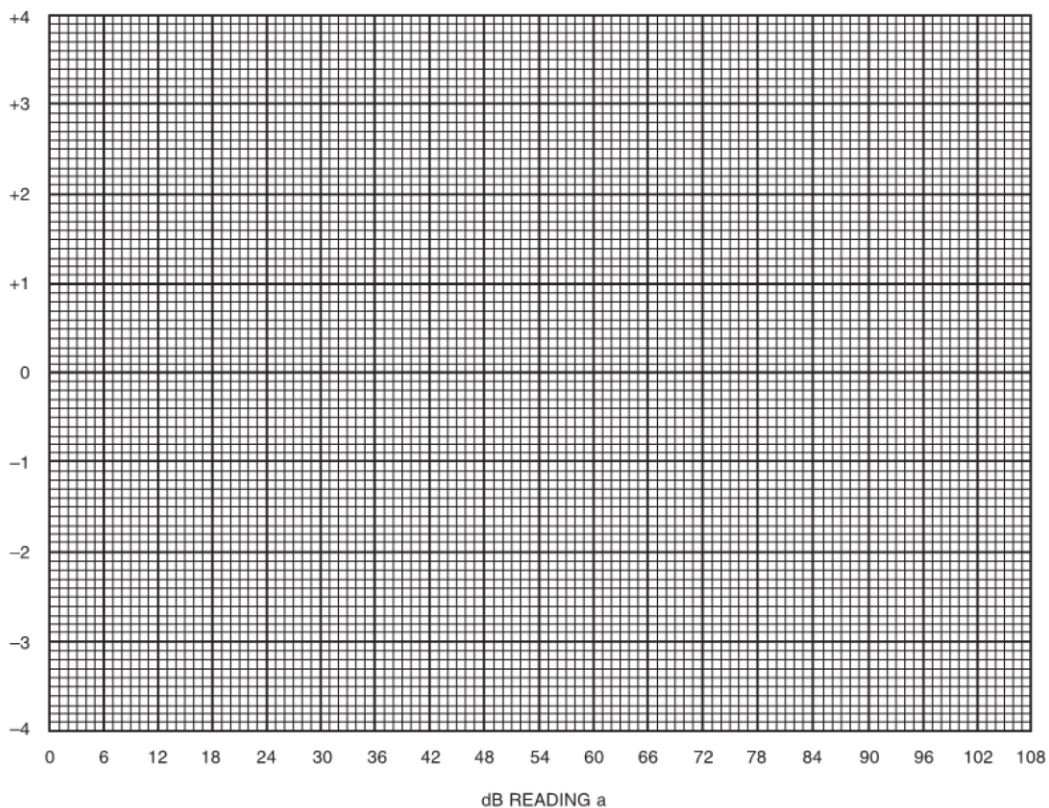
Fila		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	Lectura de DB													
b	Altura de indicacion													
c	Lectura corregida													
d	Error dB													
e	Error colectivo dB													

Precisión requerida: El rango mínimo aceptable es					% <sub>2</sub> Promedio :				
El Equipo es aceptable para uso:		Si	No	Calibrado por:					
Rango calificado total	dB	a	dB	=	dB	Error total	dB (Obtenido del este formato)		
Rango calificado total	dB	a	dB	=	dB	Error total	dB (Obtenido del Grafico )		
Firma					Lugar				


F-02	Evaluación de Precisión dB	
------	----------------------------	---

Modelo de Equipo de Ultrasonido:	Nº Serie:	
Tamaño de transductor:	Tipo:	Frecuencia:
Fecha de Calibración:	Intervalo:	Método:
Nº Serie de Block de Calibración:	Como se encontró	Como se ajusto

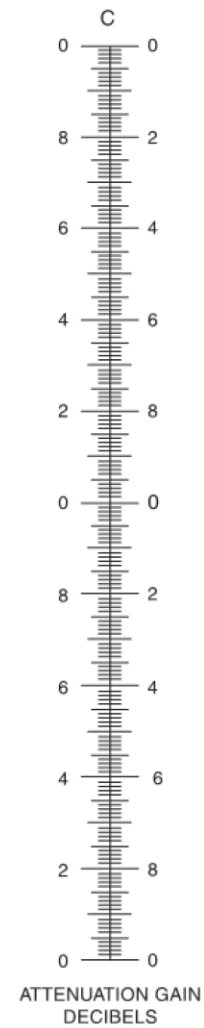
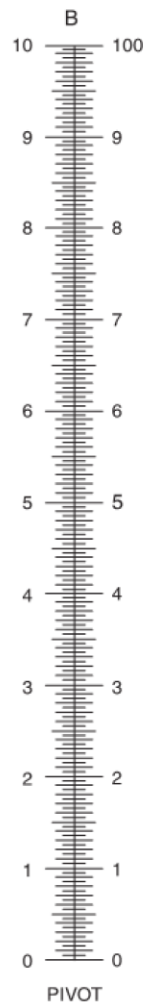
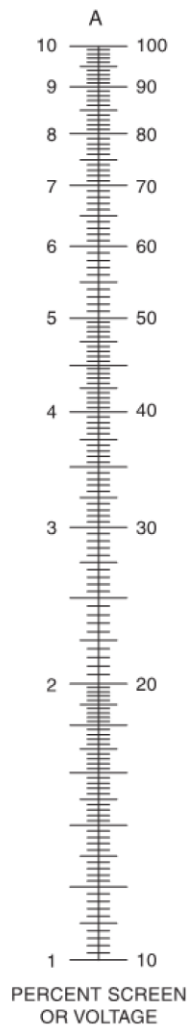
COLLECTIVE dB ERROR e



Precisión requerida: El rango mínimo aceptable es					% <sub>2</sub> Promedio :	
El Equipo es aceptable para uso:		Si	No	Calibrado por:		
Rango calificado total	dB	a	dB	=	dB	Error total dB (Obtenido del este formato)
Rango calificado total	dB	a	dB	=	dB	Error total dB (Obtenido del Grafico )
Firma					Lugar	

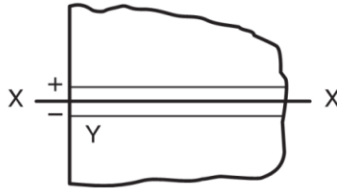
F-03	Valores en dB (Atenuación o ganancia) Nomograma AWS	
------	--	---

Modelo de Equipo de Ultrasonido:	Nº Serie:	
Tamaño de transductor:	Tipo:	Frecuencia:
Fecha de Calibración:	Intervalo:	Método:
Nº Serie de Block de Calibración:	Como se encontró	Como se ajustó



Firma	Lugar
-------	-------

F-04	Reporte de ensayo UT en Unión Soldada	
------	---------------------------------------	--



Proyecto	Reporte N°
Identificación de Junta	
Espesor del material	
Junta de soldadura AWS	
Procesos de soldadura	
Equipo Utilizado	
Transductor	

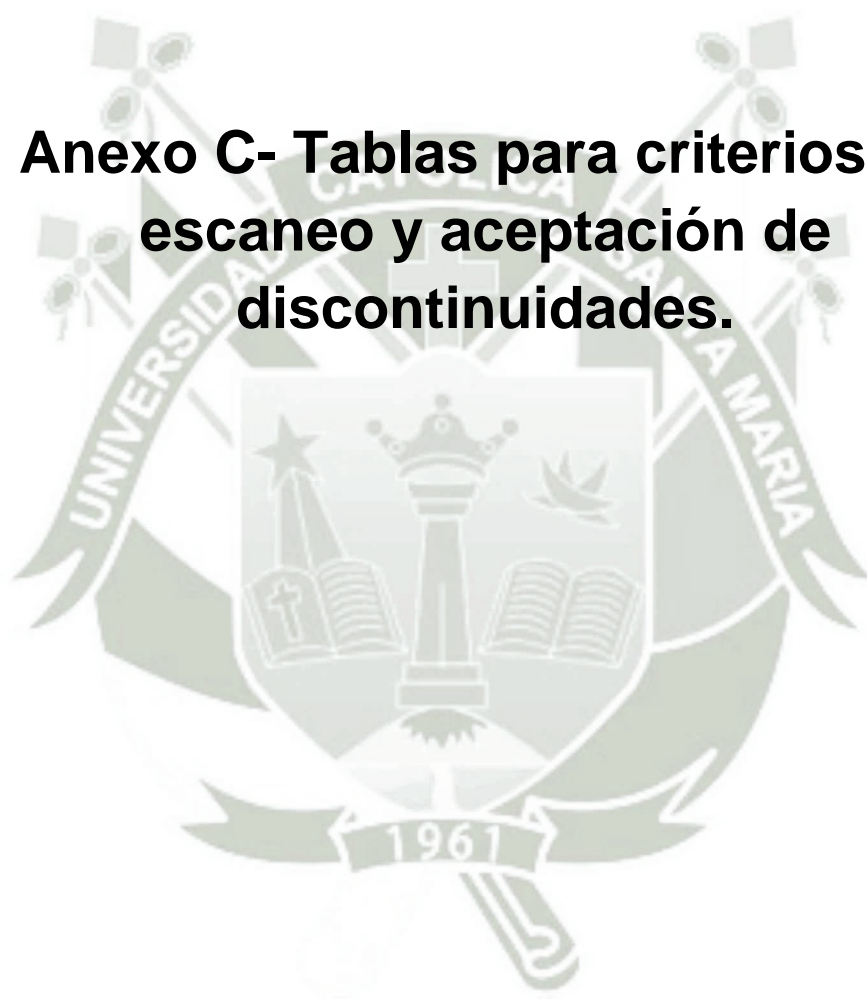
Item	Número de Indicación	Angulo de Transductor	Desde Cara	N° Pierna	Decibeles dB				Discontinuidad			Observaciones		
					Nivel de Indicación	Nivel de Referencia	Factor de Atenuación	Ratio de Indicación	Longitud	Distancia Angular	Profundidad desde cara "A"		Distancia	
					a	b	c	d					Desde X	Desde Y
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														

Nosotros los abajo firmantes, certificamos que las declaraciones en este formato son correctas y que las soldaduras fueron preparadas y testeadas conforme los requerimientos de la Cláusula 6, parte F de AWS D1.1 /D1.1 M 2010.

Fecha de ensayo: Diciembre 20 del 2015	Contratista: Tesis José Belón Corrales
Inspeccionado por:	Autorizado por:
	Fecha:

Nota: Este formato solo es aplicable a estructuras no tubulares estáticamente o cíclicamente cargadas, no es aplicable a estructuras tubulares.

## **Anexo C- Tablas para criterios de escaneo y aceptación de discontinuidades.**



**Tabla 2.1 Criterio de aceptación y rechazo para conexiones no tubulares estaticamente cargadas**

Discontinuity Severity Class	Weld Size <sup>a</sup> in in. [mm] and Search Unit Angle										
	5/16 through 3/4 [8–20]	> 3/4 through 1-1/2 [20–38]	> 1-1/2 through 2-1/2 [38–65]			> 2-1/2 through 4 [65–100]			> 4 through 8 [100–200]		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°
Class A	+5 & lower	+2 & lower	-2 & lower	+1 & lower	+3 & lower	-5 & lower	-2 & lower	0 & lower	-7 & lower	-4 & lower	-1 & lower
Class B	+6	+3	-1 0	+2 +3	+4 +5	-4 -3	-1 0	+1 +2	-6 -5	-3 -2	0 +1
Class C	+7	+4	+1 +2	+4 +5	+6 +7	-2 to +2	+1 +2	+3 +4	-4 to +2	-1 to +2	+2 +3
Class D	+8 & up	+5 & up	+3 & up	+6 & up	+8 & up	+3 & up	+3 & up	+5 & up	+3 & up	+3 & up	+4 & up

<sup>a</sup> El tamaño de soldadura en juntas a tope debe ser el espesor nominal del miembro mas delgado de las dos partes unidas.

**Nota**

1. Discontinuidades Clase B y C deben estar separadas al menos 2L, L es la longitud de la discontinuidad mas larga, excepto cuando dos a mas de dichas discontinuidades no están separadas por al menos 2L, pero la longitud combinada de las discontinuidades y su distancia de separación es igual o menos que la longitud máxima aceptable bajo lo dispuesto en la clase B o clase C, la discontinuidad debe ser considerada como una sola discontinuidad aceptable.
2. Discontinuidades de clase B y C no deben iniciar a distancia menor de 2L de los finales de soldadura que soportes esfuerzos de tensión primaria, L es la longitud de la discontinuidad.
3. Discontinuidades detectadas den el "nivel de búsqueda" en el área de la cara de la raíz de una CJP soldadura de doble canal debe ser evaluada usando el rango de indicación de 4dB mas sensible que lo descrito en &.26.6.5 cuando estas soldaduras son designadas como soldaduras a tensión en los planos (sustraer 4dB del nivel de referencia d) , esto no aplica si la junta soldada es acanalada por detrás para remover la cara de la raíz y una evaluación MT fue usada para verificar que la cara de la raíz fue removida.
4. En ESW o EGW discontinuidades detectadas en el nivel de búsqueda que excedan en 50 mm de longitud deben ser sospechosas como porosidad tubular y deben ser también evaluadas por RT.
5. Para discontinuidades que se mantengan al mover la unidad de rastreo refiérase a &.13.1.

Clase A (discontinuidades grandes)  
Cualquier indicación en esta categoría debe ser rechazada sin importar la longitud.  
Clase B (discontinuidades medianas)  
Cualquier indicación en esta categoría cuya longitud sea mayor que 19 mm debe ser rechazada.  
Clase C (discontinuidades pequeñas)  
Cualquier indicación en esta categoría cuya longitud sea mayor de 50 mm debe ser rechazada.  
Clase D (Discontinuidades menores)  
Cualquier indicación en esta categoría debe ser aceptada sin importar la longitud de la misma.

**Niveles de Escaneo**

Sound path <sup>b</sup> in in. [mm]	Above Zero Reference, dB
through 2-1/2 [65 mm]	14
> 2-1/2 through 5 [65–125 mm]	19
> 5 through 10 [125–250 mm]	29
> 10 through 15 [250–380 mm]	39

<sup>b</sup> Se refiere a la distancia del recorrido del sonido, NO es el espesor del material.

**Tabla 2.2 Criterio de aceptación y rechazo para conexiones no tubulares ciclicamente cargadas**

Discontinuity Severity Class	Weld Size <sup>a</sup> in in. [mm] and Search Unit Angle												
	5/16 through 3/4 [8–20]		> 3/4 through 1-1/2 [20–38]		> 1-1/2 through 2-1/2 [38–65]			> 2-1/2 through 4 [65–100]			> 4 through 8 [100–200]		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°		
Class A	+10 & lower	+8 & lower	+4 & lower	+7 & lower	+9 & lower	+1 & lower	+4 & lower	+6 & lower	-2 & lower	+1 & lower	+3 & lower		
Class B	+11	+9	+5 & +6	+8 & +9	+10 & +11	+2 & +3	+5 & +6	+7 & +8	-1 & 0	+2 & +3	+4 & +5		
Class C	+12	+10	+7 & +8	+10 & +11	+12 & +13	+4 & +5	+7 & +8	+9 & +10	+1 & +2	+4 & +5	+6 & +7		
Class D	+13 & up	+11 & up	+9 & up	+12 & up	+14 & up	+6 & up	+9 & up	+11 & up	+3 & up	+6 & up	+8 & up		

a El tamaño de soldadura en juntas a tope debe ser el espesor nominal del miembro mas delgado de las dos partes unidas.

**Nota**

1. Discontinuidades Clase B y C deben estar separadas al menos 2L, L es la longitud de la discontinuidad mas larga, excepto cuando dos a mas de dichas discontinuidades no están separadas por al menos 2L, pero la longitud combinada de las discontinuidades y su distancia de separación es igual o menos que la longitud máxima aceptable bajo lo dispuesto en la clase B o clase C, la discontinuidad debe ser considerada como una sola discontinuidad aceptable.
2. Discontinuidades de clase B y C no deben iniciar a distancia menor de 2L de los finales de soldadura que soporten esfuerzos de tensión primaria, L es la longitud de la discontinuidad.
3. Discontinuidades detectadas den el "nivel de búsqueda" en el área de la cara de la raíz de una CJP soldadura de doble canal debe ser evaluada usando el rango de indicación de 4dB mas sensible que lo descrito en &26.6.5 cuando estas soldaduras son designadas como soldaduras a tensión en los planos (sustraer 4dB del nivel de referencia d), esto no aplica si la junta soldada es acanalada por detrás para remover la cara de la raíz y una evaluación MT fue usada para verificar que la cara de la raíz fue removida.
4. Para discontinuidades que se mantengan al mover la unidad de rastreo refiérase a &.13.2.1.

Clase A (discontinuidades grandes)  
Cualquier indicación en esta categoría debe ser rechazada sin importar la longitud.

Clase B (discontinuidades medianas)  
Cualquier indicación en esta categoría cuya longitud sea mayor que 19 mm debe ser rechazada.

Clase C (discontinuidades pequeñas)  
Cualquier indicación en esta categoría cuya longitud sea mayor de 50 mm en el centro de lamina o cuya longitud sea 20 mm en el cuarto superior o cuarto inferior del espesor de la soldadura debe ser rechazado..

Clase D (Discontinuidades menores)  
Cualquier indicación en esta categoría debe ser aceptada sin importar la longitud de la misma.

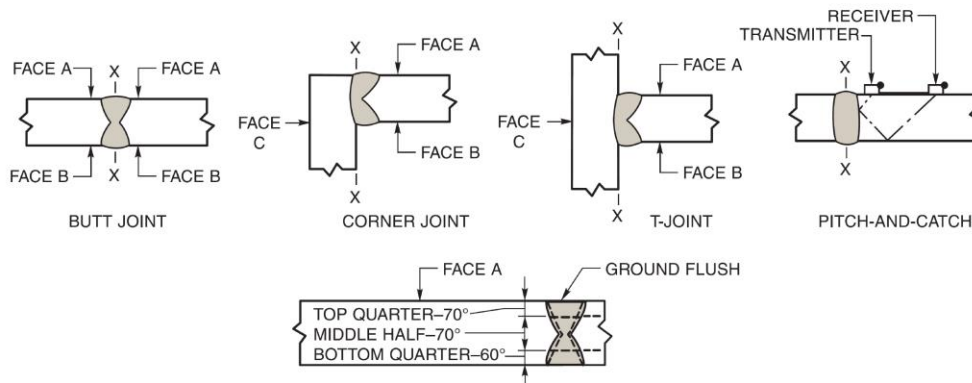
**Niveles de Escaneo**

Sound path <sup>b</sup> in in. [mm]	Above Zero Reference, dB
through 2-1/2 [65 mm]	20
> 2-1/2 through 5 [65–125 mm]	25
> 5 through 10 [125–250 mm]	35
> 10 through 15 [250–380 mm]	45

b Se refiere a la distancia del recorrido del sonido, NO es el espesor del material.

**Tabla 2.3 Angulo de Escaneo**

		Material Thickness, in. [mm]																	
		5/16 [8]	> 1-1/2 [38]	> 1-3/4 [45]	> 2-1/2 [60]	> 3-1/2 [90]	> 4-1/2 [110]	> 5 [130]	> 6-1/2 [160]	> 7 [180]									
		to	to	to	to	to	to	to	to	to									
Weld Type		1-1/2 [38]	1-3/4 [45]	2-1/2 [60]	3-1/2 [90]	4-1/2 [110]	5 [130]	6-1/2 [160]	7 [180]	8 [200]									
		*	*	*	*	*	*	*	*	*									
Butt		1	O	1	F	1G or 4	F	1G or 5	F	6 or 7	F	8 or 10	F	9 or 11	F	12 or 13	F	12	F
T-		1	O	1	F or XF	4 or XF	F or XF	5 or XF	F or XF	7 or XF	F or XF	10 or XF	F or XF	11 or XF	F or XF	13 or XF	F or XF	—	—
Corner		1	O	1	F or XF	1G or 4	F or XF	1G or 5	F or XF	6 or 7	F or XF	8 or 10	F or XF	9 or 11	F or XF	13 or 14	F or XF	—	—
Electrogas & Electroslag		1	O	1	O	1G or 4	1**	1G or 3	P1 or P3	6 or 7	P3	11 or 15	P3	11 or 15	P3	11 or 15	P3	11 or 15**	P3



**Nota**

1. Donde sea posible, todas las examinaciones deben ser hechas desde la cara A y en la primera pierna del sonido, salvo se especifique otra cosa en esta tabla.
2. Las áreas de raíz en las juntas de soldadura de canal de un solo bisel con backing que no requiera ser removido por contrato, debe ser testeado en la pierna 1 donde se posible y por la cara A opuesta al Backing (amolado de la soldadura o testeado desde otras caras de la soldadura pueden ser requeridas para una completa examinación de la raíz)
3. Examinación en la pierna 2 o pierna 3 se debe ser hecha solo para satisfacer las provisiones dadas por esta tabla o cuando sea necesario testear áreas inaccesibles, o para cumplir con los requerimientos dados en 2.26.2.
4. Como máximo se debe usar la pierna 3 solo cuando el espesor o la geometría no permiten el escaneo completo del área de soldadura y la ZAC con la pierna 1 o pierna 2.
5. En soldaduras a tracción en estructuras cargadas cíclicamente el cuarto superior del espesor debe ser testeado con el final de la pierna con el sonido progresando desde la cara B hacia la cara A, el cuarto inferior del espesor debe ser testeado con el final de la pierna con el sonido progresando desde la cara A hacia la cara B, cuarto superior del espesor debe ser testeado desde la cara A con la segunda pierna o desde la cara B con la primera pierna cualquier opción puede ser elegida, al menos se indique otra en los documentos del contrato.
6. La cara de la superficie indicada debe ser esmerilada al raz antes de usar procedimientos 1G,6,8,9,12,14 o 15, la cara A para ambos miembros conectados debe estar en el mismo plano.



**Anexo D- Tabla Velocidades del sonido en  
diversos materiales**

MATERIAL	DENSIDAD	VELOCIDAD LONGITUDINAL	VELOCIDAD TRANSVERSAL	IMPEDANCIA ACUSTICA
	kg/m <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	m/segX10 <sup>3</sup>	m/segX10 <sup>3</sup>	kg/m <sup>2</sup> segX10 <sup>6</sup> (Z <sub>L</sub> )
ACEITE SAE (20-30)	0.89 - 0.96	1.74	---	1.5 - 1.7
ACERO	---	5.9	3.2	45.4
ACERO DE BAJA ALEACIÓN	7.85	5.82	3.19	45.7
ACERO FUNDIDO	6.95 - 7.35	4.6	2.6	33.2
ACERO INOX	7.9	5.8	3.1	45.4
ACERO INOX. AUSTENITICO	8.03	5.66	3.12	45.5
ACERO INOX MARTENSITICO	7.67	7.39	2.99	56.7
ACERO TEMPLADO	---	5.9	3.2	46
AGUA DESTILADA	1	1.48	---	1.48
AIRE	0	0.33	---	4X10 <sup>4</sup>
ALCOHOL ETILICO	0.79	1.17	---	0.92
ALEACIÓN Al-Cu A1 L 3120	2.78	6.25	3.1	17.4
ALEACIÓN Al-Cu A1 L 3120	2.78	6.19	3.11	17.2
ALUMINIO	2.71	6.3	3.1	17
ARALDIT	1.15 - 1.3	2.5 - 2.8	1.1	2.8 - 3.7
BAQUELITA	1.4	2.59	---	3.6
BRONCE	---	3.8	2.1	31
COBRE	8.9	4.7	2.3	41.6
CUARZO (SiO <sub>2</sub> ) CORTE X	2.65	5.76	---	15.3
ESTAÑO	---	3.3	1.7	24.2
FUNDICIÓN HIERRO-CARBONO	7.2	3.5 - 5.6	2.2 - 3.2	25 - 40
GLICERINA	1.26	1.92	---	2.4
HIELO	0.9	4	2	3.5
HIERRO	7.7	5.85	3.23	45
INCONEL	8.5	5.7	3	47.2
INCONEL LAMINADO	8.25	7.82	3.02	64.5
LATON (Cu - Zn)	8.6	3.83	2.05	33
METAL DURO (VIDIA)	11-15	6.9 - 7.3	4.0 - 4.7	75 - 110
METANIOBATO DE PLOMO (PbNb <sub>2</sub> O)	5.8	2.8	---	16
MONEL	8.83	5.4	2.7	47.6
MONEL LAMINADO	8.83	6.02	2.72	53.1
NEOPRENO	1.1 - 1.6	1.6	---	2.1
NIQUEL	8.9	5.63	2.96	50
NYLON 6-6	1.0 - 1.2	2.6	1.1	2.9
ORO	---	3.2	1.2	62.5
OXIDO DE ALUMINIO	---	8.7	---	32
PERPEX (POLIMETA CRILATO METILO)	1.18	2.73	1.43	3.2
PLATA	---	3.6	1.6	38
PLEXIGLASS	1.18	2.7	1.1	3.1
PLOMO	11.34	2.2	0.7	24.6
PLOMO 6% Sb	10.9	2.16	0.81	23.6
POLIETILENO	---	1.9	0.5	1.7
POLIURETANO	---	1.9	---	1.9
SULFATO DE LITIO (Li <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	2.06	4.72	---	8.6
TEFLON	2.2	1.4	---	3
TITANATO DE BARIO (BaTiO <sub>3</sub> )	5.7	4.4	---	11.2
VIDRIO	2.5	5.1	2.8	11.4
ZINC	---	4.2	2.4	29.6