



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DESARROLLO DE PROCEDIMIENTOS Y METODOLOGÍAS PARA
DETECCIÓN DE DEFECTOS DE SOLDADURA UTILIZANDO
SCAN B”**

CAMPAÑA DÍAS CRISTIAN FERNANDO

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2010

Epoch

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Julio, 20 del 2010

Yo recomiendo que la tesis preparada por:

CRISTIAN FERNANDO CAMPAÑA DÍAS

Titulada:

“DESARROLLO DE PROCEDIMIENTOS Y METODOLOGÍAS PARA DETECCIÓN DE DEFECTOS DE SOLDADURA UTILIZANDO SCANB”.

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el título de:

INGENIERO MECÁNICA

f) DECANO DE LA FACULTAD

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

f) DIRECTOR DE TESIS.

f) MIEMBRO DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: CRISTIAN FERNANDO CAMPAÑA DÍAS.

TÍTULO DE LA TESIS:

“DESARROLLO DE PROCEDIMIENTOS Y METODOLOGÍAS PARA DETECCIÓN DE DEFECTOS DE SOLDADURA UTILIZANDO SCAN B”.

Fecha de Examinación: Julio, 20 del 2010.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. EDUARDO VAZQUES.			
ING. MARIO E PASTOR R.			
ING. RAUL CABRERA.			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

f) CRISTIAN FERNANDO CAMPAÑA DÍAS.

RESUMEN

El presente trabajo muestra el desarrollo del método de ensayo no destructivo de inspección ultrasónica, utilizando la técnica pulso-eco mediante contacto directo con modalidad scan B. En la primera parte se estudian las generalidades sobre la técnica de ultrasonido, equipos y las técnicas empleadas, formas de barrido utilizadas para la detección y ubicación de discontinuidades en el cordón de soldadura.

También se construyó y analizó la curva DAC la misma que se emplea para discriminar entre defecto y discontinuidad. Además se estudiaron y emplearon diagramas AVG para la estimación del tamaño de un reflector desconocido, a partir de un reflector de tamaño conocido.

Posteriormente se desarrollaron procedimientos y metodologías para la calibración del equipo ultrasónico, determinación de la sensibilidad del equipo, factor de transferencia por superficie y procedimientos de inspección, para garantizar la repetitividad del ensayo y su posterior evaluación de ser necesario.

Una vez realizada la inspección en placas soldadas con defectos conocidos, se caracterizó y correlacionó la señal ultrasónica con el defecto que lo produce, tanto para la modalidad scan A como para la modalidad de scan B, de tal manera que se pueda realizar una correcta discriminación entre los diferentes defectos que se producen en el proceso de soldadura.

SUMMARY

The current work was done to show the development of a methodology for conducting the ultrasonic, pulse-echo technique of non-destructive testing through direct contact with the scan B mode. In the first part, it was studied the generalities about the ultrasonic technique, the equipment and techniques applied, scanning modes used for detecting and locating the discontinuities in a weld seam.

It was also built and analyzed the distance-amplitude curve (DAC), which is used to discriminate between a defect and a discontinuity. Furthermore, the distance-gain-size (DGS/AVG) curves were studied and used in order to estimate the size of an unknown reflector from a reflector of a well known size.

Besides, procedures and methodologies for the calibration of the ultrasonic equipment were developed, to determine the sensitivity of the equipment, surface-condition transfer gain factor and inspection procedures to ensure the repeatability of the test and subsequent evaluation if it were necessary.

Once the inspection of welded plates with known defects was conducted, each ultrasonic signal was characterized and related with the size and geometry of the corresponding defect which produced the signals; both, for scan A as well as for scan B modes. This allowed to make an appropriate discrimination among various types of defects that occur during welding.

TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>	<u>PÁGINA</u>
1. GENERALIDADES	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
2. INSPECCIÓN ULTRASÓNICA CON B SCAN EN JUNTAS SOLDADAS.	
2.1 Generalidades de inspección ultrasónica.....	4
2.1.1 Principios de inspección ultrasónica.....	4
2.1.1.1 Técnica de pulso-eco.....	8
2.1.1.2 Tipos de barrido (Scan) ultrasónico A – B – C.....	14
2.1.1.3 A-scan.....	14
2.1.1.4 B-scan.....	15
2.1.1.5 C-scan.....	16
2.2 Equipo utilizado en inspección ultrasónica.....	18
2.2.1 Palpadores.....	18
2.2.1.1 Campo sónico.....	19
2.2.1.2 Palpador de incidencia normal.....	22
2.2.1.3 Palpador angular.....	23
2.2.2 Acoplante.....	24
2.2.3 Calibración.....	24
2.2.3.1 Bloques de calibración.....	25
2.2.3.2 Calibración del equipo.....	26
2.2.3.2.1 Linealidad vertical de la pantalla.....	27
2.2.3.2.2 Proporcionalidad de la longitud.....	27
2.2.3.2.3 Calibración del sistema.....	29
2.2.3.2.3.1 Comprobación del punto de salida y ángulo del haz ultrasónico.....	29
2.2.3.2.4 Curvas AVG y DAC.....	30
2.3 Scan B (exploración B, barrido B).....	35
2.4 Defectología de la soldadura.....	35
2.4.1 Clasificación de los defectos.....	36
2.4.2 Defectos internos.....	37
2.4.2.1 Cavidades y poros.....	37
2.4.2.2 Inclusiones.....	37
2.4.2.3 Falta de penetración.....	38
2.4.2.4 Falta de fusión.....	38
2.4.2.5 Grietas o fisuras.....	38
3. EXPERIMENTACIÓN	
3.1 Elaborar probetas para la inspección ultrasónica con Scan B.....	40
3.1.1 Bloque tipo SC.....	40
3.1.2 Bloque de resolución AWS.....	41
3.1.3 Bloque Tipo DS (tipo U).....	42
3.1.4 Probetas soldadas elaboradas con defectos artificiales.....	44
3.1.4.1 Probeta N-01: Falta de penetración.....	44

3.1.4.2	Probeta N-02: Mordedura de borde.....	44
3.1.4.3	Probeta N-03: Fisura transversal.....	45
3.1.4.4	Probeta N-04: Escoria	45
3.1.4.5	Probeta N-05: Penetración excesiva.....	46
3.1.4.6	Probeta N-06: Porosidad.....	46
3.1.4.7	Probeta N-07: Inclusión.....	46
3.1.4.8	Probeta N-08: Fisura.....	47
3.1.4.9	Probeta N-09: Falta de fusión.....	47
3.1.4.10	Probeta N-10: Quemón.....	48
3.2	Ensayo ultrasónico de soldaduras.....	48
3.2.1	Ensayo ultrasónico de muestras con A scan.....	53
3.2.1.1	Inspección ultrasónica de la placa N 01 Falta de penetración.....	55
3.2.1.2	Inspección ultrasónica de la placa N-02 Mordedura de borde.....	59
3.2.1.3	Inspección ultrasónica de la placa N-03 Fisuras transversales.....	61
3.2.1.4	Inspección ultrasónica de la placa N-04 Escorias.....	63
3.2.1.5	Inspección ultrasónica de la placa N-05 Penetración excesiva.....	65
3.2.1.6	Inspección ultrasónica de la placa N-06 Poros.....	65
3.2.1.7	Inspección ultrasónica de la placa N-07 Inclusión (varilla de tungsteno).....	69
3.2.1.8	Inspección ultrasónica de la placa N-08 Fisura.....	70
3.2.1.9	Inspección ultrasónica de la placa N-09 Falta de fusión.....	72
3.2.1.10	Inspección ultrasónica de la placa N-10 Quemón.....	75
3.3	Ensayo ultrasónico de muestras con Scan B.....	75
3.3.1	Inspección ultrasónica de la placa N 01 Falta de penetración.....	77
3.3.2	Inspección ultrasónica de la placa N 02 Mordedura de borde.....	78
3.3.3	Inspección ultrasónica de la placa N 03 Fisura transversal.....	79
3.3.4	Inspección ultrasónica de la placa N 04 Escorias.....	80
3.3.5	Inspección ultrasónica de la placa N 05 Penetración excesiva.....	81
3.3.6	Inspección ultrasónica de la placa N 06 Poro.....	82
3.3.7	Inspección ultrasónica de la placa N 07 Inclusión.....	83
3.3.8	Inspección ultrasónica de la placa N 08 Fisura.....	83
3.3.9	Inspección ultrasónica de la placa N 09 Falta de fusión.....	84
3.3.10	Inspección ultrasónica de la placa N 10 Quemón.....	85
3.4	Inspección ultrasónica en tubería.....	86
4.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
4.1	Introducción.....	87
4.2	Comparación entre el equipo ultrasónico KRAUTKRÄMER y el HUATEC FD 201	87
4.3	Desarrollo de procedimientos y metodologías para detección de defectos de soldadura utilizando B scan.....	41
4.4	Análisis de las señales ultrasónicas y su relación con el tipo de defecto	91
4.4.1	Falta de penetración.....	95
4.4.2	Mordedura de borde.....	98
4.4.3	Fisura transversal.....	99
4.4.4	Escorias.....	101
4.4.5	Penetración excesiva.....	102
4.4.6	Poros.....	104
4.4.7	Inclusión.....	105
4.4.8	Fisura.....	107
4.4.9	Falta de fusión.....	108
4.4.10	Quemón.....	110

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIGRÁFICAS

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>		<u>PÁGINA</u>
2.1	Esquema general del proceso UT	4
2.2	Técnica de haz directo con un transductor en una placa.....	10
2.3	Técnica de haz directo con dos transductores en una placa.....	11
2.4	Técnica de haz angular con un transductor en una placa fig. a y en un tubo fig. b.....	12
2.5a-l	Reflexiones en función del defecto, su orientación y forma.....	13
2.5m-r	Reflexiones en función del defecto, su orientación y forma.....	14
2.6	Scan A.....	15
2.7	Proceso scan B.....	16
2.8	Arreglo de escaneo tipo B.....	17
2.9	Imágenes en scan C de un bloque de referencia con un sistema de barrido Convencional de inmersión utilizando un transductor de inmersión centrado.....	18
2.10	Esquema de los componentes básicos de un palpador simple.....	19
2.11	Campo ultrasónico de un transductor.....	20
2.12	Campo sónico: campo cercano y lejano.....	21
2.13	Ilustra un palpador de doble cristal (emisor y receptor).....	22
2.14	Esquema de un palpador (transductor) angular.....	23
2.15	Bloque de calibración tipo II W.....	26
2.16	Calibración vertical de la pantalla.....	27
2.17	Calibración de la proporcionalidad de la longitud.....	28
2.18	Localización del punto de salida del haz.....	29
2.19	Determinación del ángulo del palpador.....	30
2.20	Diagrama de curva AVG particular para un palpador específico.....	31
2.21	Diagrama AVG normalizado.....	32
2.22	Aplicación de una curva DAC a la inspección de una pieza metálica.....	34
2.23	Muestra el trazo de la curva DAC.....	35
3.1.1	Bloque ASME tipo SC utilizado para calibración DAC.....	41
3.1.2	Bloque de resolución AWS utilizado para evaluar de la resolución y sensibilidad para transductor angular de 45°, 60° y 70°.....	42
3.1.3	Bloque tipo DS (tipo U).....	43
3.1	Probeta N-01, posee falta de penetración.....	44
3.2	Probeta N-02, posee mordedura de borde.....	44
3.3	Probeta N-03, posee fisura transversal.....	45
3.4	Probeta N-04, posee escoria.....	45
3.5	Probeta N-05, posee penetración excesiva.....	46
3.6	Probeta N-06, posee poros.....	46
3.7	Probeta N-07, posee inclusión.....	47
3.8	Probeta N-08, posee fisura.....	47
3.9	Probeta N-09, posee falta de fusión.....	48
3.10	Probeta N-10, posee quemón.....	48
3.11	Posición inicial (medio paso) del palpador angular de 70°, para la calibración.....	49
3.12	Primera respuesta de señal con la primera posición del palpador para la calibración	49
3.13	Segunda posición (paso) del palpador angular de 70°, para la calibración.....	49
3.14	Segunda respuesta de señal con la segunda posición del palpador para la calibración	49
3.15	Posición del palpador para obtener el primer pico para la curva DAC. Proveniente del agujero a $\frac{1}{4}$ T.....	50
3.16	Primer pico para el trazo de la curva DAC, proveniente del agujero situado a $\frac{1}{2}$ T con la segunda reflexión. Dentro del rango de referencia.....	50
3.17	Posición del palpador para obtener el segundo pico para la curva DAC. Proveniente del agujero a $\frac{1}{4}$ T.....	51
3.18	Segundo pico para el trazo de la curva DAC, proveniente del agujero situado a $\frac{1}{4}$ T	

	con la segunda reflexión. Dentro del rango de referencia.....	51
3.19	Posición del palpador para obtener el tercer pico para la curva DAC. Proveniente del agujero a $\frac{1}{4}$ T.....	51

FIGURA**PÁGINA**

3.20	Tercer pico para el trazo de la curva DAC, proveniente del agujero situado a $\frac{1}{2}$ T con la segunda reflexión. Dentro del rango de referencia.....	52
3.21	Rango mediante la línea de referencia, ubicado entre los picos del medio paso y paso donde estará ubicada la curva DAC. Trazada a 34 dB.....	52
3.22	Segunda curva DAC. Trazada a 40 dB.....	53
3.23	Barrido transversal para determinar el tamaño del defecto.....	54
3.24	Regleta utilizada para estimar la profundidad del defecto.....	54
3.25	Barrido horizontal para determinar la extensión del defecto, o el tamaño del defecto a lo largo del cordón de soldadura.....	55
3.26	Zona de inspección y la dirección de barrido a efectuarse. Primero transversal y luego longitudinal.....	56
3.27	Palpador ubicado en el medio paso, para inspeccionar el inicio de la falta de fusión en la base de la placa.....	56
3.28	Pico de respuesta de señal con una altura de 62% de ATP. (Pico máximo).....	56
3.29	Pico de respuesta de señal a 38 mm y con una altura de 49% de ATP. (Pico máximo).....	57
3.30	Pico de respuesta de señal a 40 mm y con una altura de 35% de ATP. (Pico máximo).....	57
3.31	Pico de respuesta de señal a 50 mm y con una altura de 15% de ATP. (Pico máximo).....	58
3.32	Palpador ubicado en el medio paso, desplazándose longitudinalmente para estimar la longitud de la falta de fusión en la placa.....	59
3.33	Pico de respuesta de señal con una altura de 62% de ATP. Para barrido longitudinal.....	59
3.34	Zona de inspección, la dirección de barrido a efectuarse y la posición del palpador sobre la placa. Primero transversal y luego longitudinal.....	59
3.35	Pico de respuesta de señal a una distancia de 68 mm y con una altura de 63% de ATP. En el límite del campo de inspección. Característica de mordedura de borde 46 dB de ganancia.....	59
3.36	Posición del palpador y la ubicación del defecto mordedura en el cordón de soldadura.....	60
3.37	Zona de inspección y la dirección de barrido a efectuarse. Transversal y luego longitudinal.....	61
3.38	Posición y dirección del palpador sobre la placa con fisuras transversales.....	62
3.39	Pico de respuesta de señal a una distancia de 74 mm y con una altura de 99% de ATP. Fuera del campo de análisis. Característica de fisura transversal.....	62
3.40	Zona de de barrido para inspección de escorias y la posición del palpador sobre la placa.....	63
3.41	Varios picos de respuesta de señal a una distancia de 40 mm y con una altura del más del 100% de ATP. Característica de escoria.....	64
3.42	Palpador desplazándose longitudinalmente para estimar la longitud de la escoria en la placa.....	65
3.43	Pico de señal con una altura de 45% de ATP. Para barrido longitudinal.....	65
3.44	Zona de de barrido para inspección de penetración excesiva y posición del palpador sobre la placa.....	65
3.45	Señal proveniente de una raíz de soldadura muy pronunciada.....	66
3.46	Pico de señal con una altura de 100% de ATP. Para barrido longitudinal.....	67
3.47	Zona de de barrido para inspección de poros y la posición del palpador sobre la placa.....	67
3.48	Tres picos de señal en la zona de interés y uno más fuera de la zona de interés. Característica de presencia de poros.....	68
3.49	Picos de señal de la porosidad. Para barrido longitudinal.....	68
3.50	Zona de de barrido para inspección de inclusiones y la posición del palpador sobre la placa.....	69

FIGURA		PÁGINA
3.51	Los dos picos de señal indican la presencia de una inclusión.....	69
3.52	Señal de una Inclusión. Para barrido longitudinal.....	70
3.53	Zona de de barrido para inspección de fisura y la posición del palpador sobre la placa...	70
3.54	Pico de señal. Característica de presencia de una fisura.....	71
3.55	Señal de una fisura. Para barrido longitudinal.....	72
3.56	Zona de de barrido para inspección de falta de fusión y la posición del palpador sobre la placa.....	72
3.57	Pico de señal. Característica de una falta de fusión.....	73
3.58	Señal de una falta de fusión. Para barrido longitudinal.....	73
3.59	Zona de de barrido para inspección de quemón y la posición del palpador sobre la placa.....	74
3.60	Pico de señal que revela la presencia un quemón.....	74
3.61	Señal de un quemón. Para barrido longitudinal.....	75
3.62	Barrido del Palpador sobre el bloque IIW y señal de scan B del fondo del bloque	76
3.63	Curva DAC obtenida con el equipo HUATEC FD201.....	76
3.64	Señal de la falta de fusión, en la modalidad B Scan.....	78
3.65	Señal de la falta de fusión en la modalidad B scan. Para barrido longitudinal.....	78
3.66	Señal del defecto mordedura de borde en la modalidad B scan.....	79
3.67	Señal característica de la fisura transversal en la modalidad B scan.....	80
3.68	Señal característica de la escoria en la modalidad B scan.....	81
3.69	Señal característica de la penetración excesiva en la modalidad B scan.....	81
3.70	Señal del defecto poro en la modalidad B scan.....	82
3.71	Señales provenientes del defecto poro para genera la evolvente de la fig. 3.70.....	82
3.72	Señal característica de una inclusión en la modalidad B scan.....	83
3.73	Señal característica de una fisura en la modalidad B scan.....	84
3.74	Señal característica de la falta de fusión en la modalidad B.....	84
3.75	Señal característica del defecto quemón en la modalidad B scan.....	85
3.76a	Palpador en contacto con la tubería.....	86
3.76b	Manera de calibrar sobre una tubería.....	86
3.77	Pico de señal producto de la calibración (paso).....	86
3.78	Curva AVG, para determinar el tamaño aproximado del agujero.....	87
4.1a	Equipo ultrasónico Krautkrämer.....	88
4.1b	Señal en el equipo Krautkrämer.....	88
4.2a	Equipo ultrasónico HUATEC.....	88
4.2b	Señal en el equipo HUATE.....	88
4.3	Indicación de defecto. Fisura transversal.....	89
4.4	Curva evolvente de la señal para la fisura transversal.....	90
4.5	Regleta utilizada para estimar la profundidad del defecto.....	90
4.6	Indicación del defecto. Curva evolvente de la señal para fisura transversal. Ubicación del defecto.....	91
4.7	Distancia angular en scan B (15.1mm).....	93
4.8	Distancia angular en scan B (18.7mm).....	93
4.9	Distancia angular en scan B (22.2mm).....	94
4.10	Zona de inspección sobre el bloque IIW.....	95
4.11	Picos de señal.....	95
4.12	Múltiples picos de señal provenientes de un punto de dispersión.....	96
4.13a	Señal característica de la falta de penetración en la base del cordón.....	96
4.13b	Evolvente de la señal proveniente de la falta de penetración en la base del cordón.....	96
4.13c	Esquema de la falta de penetración.....	97
4.13d	Señal de la falta de penetración en la base del cordón. Scan B.....	98
4.13e	Señal descendente similar a la de scan B.....	98
4.14a	Señal característica de la mordedura de borde.....	99
4.14b	Evolvente de la señal proveniente de la mordedura de borde.....	99
4.14c	Esquema de la mordedura de borde.....	99
4.14d	Señal de la mordedura de borde.....	100
4.15a	Señal característica de la fisura transversal.....	101
4.15b	Evolvente de la señal proveniente de la fisura transversal.....	101
4.15c	Esquema de la fisura transversal.....	101

4.15d	Señal de la mordedura de borde.....	101
4.16a	Señal característica de la escoria.....	102
4.16b	Evolvente de la señal proveniente de la escoria.....	102
4.16c	Esquema de la fisura transversal.....	102
<u>FIGURA</u>		<u>PÁGINA</u>
4.16d	Señal de la fisura transversal.....	103
4.17a	Señal característica de la penetración excesiva.....	104
4.17b	Evolvente de la señal proveniente de la penetración excesiva.....	104
4.17c	Esquema de la penetración excesiva.....	104
4.17d	Señal de la penetración excesiva.....	104
4.18a	Señal característica de porosidad.....	105
4.18b	Evolvente de la señal proveniente de la porosidad.....	105
4.18c	Esquema de la porosidad.....	105
4.18d	Señal de la porosidad.....	106
4.19a	Señal característica de la inclusión.....	107
4.19b	Evolvente de la señal proveniente de la inclusión.....	107
4.19c	Esquema de la inclusión.....	107
4.19d	Señal de la inclusión.....	107
4.20a	Señal característica de la fisura.....	108
4.20b	Evolvente de la señal proveniente de la fisura.....	108
4.20c	Esquema de la fisura.....	108
4.20d	Señal de una fisura.....	109
4.21a	Señal característica de la falta de fusión.....	110
4.21b	Evolvente de la señal proveniente de la falta de fusión.....	110
4.21c	Esquema de la falta de fusión.....	110
4.21d	Señal de una falta de fusión.....	110
4.22a	Señal característica del quemón.....	111
4.22b	Evolvente de la señal proveniente del quemón.....	111
4.22c	Esquema del quemón.....	111
4.22d	Señal del quemón.....	112
4.23	Bloque de resolución AWS y palpador de 70°.....	113
4.24	Señal proveniente de los tres picos en scan B.....	113
4.25	Señal que produce la evolvente de la fig. 4.24.....	113

LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>		<u>PÁGINA</u>
2.1	VARIACIÓN DE LA AMPLIFICACIÓN Y LÍMITES DE LA INDICACIÓN CORRESPONDIENTE.....	28
3.1	PUNTOS EMPLEADOS PARA EL TRAZO DE LA SEGUNDA CURVA DAC A 40 DB DE GANANCIA.....	53
3.2	SEÑALES MÁXIMAS OBTENIDAS DEL DEFECTO MORDEDURA DE BORDE.....	60
3.3	SEÑALES PROVENIENTES DEL DEFECTO FISURA TRANSVERSAL.....	63
3.4	SEÑALES PROVENIENTES DE LA ESCORIA. UBICADAS ENTRE	
3.5	DISTINTOS CORDONES.....	64
3.6	SEÑALES PROVENIENTES DEL DEFECTO PENETRACIÓN EXCESIVA..	66
3.7	SEÑALES PROVENIENTES DEL DEFECTO PORO.....	68
3.8	SEÑALES PROVENIENTES DEL DEFECTO INCLUSIÓN (VARILLA DE TUNGSTENO).....	70
3.9	SEÑALES PROVENIENTES DE LA FISURA.....	71
3.10	SEÑALES PROVENIENTES DEL DEFECTO FALTA DE FUSIÓN.....	73
3.11	SEÑALES PROVENIENTES DEL DEFECTO QUEMÓN.....	75
4.1	SEÑALES PROVENIENTES DEL DEFECTO FISURA TRANSVERSAL.....	89
4.2	UBICACIÓN DEL DEFECTO UTILIZANDO LA REGLETA.....	90
4.3	DISTANCIA ANGULAR EN RELACIÓN CON LA ALTURA DE LA SEÑAL EN SCAN B.....	95
4.4	RECORRIDO DEL HAZ (S) Y PROFUNDIDAD (D).....	98

LISTA DE ABREVIACIONES

ATP	Altura total de pantalla
END	Ensayo no destructivo
AWS	American Welding Society
ASME	Sociedad americana de Ingenieros Mecánicos
dB	Decibeles
Hz	Hertz
P	Paso
½ P	Medio paso
S	Distancia angular
AVG	Amplitud ganancia tamaño
DAC	Compensación distancia amplitud

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1:** END-US-001. Calibración con palpador normal y angular.
- ANEXO 2:** END-US-002. Curva DAC Scan A y B.
- ANEXO 3** END-US-003. Curva AVG Scan A y B
- ANEXO 4** END-US-004. Sensibilidad.
- ANEXO 5** END-US-005. Factor de transferencia por superficie.
- ANEXO 6** END-US-006. Inspección
- ANEXO 7** END-US-007. Reporte de inspección
- ANEXO 8** END-US-008. Verificación de Requisitos.
- ANEXO 9** END-US-001 Scan B. Descripción del Equipo HUATEC FD 201
- ANEXO 10** END-US-002 Scan B. Calibración Palpador Normal y Angular.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

Desde el inicio de la utilización de la inspección ultrasónica, numerosos intentos se hicieron para lograr resultados de los análisis de una manera fácil, de forma comprensible y de fácil interpretación. Antes del acceso a este tipo de método para detección de fallas o discontinuidades se realizaban ensayos destructivos en el material; tales como cortes, con el fin de estudiar la muestra y determinar los posibles defectos contenidos. Métodos de inspección como el ensayo visual, líquidos penetrantes y partículas magnéticas solo detectan discontinuidades superficiales, excluyendo la posibilidad de conocer lo que sucede en el interior del material. Métodos como ultrasonido y radiografía son aplicables para la detección de discontinuidades superficiales y también para discontinuidades internas [1].

Para garantizar la calidad de una unión soldada, el uso de END constituye una valiosa herramienta. La aplicación de los métodos de END, contribuye significativamente a determinar los niveles de calidad de las soldaduras producidas [2]. Los materiales que se pueden inspeccionar son muy diversos, pueden ser metálicos y no metálicos, y sus formas pueden ser el resultado de laminado, fundido, forjado, soldado entre otras. La aplicación de los ensayos se realiza bajo procedimientos escritos, que atienden a los requisitos de las principales normas o códigos de fabricación, tales como el ASME, ASTM, API y el AWS entre otros, dependiendo del caso [1]. Los estándares de calificación y certificación de personal para END son ANSI/ASNT CP-105-2006 y SNT-TC-1A-2006, respectivamente. Estos son usados como referencia por algunas empresas para tratar de cumplir con los requisitos establecidos en las normas técnicas [2]. Sin embargo, no hay información disponible sobre la metodología y menos aún procedimientos para inspección ultrasónica usando la técnica de scan B. Recientemente en la Epoch, principalmente en la Escuela de Ingeniería Mecánica se encuentra desarrollando una tesis sobre la relación que posee un defecto de morfología conocida y las señal ultrasónica de scan A que se produce en la inspección.

Hasta la presente no se ha realizado investigación sobre la exploración B (scan B) en el país; poco se conoce de cómo utilizarla y la representación de las señales producidas por defectos. En el presente trabajo, se pretende desarrollar un procedimiento para la detección de defectos en soldadura mediante la correlación de las señales producidas en un equipo ultrasónico con scan B y el defecto o discontinuidad que la produce al inspeccionar soldaduras.

1.2 JUSTIFICACIÓN.

Las señales de Scan B, al contar con más de un solo parámetro de indicación para la detección del defecto resultan más comprensivas que las del scan A. En este último, solo se divisan picos de señales tornando la interpretación un tanto complicada. Los beneficios que posee el scan B es una representación gráfica, en función del recorrido del ultrasonido dentro del espesor del objeto inspeccionado. Esta representación es ideal para mostrar cortes transversales de secciones corroídas o con defectos [4]. En otras palabras, se puede apreciar la profundidad a la cual se encuentra el defecto y su longitud, en dos coordenadas en la pantalla del equipo. Otra ventaja del scan B, es la posibilidad de utilizarlo como un medidor de espesor de corrosión, para determinar la profundidad y el perfil de esta [5].

El presente trabajo de tesis busca iniciar con el desarrollo del estudio del Scan B y su consecuente empleo en la inspección ultrasónica en juntas soldadas. Correlacionando las señales ultrasónicas del Scan B con la morfología y tipo del defecto. Elaborando un procedimiento y metodología de inspección ultrasónica con scan B en soldadura a fin de disponer de parámetros de comparación. El Scan B muestra la profundidad del defecto y su respectiva longitud, pero aun con estos parámetros adicionales los encargados de la inspección no pueden diferenciar las señales correspondientes a los defectos encontrados. De ahí la necesidad de realizar una investigación que otorgue al encargado de la inspección o al mismo inspector, las bases para la correlación de la morfología del defecto con una señal de B scan que lo caracterice.

El scan B emplea un menor tiempo de inspección ultrasónica y la posterior interpretación de los datos, de esta manera se produce una reducción de los costos de operación. Y por ende la posibilidad de realizar un mayor número de inspecciones que si fueran efectuadas con scan A.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL.

Desarrollar una guía para la interpretación de indicaciones por ultrasonido con scan b para la de detección de defectos en soldadura.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Desarrollar procedimientos y metodologías de operación para la utilización del equipo de ultrasonido con scan B.

- Determinar los parámetros de calibración del equipo ultrasónico con scan B.
- Caracterizar e interpretar las señales ultrasónicas de scan B y determinar su relación con el tipo de defecto.
- Elaborar procedimientos y metodologías de operación para inspección ultrasónica con scan B en soldadura a tope y en filete.

CAPÍTULO II

2. INSPECCIÓN ULTRASÓNICA CON B SCAN EN JUNTAS SOLDADAS.

2.1 Generalidades de Inspección Ultrasónica.

2.1.1 Principios de inspección ultrasónica.

La inspección por ultrasonido es un método no destructivo en el cual un haz o un conjunto de ondas de alta frecuencia son introducidos en los materiales para la detección de fallas en materiales metálicos y no metálicos. Las ondas que viajan a través del material; van disminuyendo paulatinamente y son reflejadas a la interfaz (superficie de contacto, conexión física entre dos sistemas independientes). El haz reflejado es analizado y mostrado para definir la presencia y localización de fallas y discontinuidades.

El grado de reflexión depende en gran parte del estado físico de los materiales que forman la interfaz. Por ejemplo: las ondas son reflejadas casi totalmente en la interfaz metal/gas. Por otro lado existe una reflectividad parcial en la interfaz metal/sólido [5].

Grietas, laminaciones, poros, socavados y otras discontinuidades que producen interfaces reflectivas pueden ser detectadas fácilmente. Inclusiones y otras partículas extrañas pueden ser también detectadas a causa de la baja reflexión [5].

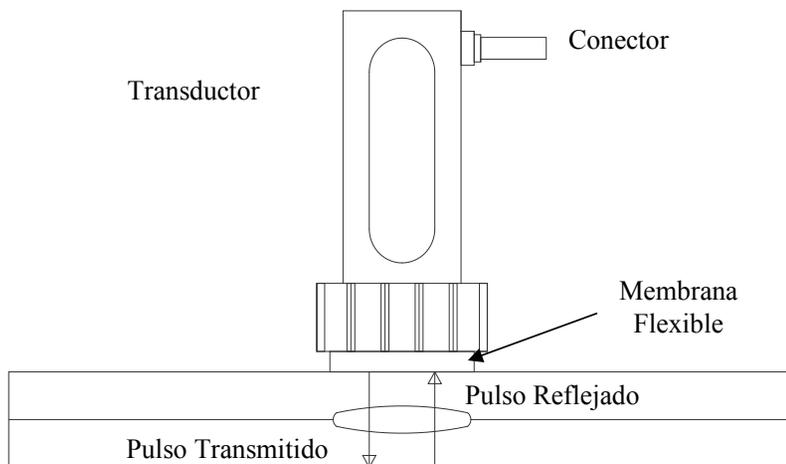


Fig. 2.1 Esquema general del proceso UT.

La mayoría de los instrumentos de inspección ultrasónica detectan fallas monitoreando uno o más de los siguientes puntos:

- La reflexión del sonido de las interfaces, en los límites del material o en discontinuidades dentro del material mismo.
- El tiempo de tránsito de la onda durante la prueba dentro de la pieza desde el punto de entrada del transductor hasta el punto de salida.
- La atenuación de las ondas en la pieza debido a la absorción y dispersión dentro del material [6].

La mayoría de las inspecciones ultrasónicas son realizadas en frecuencias entre 0.1 y 25 MHz. Las ondas de ultrasonido son vibraciones mecánicas, las amplitudes de estas vibraciones producen esfuerzos en las piezas por debajo de su límite elástico, es así que los materiales no sufren deformaciones plásticas [6].

La técnica de ultrasonido utiliza la ley de Snell bien conocida en óptica, que también, es aplicable a ondas ultrasónicas. Es utilizada para calcular el ángulo de refracción de la luz al atravesar la superficie de separación entre dos medios de índice de refracción distinto. La ley de Snell establece que el producto del índice de refracción por el seno del ángulo de incidencia es constante para cualquier rayo de luz incidiendo sobre la superficie de separación de dos medios. Aunque la ley de Snell fue formulada para explicar los fenómenos de refracción de la luz se puede aplicar a todo tipo de ondas que atraviesan una superficie de separación entre dos medios en los que la velocidad de propagación de onda varía.

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{C_1}{C_2} \quad \frac{\sin \alpha_1}{C_1} = \frac{\sin \alpha_2}{C_2} \quad (1.1)$$

La relación es aplicada independientemente si uno esta trabajando con la componente reflejada o refractada. Solo los ángulos correspondientes y las velocidades de propagación deben ser introducidos [6,7, 8].

Los equipos más comúnmente utilizados son los de modo de video presentación que operan en el modo scan A, para la inspección en soldadura y materiales. Estos equipos operan mediante la técnica pulso-eco.

En la pantalla de vídeo presentación, el tiempo base está situado horizontalmente en la parte inferior de la pantalla, como un pulso inicial vertical de indicación en el extremo izquierdo de la línea de base. La exploración indica que el lapso de tiempo entre pulsos está representado por la dirección horizontal, y la relativa amplitud de la señal es representada por el grado de reflexión vertical sobre la pantalla. La pantalla por lo general se gradúa en la dirección horizontal y vertical para facilitar la medición del pulso [6,7].

El intervalo de tiempo horizontal (barrido de longitud) es ajustable mediante un material de control y la velocidad de propagación conocida, por lo que es posible traducir este intervalo de tiempo en distancia. La localización horizontal del pulso inicial con un retraso de ajuste permite barrer toda la pieza en inspección de ser esta localización horizontal colocada correctamente en la pantalla [6,7].

La ubicación horizontal de un defecto (reflector) en la pantalla es proporcional a la distancia que el sonido ha viajado en la probeta, por lo que es posible determinar la ubicación de defectos (reflectores) mediante el uso de una pantalla horizontal con graduaciones como regla de medición de la distancia.

La pantalla en la dirección vertical es ajustable como un pulso de energía; es decir, nivel de ganancia o control de atenuación, lo cual que hace posible mostrar la posición relativa en altura, de la indicación de defecto (reflector) [6,7].

Para la interpretación existen dos métodos básicos de evaluación de las amplitudes de los defectos (reflectores). El primero ofrece un más amplio rango y a la vez una mayor precisión de evaluación utilizando una calibración en decibeles de ganancia o de atenuación. El otro emplea la pantalla en porcentaje de altura de la señal. Este último requiere que los patrones de atenuación de sonido se dibujen o estén sobrepuestos en la pantalla para compensar la atenuación del sonido con la distancia (curvas DAC), en equipos con estas unidades, la compensación por esas pérdidas se puede hacer con un dispositivo calibrado en decibeles de control de ganancia o de atenuación [6,7].

El decibel es una unidad de medida de las amplitudes relativas de dos señales acústicas o eléctricas.

En fin, para utilizar el sistema del decibel para evaluación de defectos, cada una de las indicaciones deben ser evaluadas, ajustadas a un nivel de referencia en la pantalla con el uso del control de calibración de ganancia o atenuación; los rangos de decibeles son calculados matemáticamente.

Algunas unidades de ultrasonido están equipadas con dispositivos de corrección distancia-amplitud (DAC), curva característica de compensación de la amplitud de pérdidas por vía electrónica, para la linealidad de la escala vertical, sobre todo cuando se utiliza junto con las lecturas de amplitud en decibeles [7].

La calificación AWS D 1.1, Structural Welding Code-Steel, es probablemente el código más restrictivo de ultrasonidos para la inspección en que el error tolerable de decibeles es de más o menos un decibel sobre un rango de sesenta decibeles.

Generalmente, el porcentaje de graduaciones en la pantalla, hacen que la proporción de decibeles sea de naturaleza logarítmica [9].

Un parámetro a tomar en consideración es *la atenuación ultrasónica*, la cual, es una combinación de pérdida de intensidad ultrasónica debido a la divergencia del haz y las pérdidas debido a la dispersión de la onda cuando se encuentra con una interfaz.

Sonidos de alta frecuencia no siempre pasan a través de un material de la misma manera. Hay tres modos básicos de propagación de ondas que normalmente se asocian con soldadura de materiales. El más simple modo es de onda longitudinal (directas o compresión). El sonido de alta frecuencia se introduce en el medio de ensayo en una dirección normal a la interfaz entre la unidad de búsqueda y el material de ensayo [6,7].

En este modo, la principal dirección de vibración de las partículas del material es paralela a la dirección de la propagación de las ondas a través del material.

Otro modo es el de cizallamiento/corte (ángulo o transverso) el modo en que la dirección principal de vibración de las partículas del material es perpendicular a la dirección de propagación de ondas.

El tercer modo es la superficie de onda (Rayleigh), de carácter transversal, que sigue a lo largo de las superficies del material. Ondas de cizalla y superficie no se propagan en medios líquidos [7].

Cuando una onda ultrasónica longitudinal se dirige de un medio a otro de diferentes propiedades acústicas en un ángulo que no sea normal a la interfaz entre los dos medios de comunicación, una

transformación modo-onda se produce. La transformación resultante depende del ángulo de incidencia en el primer medio y de la velocidad del sonido en el primer y segundo medio de comunicación [6,7,8].

2.1.1.1 Técnica de pulso-eco

Los dos métodos más importantes para la inspección por ultrasonido son el método de transmisión y el método eco-pulsado. La principal diferencia entre estos dos métodos es que el método de transmisión involucra solo la medición de la atenuación de la señal, mientras que el método eco-pulsado puede ser utilizado para medir el tiempo de tránsito y la atenuación o disminución de la señal [5].

El método eco-pulsado es el más utilizado en inspecciones ultrasónicas, involucra la detección de ecos producidos cuando un pulso ultrasónico es reflejado por una discontinuidad o una interface en una pieza de trabajo. Este método es utilizado para detectar la localización (posición) de la falla y para medir espesores [6].

En el método eco-pulsado pequeñas ráfagas de energía ultrasónica (pulsos) son introducidas dentro de la pieza de trabajo a intervalos regulares de tiempo. Si encuentran una superficie reflectiva, toda o alguna parte de la energía es retornada. La proporción de energía que es reflexiva es altamente dependiente del tamaño de la superficie reflectiva en relación con el tamaño del haz incidente [5].

La dirección del haz reflejado (eco) depende de la orientación de la superficie reflectiva respecto a la dirección de incidencia del haz. La energía reflejada es monitoreada, ambas, la cantidad de energía reflejada en una dirección específica y el tiempo de demora entre la transmisión del pulso inicial [6].

La profundidad de la falla está determinada por el "tiempo de vuelo" o "tiempo de recorrido" entre el pulso inicial y el eco producido por la falla. La profundidad de la falla también se puede determinar por el tiempo relativo de tránsito entre el eco producido por una falla y el eco de la superficie de respaldo [6].

Las dimensiones de las fallas se estiman comparando la amplitud de la señal del sonido reflejado por una interface con la amplitud del sonido reflejado desde un reflector (defecto) de referencia de tamaño conocido o por una pieza de respaldo que no contenga fallas[6].

Principio de los métodos eco-pulsados:

La mayoría de los equipos de eco-pulsado consisten en:

- En reloj electrónico.
- Un generador electrónico de señal o pulsador.
- Un transductor de envío.
- Un transductor de recepción.
- Un amplificador de eco-senal.
- Un dispositivo de salida.

La información del método de eco-pulsado puede ser desplegada en diferentes formas. Las formas básicas son: Scan A-B-C.

Técnicas utilizadas

Técnica directa

La onda se proyecta perpendicularmente a la superficie del material, para obtener y estudiar las reflexiones producidas desde la superficie posterior del mismo o desde discontinuidades o grietas situadas entre ambas superficies. [10]

Se pueden agrupar en dos tipos:

- 1) Modo pulso-eco: Pueden emplearse 1 ó 2 transductores.

La figura 2.2a, muestra la utilización de un solo palpador el cual actúa como emisor y receptor del haz para la detección de defectos. El haz viaja a través del material, la onda rebota en una

discontinuidad o en el final de la placa. Esta señal es recogida por el transductor (emisor y receptor), posteriormente interpretada por el equipo ultrasónico, presentando la respuesta en la pantalla.

Este método posee la ventaja que solo necesita un punto de acceso hacia el material de ensayo.

La figura 2.2b, muestra la utilización de dos transductores en el cual uno actúa como emisor, y el otro como receptor de haz. El haz enviado por el emisor viaja a través del material de ensayo, este rebota en una discontinuidad o en el extremo de la placa. La señal es recibida por el transductor receptor, esta señal es procesada por el equipo ultrasónico, posteriormente presentada en la pantalla.

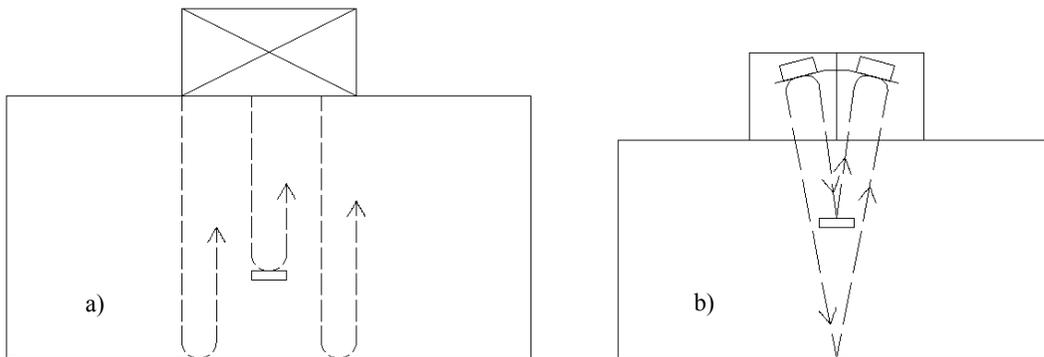


Fig. 2.2. Técnica de haz directo con un transductor en una placa.

2) Modo transmisión: Se emplean dos transductores [10].

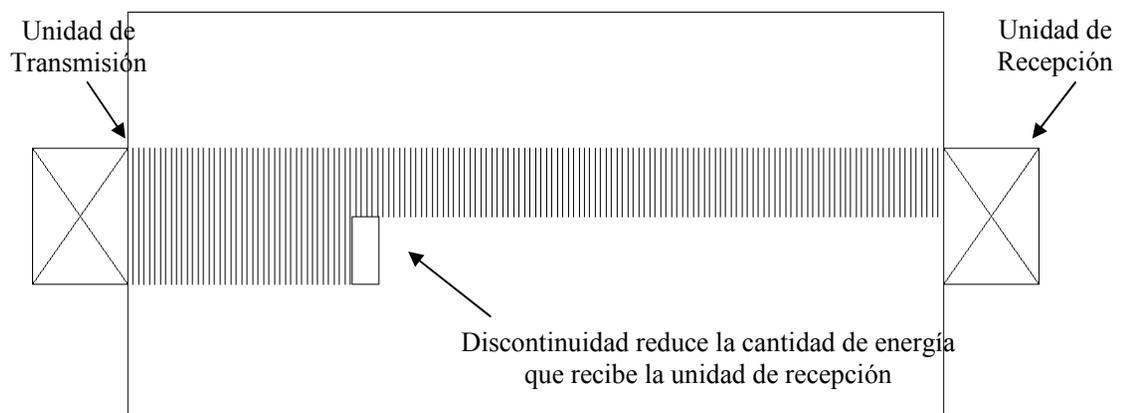
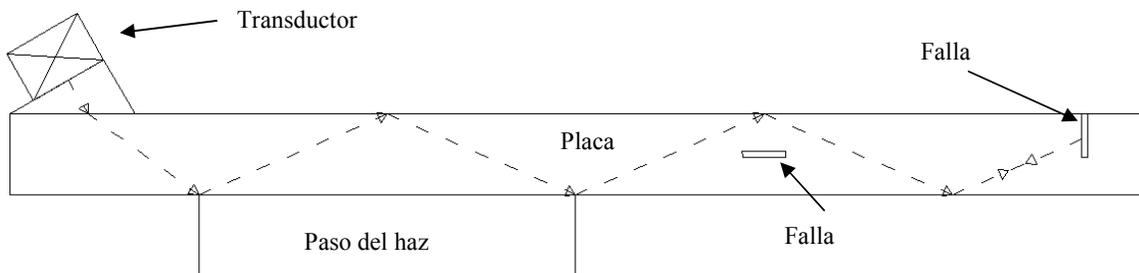


Fig. 2.3. Técnica de haz directo con dos transductores en una placa. Redibujado en basa a Metals Handbook

Vol. 17.

Técnicas de haz angular

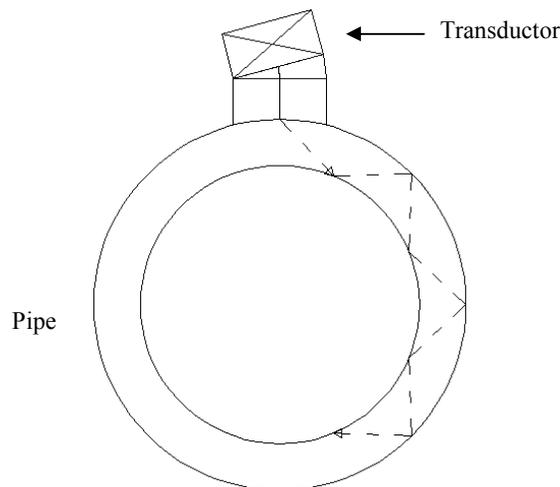
En las técnicas de haz angular, el pulso de sonido incidente penetra la pieza a evaluar, en un ángulo oblicuo en lugar de un ángulo recto. En contraste con las pruebas de haz recto, este método elimina los ecos de la superficie posterior y frontal y solo despliega reflexiones causadas por discontinuidades que son normales al haz de incidencia [5].



a)

Fig. 2.4. Técnica de haz angular con un transductor en una placa **fig. a** y en un tubo **fig. b**. Redibujada según

Metals Handbook Vol. 17.



b)

Fig. 2.4. Técnica de haz angular con un transductor en una placa **fig. a** y en un tubo **fig. b**. Redibujada según Metals Handbook Vol. 17.

Atenuación Ultrasónica

El haz de ultrasonido va perdiendo intensidad conforme va avanzando por el medio en el cual se esta propagando. Esta pérdida por unidad de longitud se denomina *atenuación*.

La atenuación se produce por diferentes factores, desde la propia absorción del ultrasonido por el medio, hasta las diversas reflexiones que puedan producirse por la heterogeneidad del medio. También se producen dispersiones por cambios de dirección por refracción.

La atenuación es de tipo exponencial. Para ultrasonido, se establece el *coeficiente de atenuación*, que varia con las propiedades del medio y con la frecuencia del haz ultrasónico.

La atenuación es directamente proporcional a la frecuencia del haz ultrasónico utilizado, por lo que se debe esperar una mayor pérdida de intensidad del haz en profundidad, con haz ultrasónico de mayor frecuencia.

Interacción de la señal ultrasónica con el defecto

La señal ultrasónica que se propaga en el medio de inspección, al ponerse en contacto con una indicación o defecto produce varias formas de reflexión. Lo que produce que parte de la señal sea reflejada hacia el palpador y parte sea reflejada en otra dirección lo que impide que esta sea recopilada por el palpador, reduciendo la altura de los picos de señal. La reflexión tambien depende de la orientación de la superficie reflectora, la forma (esférica, plana, cilíndrica, etc.) y por supuesto del tipo del defecto (cavidades gaseosas, segregaciones, inclusiones no metálicas, etc.) [8].

Una representación aproximada de estos sucesos se muestran en la fig. 2.5 **a-r**.

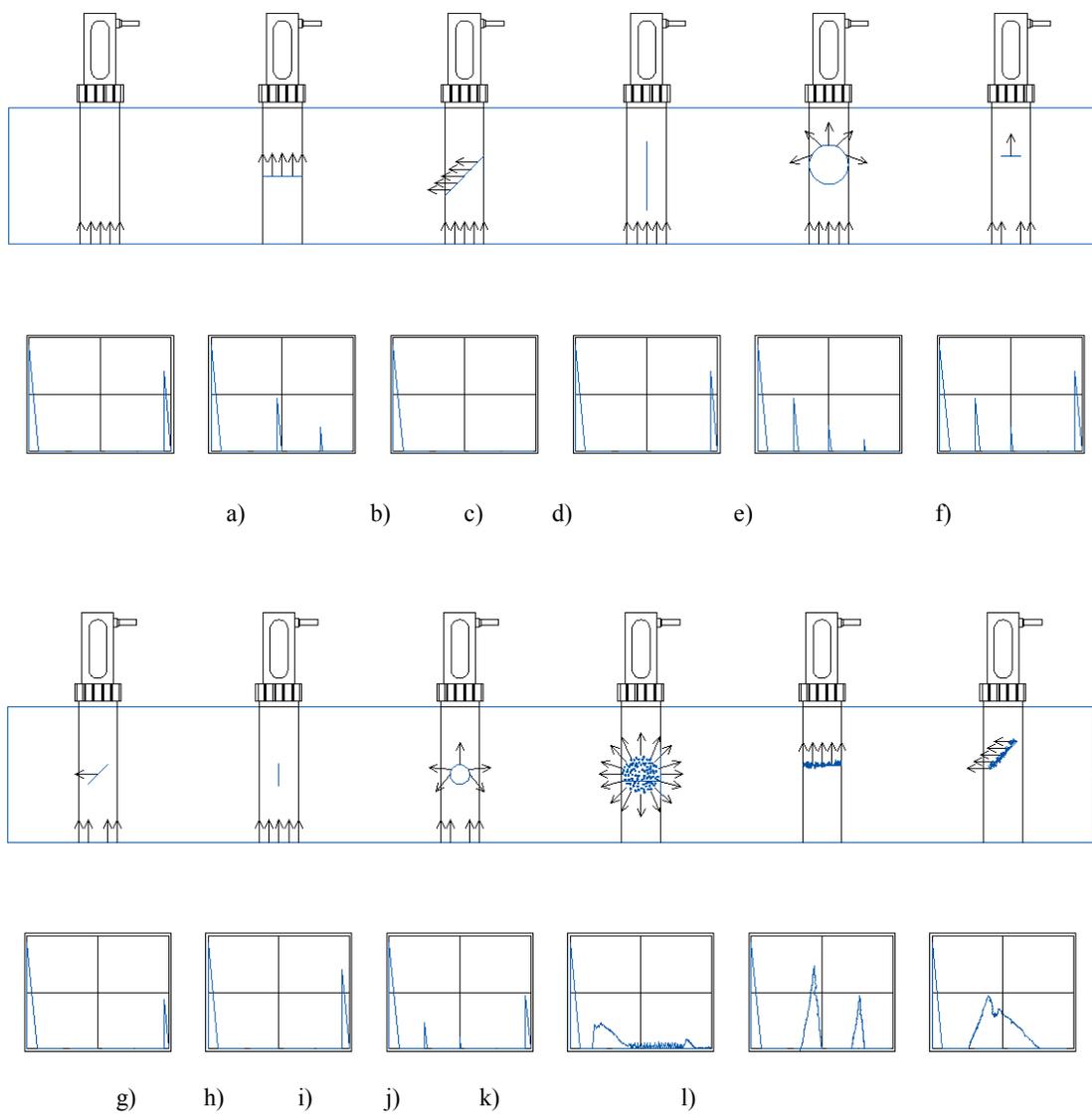


Fig. 2.5 a-l Reflexiones en función del defecto, su orientación y forma.

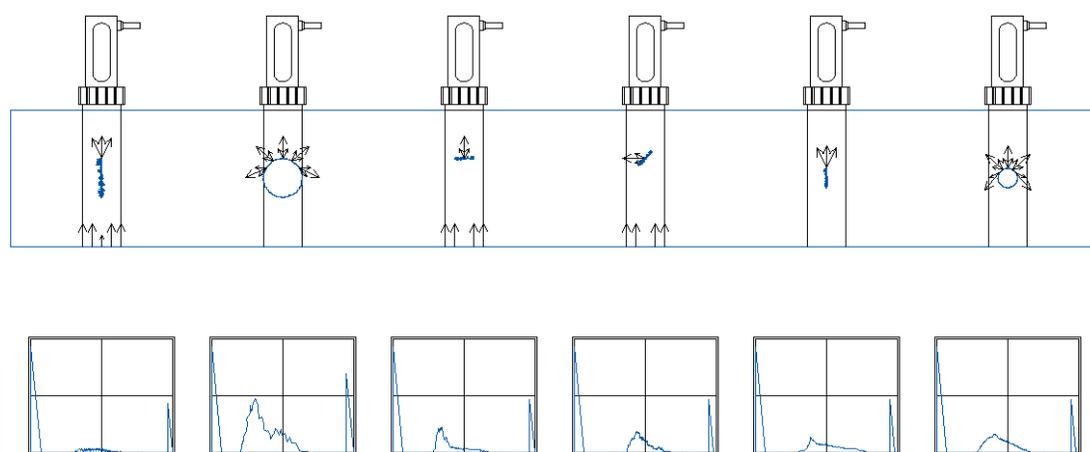


Fig. 2.5 m-r Reflexiones en función del defecto, su orientación y forma.

2.1.1.2 Tipos de barrido (Scan) ultrasónico A – B – C.

Cualquier instrumento de ultrasonido generalmente registra dos parámetros fundamentales de un eco: cuan largo es este (amplitud), y donde este se produce en el tiempo con respecto a un punto cero (pulso de tiempo de tránsito). El tiempo de tránsito, a su vez, suele ser correlacionado con la profundidad o la distancia hacia el reflector, basado en la velocidad del sonido en el material de prueba y de la simple relación: $\text{Distancia} = \text{velocidad} \times \text{tiempo}$ [11].

2.1.1.3 A-scan

La más básica y utilizada forma de presentación de onda ultrasónica es en forma de A-scan (o forma de pantalla plana), en la que la amplitud y tiempo de tránsito del eco son impresos en una simple rejilla, el eje vertical representa la amplitud y el eje horizontal representa el tiempo. En la fig. 2.6, que se presenta a continuación la barra roja en la pantalla la cual es una puerta que selecciona una parte de la onda para el análisis, por lo general, la medición de la amplitud del eco y/o profundidad [11].

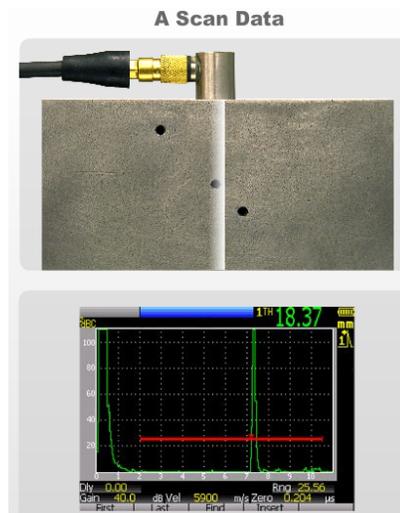


Fig. 2.6 Scan A (Tomada de Olympus Corporation, Olympus NDT Phased Array Tutorial)

Este formato provee un desplegado cuantitativo de señales y tiempo de vuelo o de recorrido obtenido en un punto simple en la superficie de la pieza. Puede ser empleado para analizar el tipo, localización y tamaño de una falla [11].

2.1.1.4 Scan B

Otra forma de presentar esta información es el scan B, la cual es una representación bidimensional en los ejes coordenados X y Y. El scan B es de uso común con los detectores de fallas y medidores de espesor de corrosión modernos para determinar la profundidad de los defectos (reflectores) con respecto a su posición lineal. El espesor se representará gráficamente como una función del tiempo o de la posición mientras el transductor escanea a lo largo del área que proporcionara el perfil de profundidad. Correlacionar datos ultrasónicos reales con un transductor de posición proporcional permite ver lo que se está representando gráficamente, y la posibilidad de correlacionar los datos y realizar un seguimiento a las áreas específicas a ser inspeccionadas. El seguimiento se suele hacer a través del uso de dispositivos electromecánicos conocido como codificadores. Estos codificadores se utilizan en instalaciones de escaneo manual o bien con sistemas automatizados que mueven el transductor por un motor programable controlado.

En la fig. 2.7, el scan B muestra los defectos (reflectores) y su profundidad, lo que corresponde a las posiciones de los agujeros taladrados en el bloque de ensayo [4].

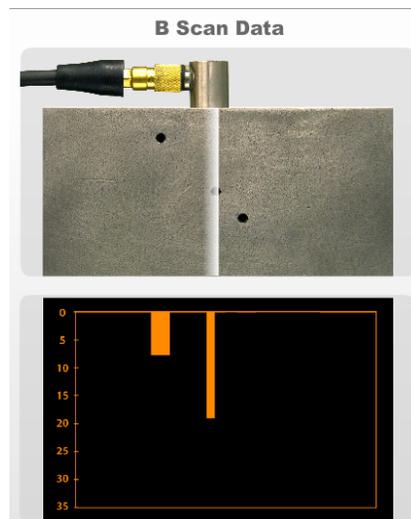


Fig. 2.7 Proceso Scan B (Tomada de Olympus Corporation, Olympus NDT Phased Array Tutorial)

Este formato provee un desplegado cuantitativo de "tiempo de vuelo o de recorrido" obtenido a través de una línea de la pieza. El escaneo tipo B muestra la profundidad relativa de los reflectores (defectos)

y es usado principalmente para determinar el tamaño (longitud en una dirección), localización (posición y profundidad) y de alguna manera la forma y orientación de las fallas largas [6].

Desplegado del escaneo tipo B.

Es básicamente una gráfica de tiempo versus distancia, en el cual un eje ortogonal en el desplegado corresponde al tiempo transcurrido, mientras que el otro eje representa la posición del transductor a través de una línea sobre la pieza de trabajo relativa a la posición del transductor al inicio de la inspección. La intensidad del eco no es medida directamente porque ya es medida en el escaneo tipo A, pero es regularmente indicada semi-cuantitativamente por el brillo relativo del eco que generan las indicaciones en el osciloscopio [6].

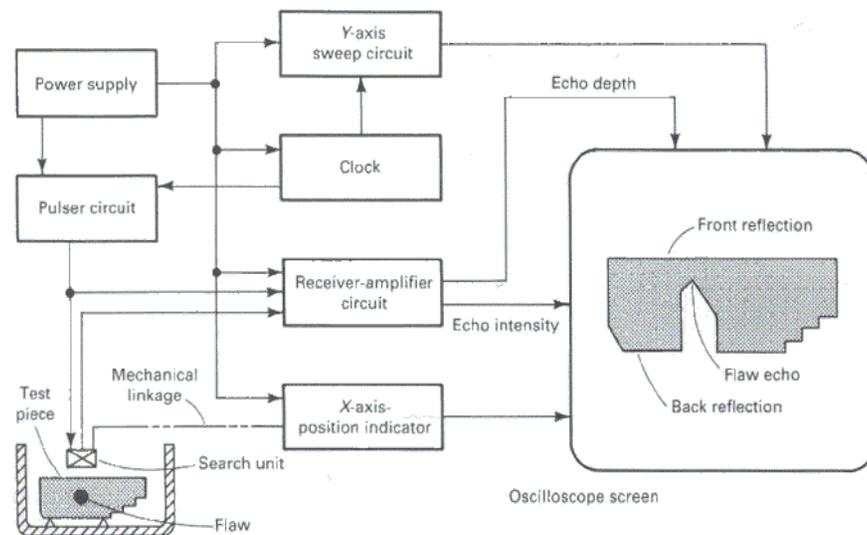


Fig. 2.8. Arreglo de escaneo tipo B. (Tomada de Metals Handbook Vol. 17)

2.1.1.5 Scan C (Phased Array)

Otra opción es la presentación de scan C, una presentación de dos dimensiones de datos, aparece como un plano superior o la vista de una pieza de ensayo, similar en su gráfico de perspectiva a una radiografía, donde el color representa la puerta de señal de amplitud o la profundidad en cada punto de la probeta asignada a su posición. El plano de imágenes se puede generar con datos de seguimiento de

posición XY y en piezas cilíndricas con seguimiento de posición angular y axial. Para ultrasonido convencional, un escáner con codificadores mecánicos se utilizan para rastrear las coordenadas del transductor [12].

Este formato provee un desplegado semi-cuantitativo o cuantitativo de señales de amplitudes obtenidas sobre un área de la pieza a evaluar [12].

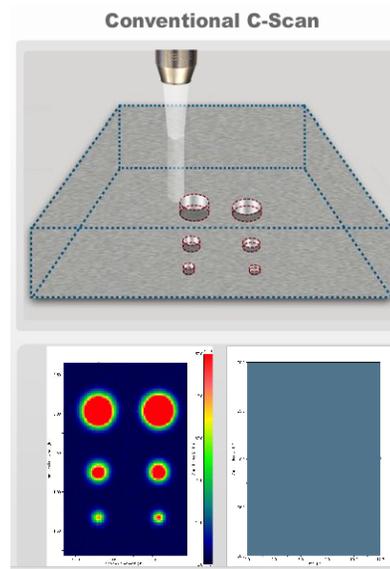


Fig. 2.9. Imágenes en scan C de un bloque de referencia con un sistema de barrido convencional de inmersión utilizando un transductor de inmersión centrado. (Tomada de Olympus Corporation, Olympus NDT Phased Array Tutorial)

2.2 Equipo utilizado en inspección ultrasónica

2.2.1 Palpadores.

Un transductor (palpador) es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra. Un transductor ultrasónico convierte energía eléctrica en energía mecánica, en forma de sonido y viceversa. Los componentes principales son el elemento activo, el apoyo (*backing*) y una placa protectora (*wear plate*).

El elemento activo, es un material piezo o ferroeléctrico, que convierte la energía eléctrica de un pulso de excitación en energía ultrasónica. Los materiales usados comúnmente son cerámicas

polarizadas que son cortadas en numerosas maneras para producir diferentes formas de onda. Actualmente se están utilizando nuevos materiales como piezo-polímeros y compuestos [13].

El apoyo, es usualmente un fuerte atenuador, un material de alta densidad usado para controlar las vibraciones del transductor absorbiendo la energía radiada por la cara trasera del elemento activo. Cuando la impedancia acústica del apoyo se iguala con la impedancia acústica del elemento activo, el resultado será un transductor fuertemente amortiguado, con un buen rango de resolución pero con una baja amplitud de señal. Si existe diferencia entre la impedancia acústica del elemento activo y el apoyo, mayor energía de sonido será emitida hacia el material en prueba. Este último será un transductor con menor resolución debido a la mayor duración de la onda, pero con una mayor amplitud de señal o sensibilidad [13].

Placa protectora, El propósito básico de esta es proteger el elemento transductor del entorno. En el caso de transductores de contacto, la placa protectora debe ser duradera y resistente a la corrosión [12].

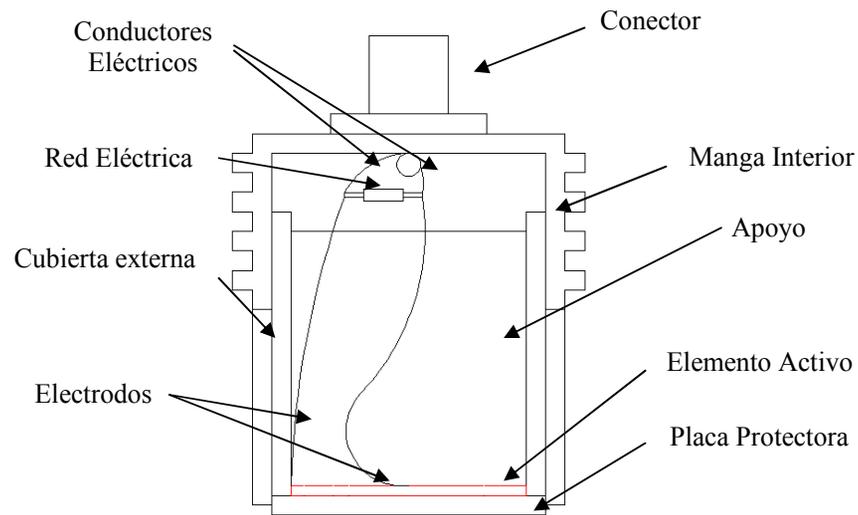


Fig. 2.10 Esquema de los componentes básicos de un Palpador simple (transductor).

La oscilación del cristal decae lentamente en su propia frecuencia de resonancia. Ahora bien, como en el procedimiento de impulso-eco, el cristal, eventualmente debe, tras un intervalo extremadamente corto, funcionar otra vez como receptor, es preciso obtener en el menor tiempo posible la atenuación de las oscilaciones inductivas. Pero esta atenuación no deberá ser demasiado fuerte, tal que reduzca pronunciadamente la sensibilidad del palpador.

Desafortunadamente el requisito de alta sensibilidad de respuesta y al mismo tiempo, pulsos estrechos dando alta resolución se oponen mutuamente [5].

2.2.1.1 Campo Sónico. Es el área influenciada por las vibraciones transmitidas por el palpador.

Es muy importante para la evaluación del tamaño de defectos.

El cristal transmite las ondas ultrasónicas únicamente en sentido perpendicular a las superficies que se aplican cargas eléctricas; esto ocurre, aproximadamente, en forma de un haz de rayos paralelos, con una sección transversal correspondiente al diámetro del transductor para la primera parte de la propagación. A una cierta distancia el haz se abre en forma de cono, como indica la fig. 2.11.

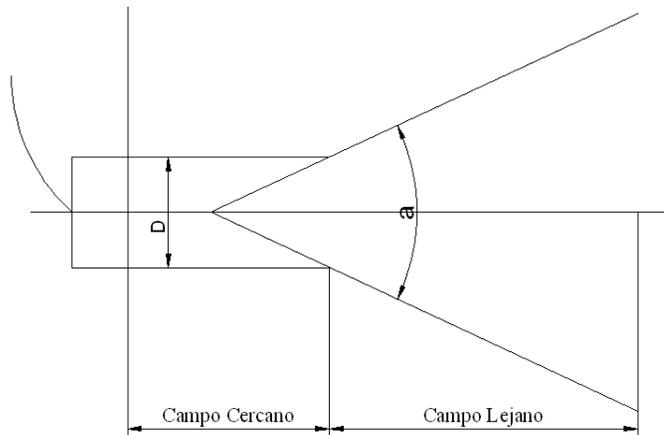


Fig. 2.11 Campo Ultrasónico de un transductor.

El área de rayos ultrasónicos paralelos se llama campo cercano y el área de rayos que se abren cónicamente se llama campo lejano [5].

El campo cercano (próximo) es la región directamente frente al transductor, donde el eco y la amplitud tienen una serie de máximos y mínimos y acaban en el último máximo, a una distancia N del transductor (fig. 2.12). La situación del último máximo es conocida como la distancia del campo próximo y es el enfoque natural del transductor.

Los palpadores de incidencia normal funcionan siguiendo los principios mencionados anteriormente en este documento. Estos palpadores pueden ser de simple o doble cristal.

Para un haz de incidencia normal, (la transmisión del sonido es perpendicular a la superficie de la pieza).

El nombre de “palpador normal”, deriva de la dirección en que las ondas ultrasónicas viajan en la pieza, (la dirección perpendicular a la superficie de un objeto se conoce como la dirección “normal”).

El cristal del transductor tiene metalizadas las caras para poder aplicarle pulsos eléctricos. Una de esas caras se pega al cuerpo amortiguador, la otra puede ser acoplada directamente a la pieza a ensayar (cristal sin protección), o estar cubierta por una capa de material plástico o cerámico; como se muestra en la fig. 2.10 [5].

Palpadores de doble cristal combinan dos sistemas de palpadores completos, en una sola carcasa. Una barrera acústica entre los dos sistemas evita la transmisión del uno al otro dentro del palpador, mientras que el un cristal actúa como emisor el otro actúa como receptor, ilustrado en la fig. 2.13.

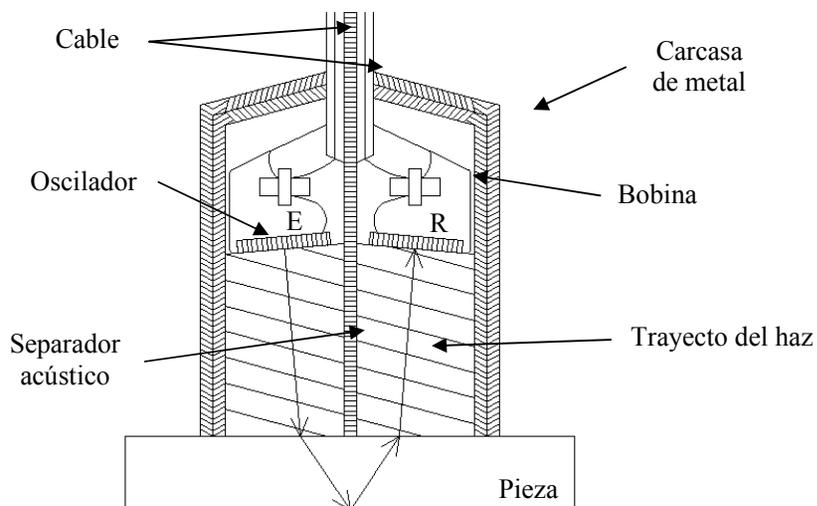


Fig. 2.13 Ilustra un palpador de doble cristal (emisor y receptor).

2.2.1.3 Palpador Angular

Los transductores de emisión angular usan el principio de refracción para producir una onda transversal o longitudinal refractada en el material a prueba, como muestra la fig. 2.14 [12].

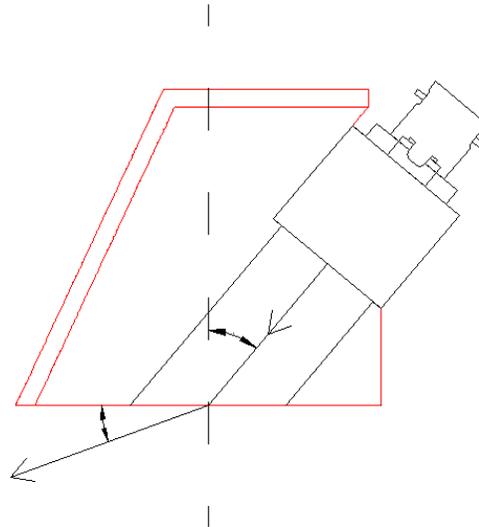


Fig. 2.14 Esquema de un palpador (transductor) angular.

$$\frac{\sin e_i}{c_i} = \frac{\sin e_{rl}}{c_{rl}} = \frac{\sin e_{rs}}{c_{rs}} \quad (1.4)$$

Donde:

e_i = Angulo de incidencia de la cuña.

e_{rl} = Angulo de la onda longitudinal refractada.

e_{rs} = Angulo de la onda transversal refractada.

c_i = Velocidad del sonido en el material incidente.

c_{rl} = Velocidad del sonido en el material (ondas longitudinales).

c_{rs} = Velocidad del sonido en el material (ondas transversales).

Debido a los efectos de la dispersión de la emisión, esta ecuación no se cumple en bajas frecuencias y con elementos de pequeño tamaño.

Las emisiones de éstos transductores son usualmente utilizados para localizar grietas con una orientación no paralela a la superficie del material a prueba.

2.2.2 Acoplante

Al utilizar la técnica operatoria por contacto se hace imprescindible emplear un medio acústicamente conductor interpuesto entre el palpador y el objeto a examinar. Este medio suele ser llamado “acoplante”.

- El acoplante, cualquiera que sea éste, con todos sus aditivos no ejercerá acción alguna que pueda afectar al estado de superficie de la pieza sometida a examen.
- Se utilizará el mismo acoplante para la calibración del aparato que para la realización del examen.
- El acoplante, una vez terminado el examen, será eliminado utilizando los materiales adecuados.
- El acoplante que se utilice en el examen por ultrasonido del acero inoxidable, no contendrá cloruros que excedan de 100 ppm, o sulfuros que sobrepasen las 500 ppm [13].
- Como acoplantes podrían ser utilizados, entre otros, los siguientes: aceite lubricante SAE 20 ó SAE 30, agua, glicerina, benceno, pastas acoplantes, siliconas, soluciones jabonosas, líquidos con inhibidores de la oxidación. En el caso de utilizar agua se le podrá añadir agentes humectantes y correctores de la dureza.

2.2.3 Calibración

Como operación previa a la inspección por ultrasonido es necesario realizar una comprobación satisfactoria del estado de funcionamiento del equipo. Esta comprobación incluirá el ajuste de la linealidad vertical y horizontal de la pantalla, la proporcionalidad del control de amplificación (ganancia).

Todo el conjunto equipo, palpador y cables de conexión que vayan a ser utilizados deben ser comprobados.

Esta calibración, de acuerdo con las recomendaciones establecidas en el código ASME- Sección V, deberá repetirse siempre que se produzca cualquier variación en las condiciones en que inicialmente fue realizada.

La calibración será necesaria siempre que se cambie de operador, palpadores, cables de conexión o medio acoplante; también al término de una jornada de trabajo [13].

2.2.3.1 Bloques de calibración

Los bloques de calibración en el ensayo por contacto se usan para comprobar el funcionamiento del equipo ultrasónico y del transductor, y para efectuar la regulación del instrumento a fin de que este se adapte a las condiciones del ensayo [5].

Considerando que se esta refiriendo fundamentalmente al examen por ultrasonido de uniones soldadas, los bloques que podrían ser utilizados son:

- Bloque del tipo AWS tipo II W.
- Bloques auxiliares para referencia.

En cualquier caso el material con el que se construya el bloque de calibración, debe ser igual o ultrasónicamente equivalente al que se va a examinar.

Bloque normalizado tipo II W. El bloque normalizado por el Instituto Internacional de Soldadura es el mostrado en la fig. 2.15. Servirá para realizar y comprobar la calibración en distancias y para la comprobación del punto de salida y ángulo del haz ultrasónico emitido por un palpador angular en condiciones normales.

La principal misión del bloque es el ajuste del equipo, en conjunto con los palpadores normales y angulares, así como para la calibración en campos menores de 200 mm [5, 13].

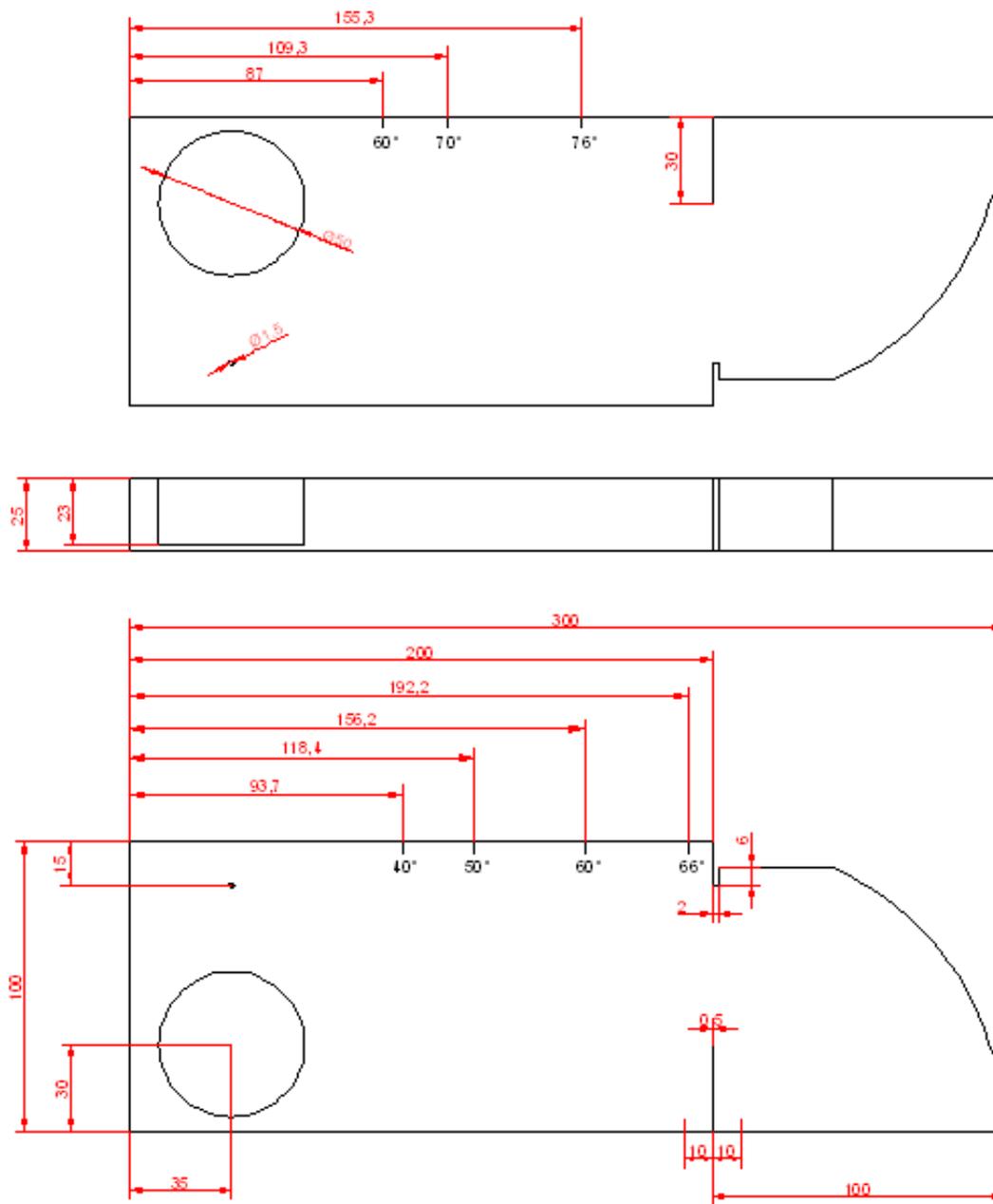


Fig. 2.15 Bloque de Calibración tipo II W

2.2.3.2 Calibración del Equipo

Existen parámetros que se deben considerar en la calibración del equipo ultrasónico, como lo son:

2.2.3.2.1 Linealidad vertical de la Pantalla.

Las variaciones de la señal en la dirección vertical de la pantalla deben ser lineales. Esta altura se fijara tomando como origen la línea base de la pantalla.

Para su comprobación se dispondrá un palpador angular sobre un bloque básico de calibración como se indica en la fig. 2.16, de manera que se observe en la pantalla los ecos de los agujeros taladrados a $\frac{1}{2} T$ y $\frac{3}{4} T$ (T: espesor). Se ajustará la posición del palpador de forma que la relación entre las amplitudes de los ecos sea de 2 a 1, además de ajustar la amplitud para que el mayor de los ecos cubra el 80% de la altura total de la pantalla.

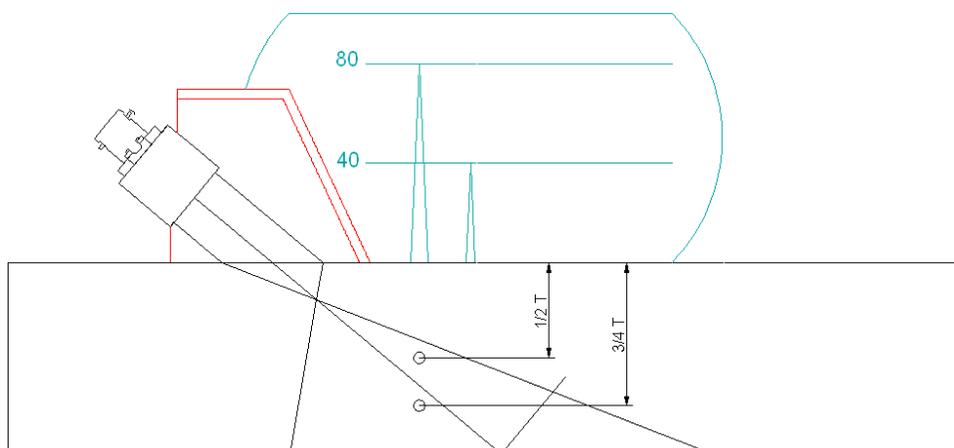


Fig. 2.16 Calibración vertical de la pantalla.

Además, sin mover el palpador de su posición, se debe ajustar la sensibilidad (ganancia) variando la altura del mayor de los ecos, en incrementos del 10%, es decir, de 2 en 2 dB.

Esta calibración también se puede realizar con un palpador longitudinal y cualquier bloque, siempre que sea posible obtener 2 ecos y con una relación 2 a 1 entre ellos [5, 13].

2.2.3.2.2 Proporcionalidad de la longitud.

El control de la amplitud, sensibilidad (ganancia), debe ser exacto en todo el campo útil de trabajo.

La comprobación se realizara disponiendo un palpador angular como se indica en la fig. 2.17. De tal manera que la indicación correspondiente al agujero taladrado a $\frac{1}{2} T$ (T: espesor), del bloque, alcance el extremo de la pantalla.

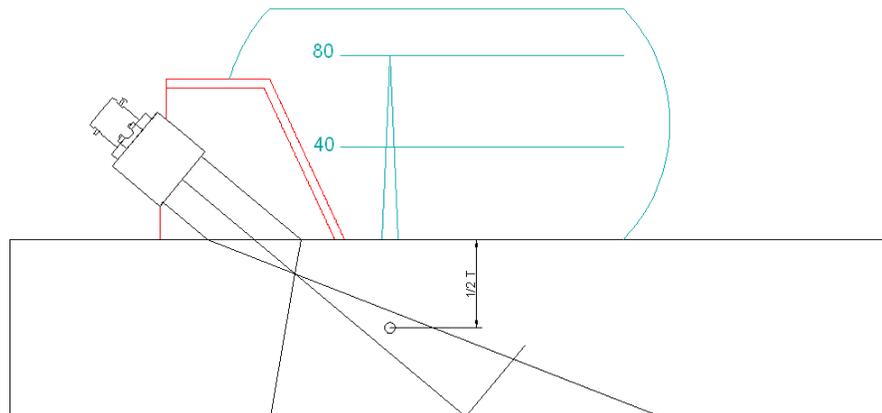


Fig. 2.17 Calibración de la proporcionalidad de la longitud

Es necesario disminuir y aumentar la atenuación como indica la tabla 2.1, las indicaciones que aparecen en la pantalla, deben permanecer dentro de los límites especificados en la misma tabla.

TABLA 2.1. VARIACIÓN DE LA AMPLIFICACIÓN Y LÍMITES DE LA INDICACIÓN CORRESPONDIENTE.

Tomada de Aplicaciones de los Ensayos No Destructivos al examen de las Uniones Soldadas [14].

% de la altura de la pantalla que alcanza la indicación.	dB de cambio en el control de la atenuación.	Límites de la indicación en % de altura de la pantalla.
80	- 6	32 a 48
80	- 12	16 a 24
40	+ 6	64 a 96
20	+ 12	64 a 96

La calibración también puede realizarse con palpadores normales y cualquier bloque de calibración, siempre que se pueda distinguir el aumento y disminución de dB.

2.2.3.2.3 Calibración del Sistema.

2.2.3.2.3.1 Comprobación del punto de salida y ángulo del haz ultrasónico.

La localización del punto de salida del haz, se coloca el palpador como indica la fig. 2.18, se desplaza el palpador para obtener el eco de máxima altura a partir del radio de 100 mm.,

del bloque. Una vez obtenido el eco máximo, el punto de salida del haz coincidirá con el punto cero marcado sobre el bloque.

De no ser así, se deberá tomar en consideración la nueva posición real del punto de salida del haz, el eco máximo se producirá sobre el punto cero del bloque y una de las marcas que posee el palpador [5, 13].

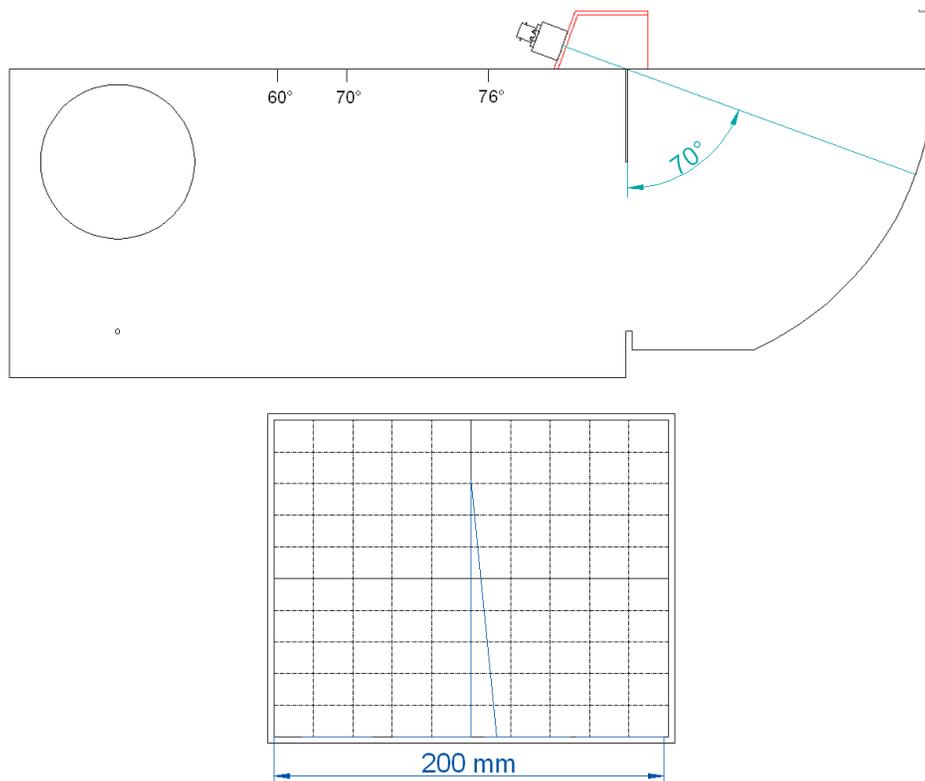


Fig. 2.18 Localización del punto de salida del haz

La determinación del ángulo se realiza ubicando el palpador sobre las marcas correspondientes al ángulo del palpador como indica la fig. 2.19. De esta manera la mayor amplitud del eco deberá coincidir con la marca del ángulo sobre el bloque con el punto de salida del haz. De no ser así, se desplazará el palpador hasta que el punto de salida del haz coincida con la máxima amplitud de eco determinando el nuevo ángulo, tomando en consideración que se está trabajando con un palpador que posee un nuevo ángulo [13].

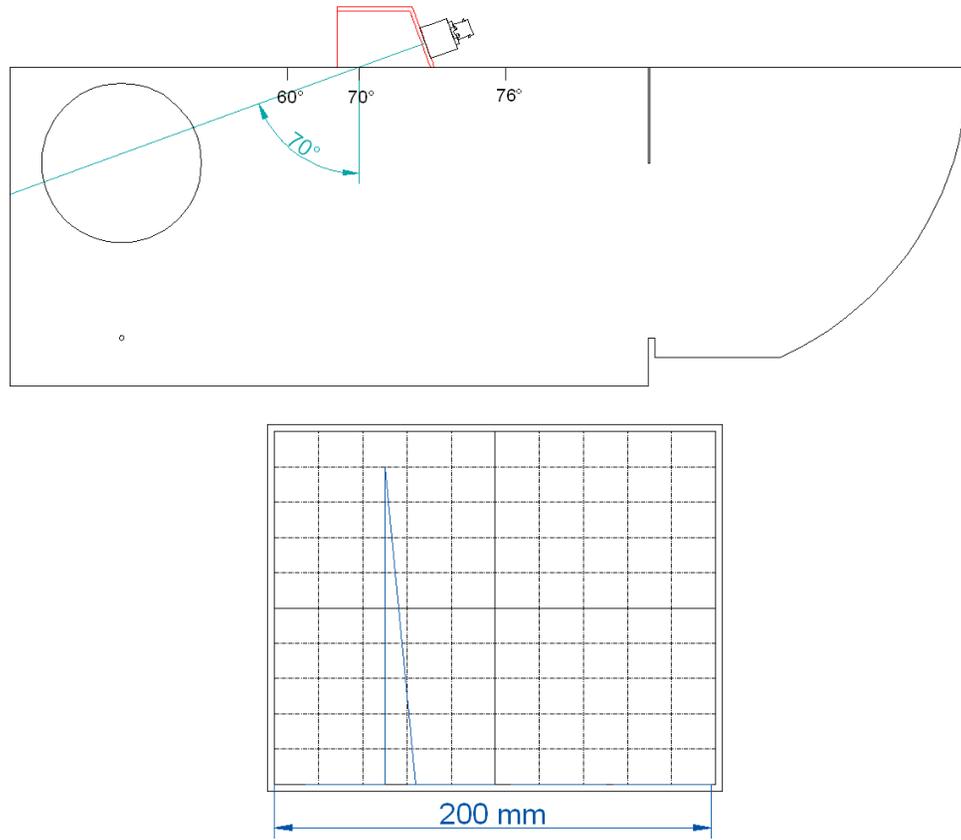


Fig. 2.19 Determinación del ángulo del palpador

2.2.3.2.4 Curvas AVG y DAC.

La determinación del tamaño de defectos pequeños (área del defecto menor que la sección transversal del haz sónico) se puede realizar solamente midiendo el eco de máxima amplitud producido por el defecto. Este método se llama de determinación estática (sin movimiento de palpador) y luego comparándolo con discontinuidades conocidas.

Diagramas AVG.

Estos diagramas son una recopilación de respuestas de discontinuidades de referencia de distintos diámetros y a distintas distancias. Interviniendo las variables:

A: distancia del palpador a la discontinuidad (ordenada del diagrama, escala logarítmica).

V: ganancia (abscisa en el diagrama, escala decimal e invertida).

G: diámetro de la discontinuidad de referencia o equivalente (curvas del diagrama). La curva indicada con ∞ (infinito) corresponde a la respuesta de una discontinuidad de tamaño

infinito (con respecto del tamaño del diámetro del palpador) y es el eco del fondo de la pieza. Representado en la fig. 2.20 [8].

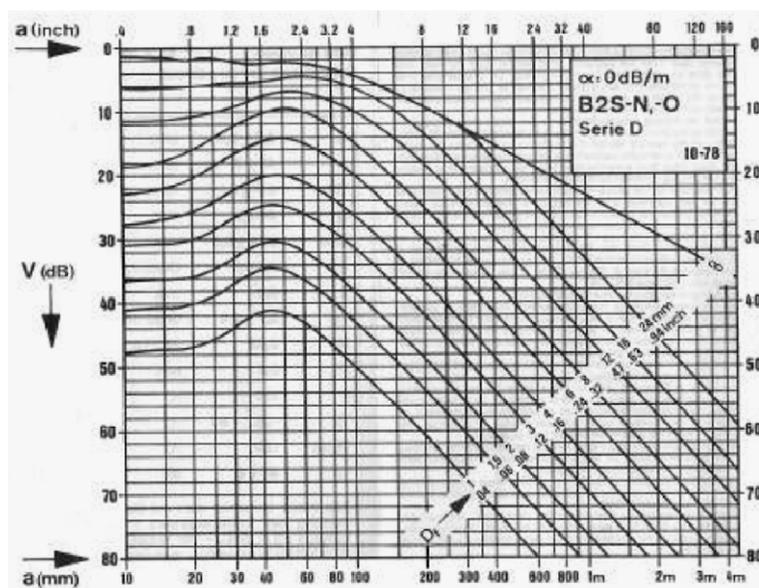


Fig. 2.20 Diagrama de curva AVG particular para un palpador específico.

La discontinuidad en estudio tiene una respuesta similar a la de un disco circular plano (orificio de fondo plano) de un determinado diámetro.

Existen diagramas particulares como el indicado en la fig. 2.20 y diagramas generales (normalizado) adimensional como el que se indica en la fig. 2.21.

En el diagrama general A (adimensional) es la distancia a la discontinuidad dividida para el campo cercano del palpador utilizado; G (adimensional) es el diámetro de los discos planos de referencia dividido para el diámetro de palpador empleado.

La zona izquierda del diagrama es de incertidumbre debido al campo cercano del palpador, no es posible trabajar aquí.

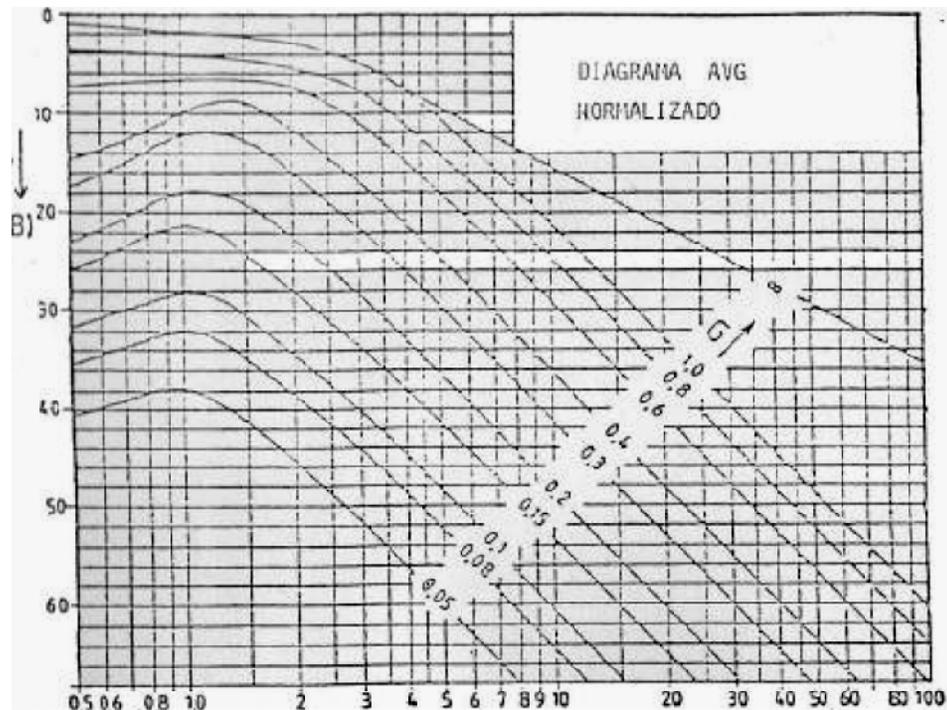


Fig. 2.21 Diagrama AVG normalizado.

Este procedimiento sigue estos pasos:

- a) Se elige un reflector de referencia. Este puede ser el fondo de la pieza u orificios de fondo plano de diámetro conocido.
- b) Se calibra el equipo a un rango de trabajo de acuerdo a las distancias antes elegidas. Fijando la ganancia adecuada ATP para la discontinuidad de referencia, registrando este valor.
- c) Con la distancia a la discontinuidad de referencia, se ingresa en el diagrama hasta cortar la curva que corresponda (curva infinito si es el fondo de la pieza), este es el punto que representa su respuesta. De este punto desplazándose horizontalmente hasta el eje ordenado se lee el valor de la ganancia correspondiente.
- d) Con la misma calibración del punto b, se busca el eco máximo de la discontinuidad en análisis y con la ganancia se lleva hasta la ATP fijada para el punto b. Registrando la diferencia en dB.
- e) Sobre el diagrama y con la distancia de la discontinuidad real, se traza una vertical hasta interceptar a una horizontal que se obtiene al sumar o restar el punto de referencia

de los dB obtenidos en el punto d. Este punto hallado representa la discontinuidad real y la curva G que lo intercepta indica el diámetro equivalente de un orificio de fondo plano, de respuesta equivalente a la discontinuidad real.

Distancia- Amplitud

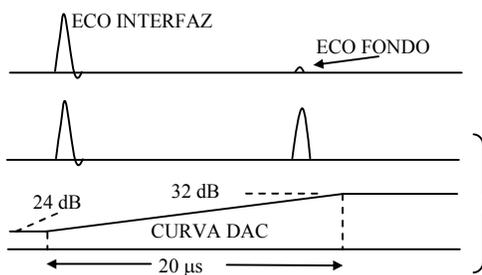
En los ensayos ultrasónicos, la amplitud de un eco de discontinuidad de tamaño determinado, decrece cuando el espesor incrementa, la compensación a esta atenuación consiste en un control electrónico, llamado corrección de amplitud en distancia DAC.

Método DAC

Para describir reflectores desconocidos de sección menor que la del haz, se compara la altura del eco que genera, con el eco de un reflector artificial de forma y tamaño conocido (eco referencial).

Las señales ultrasónicas sufren una atenuación en su propagación por el medio inspeccionado. Como consecuencia, reflectores idénticos producirán ecos diferentes en función de la profundidad a la que se encuentre, el efecto es más acusado en cuanto mayor sea el coeficiente de atenuación del material. La función DAC compensa este efecto, aumentando el factor de amplificación con el tiempo (distancia). La fig. 2.22, muestra la operación de la función DAC aplicada a la inspección de una pieza metálica, donde el primer pico se toma con amplificación constante (24 dB), haciendo poco visible el eco de fondo. El segundo pico se adquiere con un factor de amplificación variable en el tiempo (aumenta de 24

lo que permite
prácticamente



a 32 dB en 20 μs),
igualar
ambos ecos.

Fig. 2.22.- Aplicación de una curva DAC a la inspección de una pieza metálica.

Para la construcción de este tipo de curvas se hace uso del bloque ASME, empleando para el trazado las respuestas obtenidas a partir de los agujeros de referencia.

Se busca el eco máximo producido por los agujeros de referencia que deberá alcanzar el $80\% \pm 10\%$ de la pantalla. Sin variar la ganancia se deben obtener los ecos de los otros agujeros de referencia que se encuentren incluidos en el campo de calibración.

Para el trazo de la curva es necesario mínimo tres puntos (ecos). La parte curva correspondiente a la zona de ensayo mas alejada no deberá estar por debajo del 20% de la altura de la pantalla. Como se muestra en la siguiente fig. 2.23.

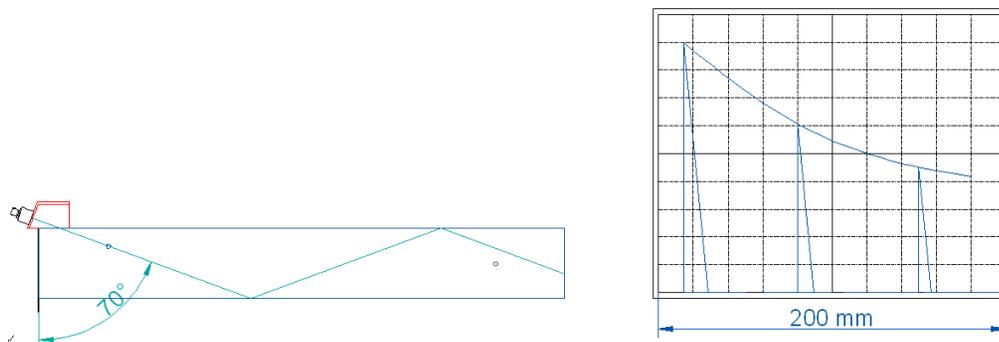


Fig. 2.23. Muestra el trazo de la curva DAC.

2.3 Scan B (Exploración B, Barrido B)

Debido a que la literatura no presenta mayor información sobre la inspección ultrasónica mediante B scan, no se puede presentar las señales características correlacionadas con los defectos que la producen. En el capítulo 3 se intentara correlacionar las señales producidas por los diferentes defectos.

2.4 Defectología de la soldadura

En ensayos no destructivos se hablara de “defectos o/y discontinuidades”. Se acuerda que cualquier indicación encontrada se llama “discontinuidad”, hasta que se pueda identificar y evaluar el efecto que pueda tener sobre la pieza en el servicio. De acuerdo a esto, si la “discontinuidad” es inaceptable con relación a criterios específicos de aceptación y rechazo, será considerado como “defecto”. Ahora si la discontinuidad no afecta el rendimiento de la pieza en el servicio al que se destina, se deberá llamar simplemente “discontinuidad”.

De esto se deduce que un defecto siempre es una discontinuidad, pero no siempre una discontinuidad es un defecto. Un ejemplo de discontinuidad se podría encontrar en la indicación, por medio de ultrasonido; que da un chavetero o el mismo eco de fondo de la pieza si lo hay [23].

En soldadura manual, automática y cualquiera sea el procedimiento empleado para realizarla, se pueden producir defectos o heterogeneidades, cuya posible presencia en la junta soldada hace necesaria que esta sea inspeccionada.

En presencia de un defecto, el método de inspección utilizado debe permitir su localización y determinar su importancia. Y en el caso de ser necesaria su reparación lo que exige un nuevo examen de comprobación de calidad de la misma comprobando los resultados obtenidos por la reparación, con los resultados de los exámenes que motivaron la reparación.

Además, es necesario distinguir entre: indicaciones relevantes, indicaciones no relevantes e indicaciones falsas [15].

Indicaciones relevantes son aquellas provenientes de fallas suficientemente serias como para afectar la aptitud para el servicio de la pieza.

Indicaciones no relevantes son aquellas provenientes de discontinuidades que no afectarían la aptitud para el servicio de la pieza. Estas discontinuidades pueden ser parte de la misma geometría de la pieza como por ejemplo: chaveteros, orificios, tratamientos térmicos localizados. También pequeñas fallas como poros, fisuras que no presentan peligro para el buen desempeño de la pieza en el servicio [15].

2.4.1 Clasificación de los defectos

El criterio que se seguirá para la clasificación de defectos será el “geométrico o de forma”.

Determinado tipo de defecto trae consigo un cambio de la estructura en el metal, o en las propiedades de este, que dan lugar a pérdida en la resistencia.

El factor de forma se considera de gran importancia en E.N.D., ya que este es el único que se puede caracterizar, por lo que a de servir para decidir si el defecto es aceptable o no.

La porosidad, inclusiones de escoria y la falta de penetración solo indican una heterogeneidad; la falta de fusión y las grietas suelen indicar una pérdida en la calidad metalúrgica o en la ductilidad del material, la presencia de grietas puede ocasionar la rotura frágil a bajas tensiones nominales o rotura por fatiga [15].

Podría decirse que el mayor peligro es debido a las grietas superficiales normales a la dirección de máxima tensión (sobre todo si hay posibilidad de fragilización), fatiga, la unión se encuentra en presencia de un medio oxidante o corrosivo.

Las grietas internas, son de menor severidad, pero pueden extenderse y abrirse en condiciones de fatiga.

Los defectos redondeados, cavidades e inclusiones definen una mala ejecución en la calidad de la junta soldada, pueden producir una reducción de la sección neta y degenerar en grietas.

La falta de penetración o fusión, debida a mala ejecución ocasionan una reducción en la resistencia a la fatiga y una corrosión localizada, cuando se hallan abierta o parcialmente cerradas mediante soldadura. [15]

Los defectos a considerar son externos e internos

2.4.2 Defectos Internos

Entre los defectos más comunes en las uniones soldadas tenemos:

2.4.2.1 Cavidades y poros.

Las cavidades son producidas por inclusiones gaseosas en el metal líquido que son atrapadas cuando se solidifican, se dividen en:

- Poros de morfología esferoidal.

{	Uniforme
	Localizada
	Lineal
{	

- Poros de morfología alargada Vernicular
Capilares [15].

2.4.2.2 Inclusiones

Se consideran inclusiones, las heterogeneidades originadas por materiales sólidos extraños (metálicos y no metálicos) aprisionados en la masa del metal durante el proceso de la soldadura, estas pueden ser:

- **Escoria** la mayoría de las soldaduras contienen escorias que han sido atrapadas en el metal depositado durante la solidificación. Estos son depósitos de carbón, óxidos metálicos y silicatos principalmente. La escoria puede provenir del revestimiento o fundente empleado. La escoria puede ser:
 - **De cualquier forma y orientación.**
 - **Alineadas** son producidas por inadecuados movimientos del electrodo por parte del soldador, quedando alineados sobre el costado del cordón soldado.
- Producidos por **Óxidos** atrapados.
- Producidos por **Otros Metales** atrapados [14, 15].

2.4.2.3 Falta de Penetración

Son ranuras debidas a que el metal de aporte no ha rellenado la raíz. Puede originarse por falta de temperatura, por exceso de la velocidad de soldado o por falta de habilidad del soldador.

Puede ser que exista una **falta de penetración parcial** (asociada a una falta de fusión) llamada así cuando uno de los talones no ha alcanzado a fundirse, o **falta de penetración total** cuando la abertura de la raíz ha quedado sin rellenar [14, 15].

2.4.2.4 Falta de fusión

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

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

- En la raíz se produce cuando la falta de abertura en la raíz y la temperatura no es lo bastante elevada; por una incorrecta alineación de los elementos al soldar; por fallas en la preparación; por diferencias de espesor o diámetro, etc.
- Lateral.
- Entre cordones [14, 15].

2.4.2.5 Grietas o Fisuras

Son discontinuidades producidas por roturas en el metal. De acuerdo con su forma y orientación, estas pueden ser:

- **Longitudinales:** pueden producirse en el centro del cordón (generalmente por movimientos durante o posteriores a la soldadura) o en la interface entre el material base con el de aporte (por causa de un enfriamiento brusco o falta de correcto precalentamiento en grandes espesores).
- **Transversales:** producidos principalmente en aceros duros, por combinación de elementos que al enfriarse a la temperatura ambiente producen fisuras transversales al cordón que puede o no prolongarse hasta el metal base.
- **De interrupción o arranque (estrelladas):** en el arranque de la soldadura por cambio de electrodo suelen producirse fisuras en forma de estrella, por efecto del brusco enfriamiento o recalentamiento del material (son fisuras en caliente) [14, 15].

CAPÍTULO III

3. EXPERIMENTACIÓN.

3.1 Elaborar probetas para la inspección ultrasónica con Scan B

Para una calibración adecuada de todos los parámetros empleados en la técnica de inspección por ultrasonido se elaboro una serie de bloques para construcción de curvas DAC, determinación del tamaño de un defecto mediante curvas AVG, evaluación de sensibilidad del palpador angular, determinar el coeficiente de transferencia por superficie.

Se opto por bloques de calibración para sensibilidad (bloque de resolución AWS), para curva DAC (Bloque tipo SC), para espesor (bloque de paso), tipo DS (bloque tipo U).

Todos los bloques fueron elaborados de plancha de acero **A36** de 30 mm que fue recocida a 850 °C durante una hora y enfriada en el horno durante 24 horas, para obtener las mismas propiedades en todo el bloque. El motivo de efectuar el recocido fue para eliminar los efectos del oxicorte.

3.1.1 Bloque Tipo SC.

Este tipo de bloque se utiliza para construir la curva DAC, este bloque dispone de las dimensiones descritas en la fig. 3.1.1 y posee todas sus caras rectificadas, lo cual permite un mejor acople entre el palpador y el bloque, lo cual favorece a la emisión y recepción de la señal ultrasónica producida por el palpador y el equipo.

El bloque se realizo en base a norma AWS

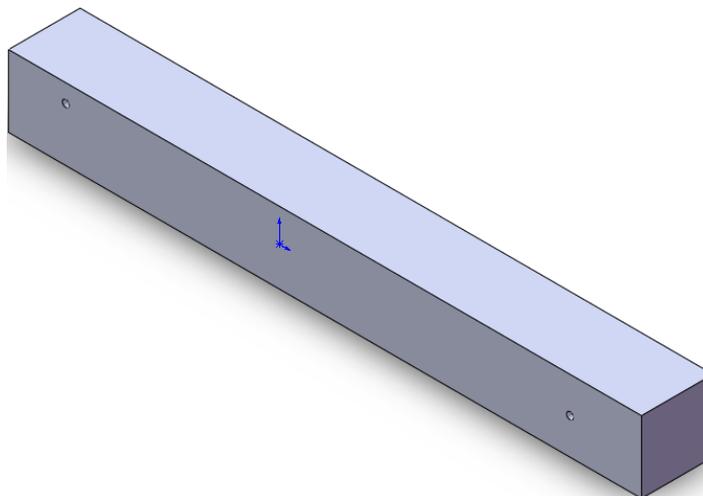




Fig. 3.1.1 Bloque ASME tipo SC utilizado para calibración DAC

3.1.2 Bloque de Resolución AWS.

Este bloque está diseñado para evaluar la sensibilidad del palpador angular y del equipo ultrasónico, para lo cual este bloque posee tres agujeros para cada posición angular, en este caso para 45° , 60° y 70° . El objetivo es determinar si el equipo puede discriminar los diversos reflectores (agujeros) que posee el bloque, obteniendo tres picos de señal, lo que corresponde a cada reflector. La sensibilidad será evaluada simplemente como BUENA si el equipo logra discriminar las señales y como MALA en caso contrario. La fig. 3.1.2, muestra la configuración del bloque y sus medidas.

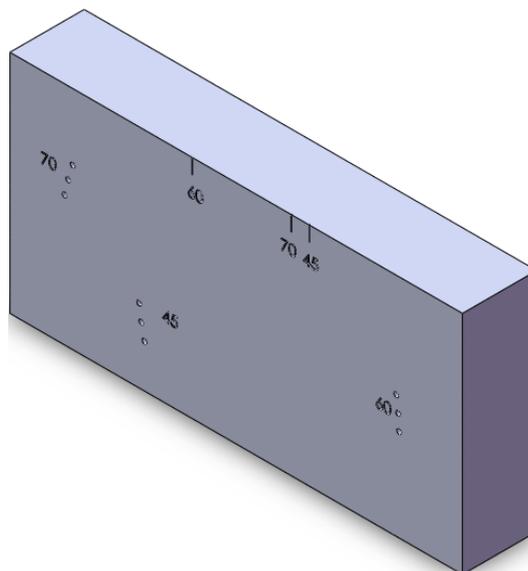


Fig. 3.1.2 Bloque de resolución AWS utilizado para evaluar de la resolución y sensibilidad para transductor angular de 45° , 60° y 70° .

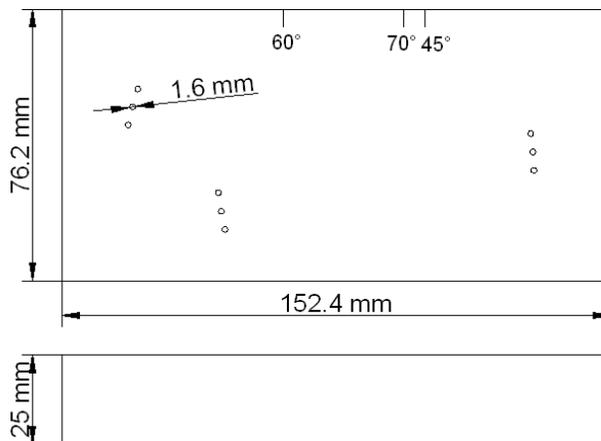


Fig. 3.1.2 Bloque de resolución AWS utilizado para evaluar de la resolución y sensibilidad para transductor angular de 45°, 60° y 70°.

3.1.3 Bloque Tipo DS (Tipo U).

Este bloque se utiliza para evaluar los diferentes niveles que este posee mediante el B Scan, además de ser una gran ayuda para familiarizarse con el tipo de señal que este modo de Scan puede ofrecer. La fig. 3.1.3, muestra la configuración del bloque tipo U.

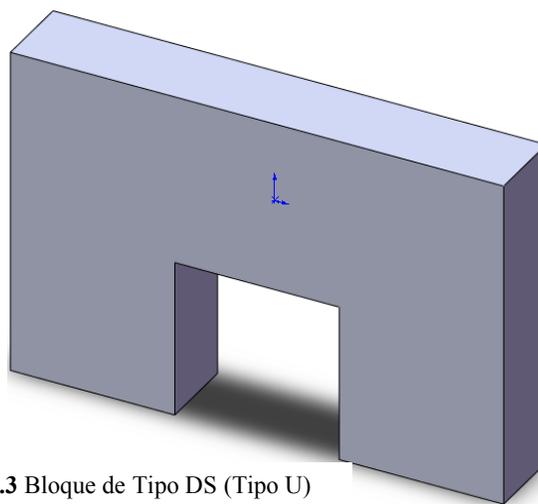


Fig. 3.1.3 Bloque de Tipo DS (Tipo U)

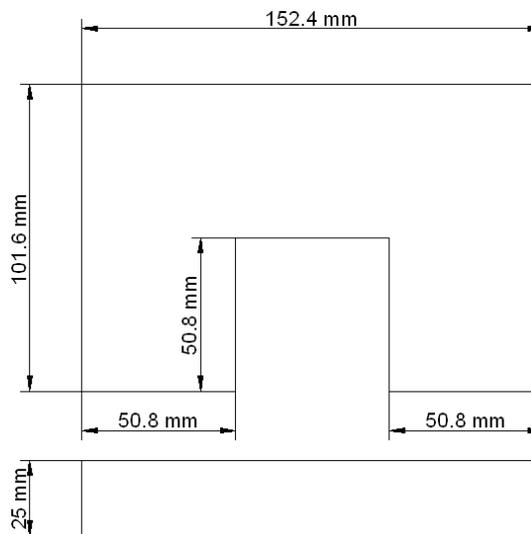


Fig. 3.1.3 Bloque de Tipo DS (Tipo U)

Placas empleadas para la caracterización de defectos

Se dispone de placas soldadas con defectos característicos ya elaboradas en una tesis anterior, y además se posee información sobre los defectos que estas contienen (falta de penetración, mordedura, fisuras transversales, escorias, penetración excesiva, poros, inclusiones, fisura, falta de fusión, quemón). Datos obtenidos mediante la técnica de radiografía industrial, caracterizando el tipo de señal de modo B Scan que proveniente de todos estos defectos.

3.1.4 Probetas soldadas elaboradas con defectos artificiales.

3.1.4.1 Probeta N-01: Falta de penetración.

Según la información radiográfica que se dispone de esta placa, el proceso de soldadura se realizo de tal manera que se obtenga una falta de unión entre las dos placas en la raíz de la soldadura [16]. La fig. 3.1, muestra la Probeta N-01.

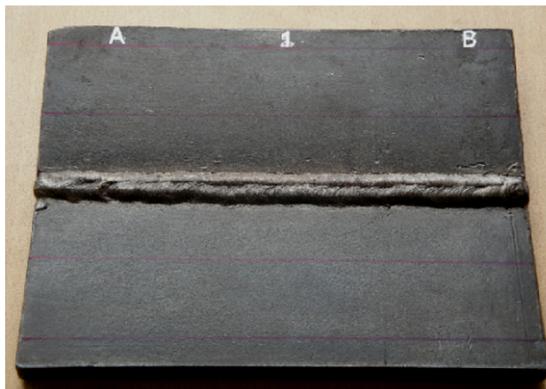


Fig. 3.1 Probeta N-01, posee Falta de penetración.

3.1.4.2 Probeta N-02: Mordedura de borde.

En base a la información radiográfica esta placa posee 2 tipos de defectos: poros y también mordeduras que son los de mayor presencia e importancia en el cordón de soldadura [16]. Estas se localizan a lo largo de los flancos del cordón . La fig. 3.2, muestra la Probeta N-02.

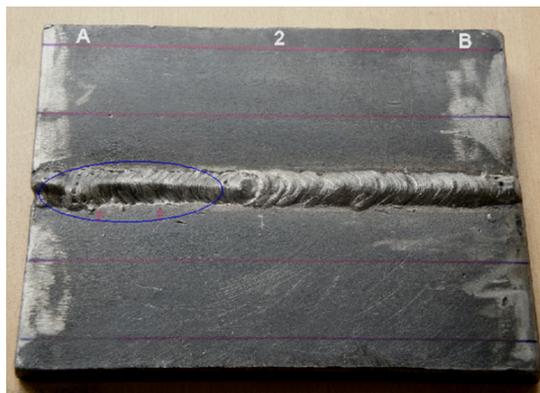


Fig 3.2 Probeta N-02, posee Mordedura de borde.

3.1.4.3 Probeta N-03: Fisura Transversal.

Los datos radiográficos indican la presencia de dos tipos de defectos: poros presentes en todo el cordón y unas pequeñas fisuras que cruzan la cara del cordón a su ancho [16]. La fig. 3.3, muestra la Probeta N-03.

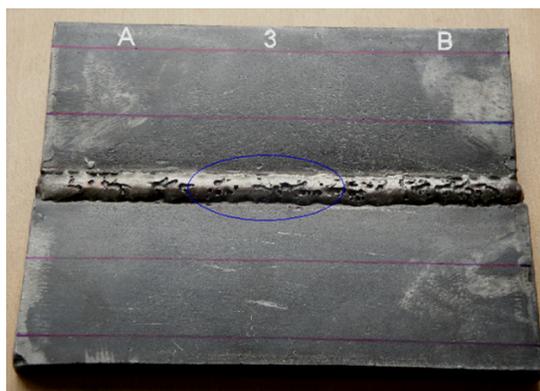


Fig. 3.3 Probeta N-03, posee Fisura Transversal.

3.1.4.4 Probeta N-04: Escoria.

La información radiográfica muestra la presencia de una especie de esferas de forma irregular y gran tamaño, a más de una falta de continuidad en el cordón, pero estas esferas son las de mayor presencia e importancia en la soldadura [16].

La fig. 3.4, muestra la Probeta N-04.

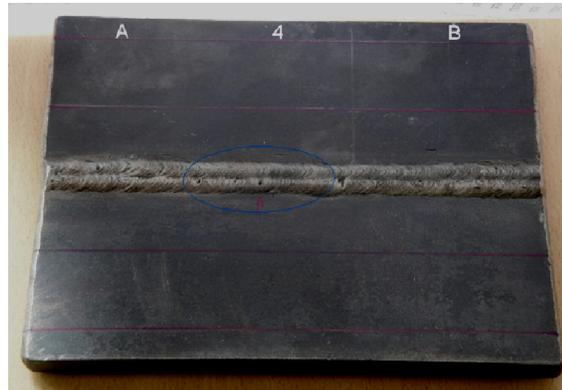


Fig. 3.4 Probeta N-04, posee Escoria

3.1.4.5 Probeta N-05: Penetración Excesiva.

La información radiográfica muestra un cordón muy abultado y de color blanco intenso especialmente en la raíz de la soldadura [16]. La fig. 3.5, muestra la Probeta N-05.

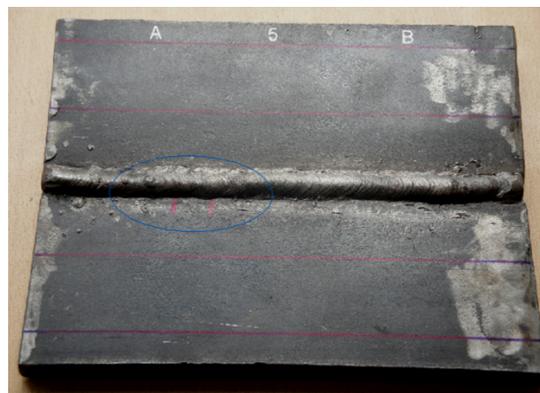


Fig. 3.5 Probeta N-05, posee Penetración Excesiva

3.1.4.6 Probeta N-06: Porosidad.

La información radiografía muestra unas esferas de tamaño muy pequeño presentes en una zona del cordón de soldadura [16]. La fig. 3.6, muestra la Probeta N-06.

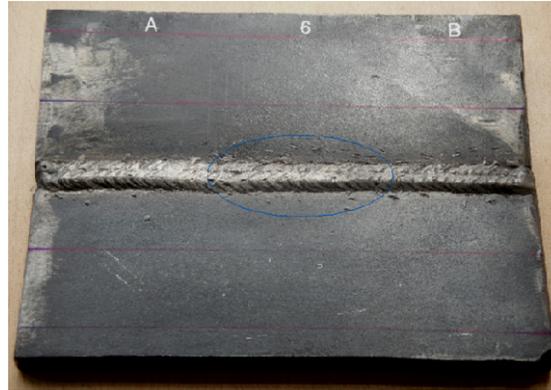


Fig 3.6 Probeta N-06, posee Poros

3.1.4.7 Probeta N-07: Inclusión.

La información radiográfica muestra la presencia de una especie de barra totalmente extraña al cordón; de color blanco muy intenso, que es lo más relevante en la probeta [16]. La fig. 3.7, muestra la Probeta N-07.

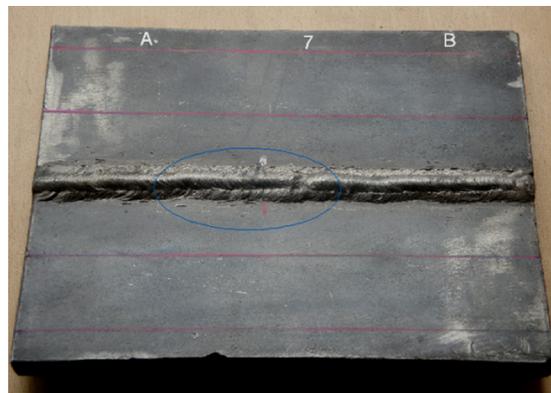


Fig. 3.7 Probeta N-07, posee Inclusión

3.1.4.8 Probeta N-08: Fisura.

La información radiográfica muestra que el cordón de soldadura presenta una línea muy fina que casi no se la puede apreciar [16]. La fig. 3.8, muestra la Probeta N-08.

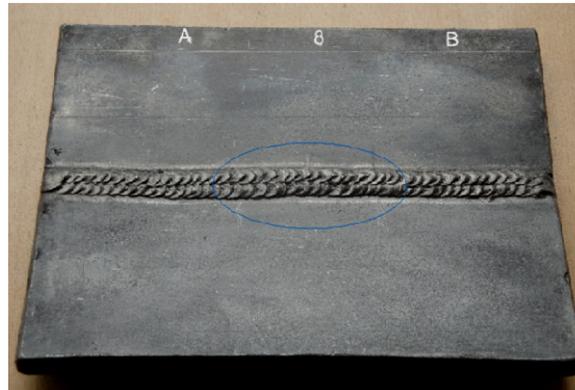


Fig. 3.8 Probeta N-08, posee fisura

3.1.4.9 Probeta N-09: Falta de fusión.

Los bordes del cordón de soldadura presentan una discontinuidad a lo largo de toda su longitud, haciendo visible los bordes de la placa casi sin llegar a fundirla. Producto de que el arco de soldadura no fue el óptimo [16]. La fig. 3.9, muestra la Probeta N-09.

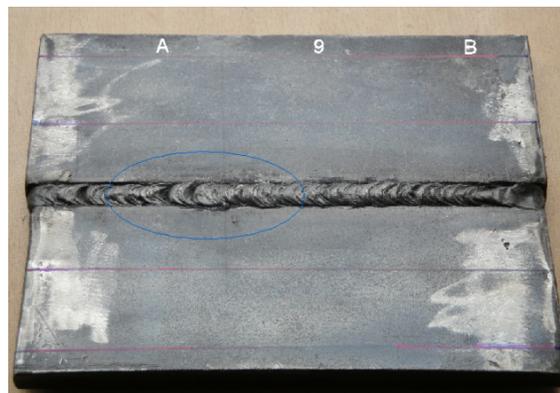


Fig. 3.9 Probeta N-09, posee Falta de Fusión

3.1.4.10 Probeta N-10: Quemón.

La información radiográfica muestra la presencia de dos formas esféricas de gran tamaño, por lo que se descarta que sean poros e inclusiones [16]. La fig. 3.10, muestra la Probeta N-010.

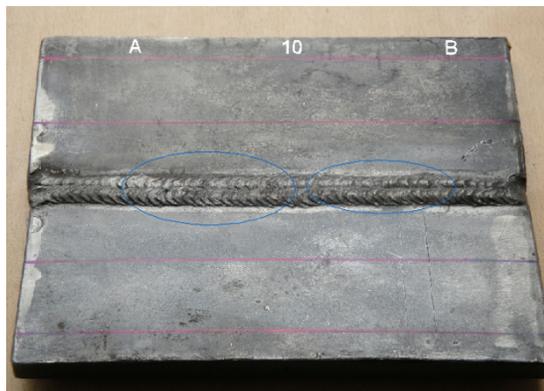


Fig. 3.10 Probeta N-10, posee Quemón

3.2 Ensayo ultrasónico de soldaduras

Para comenzar la inspección de las muestras (placas preparadas con defectos artificiales) es necesario realizar la calibración del equipo directamente sobre las muestras que se someterán a inspección.

La calibración se realiza utilizando la placa 1 en la cual se coloca el palpador como indica la fig. 3.11, en la posición correspondiente al medio paso (32.14 mm en la placa) debiendo realizar los ajustes correspondientes con el control de posición de eco para obtener un pico de respuesta de señal situado a 34 mm de la longitud horizontal de la pantalla, como indica la fig. 3.12. Esta calibración se realiza con 26 dB.

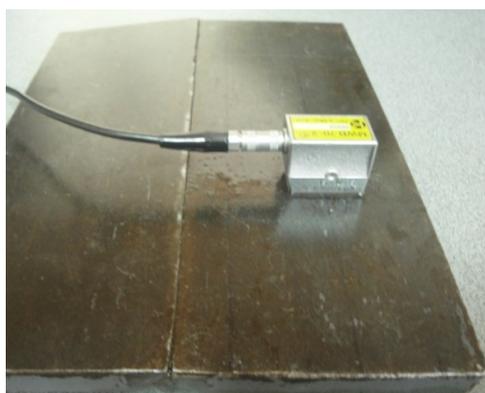


Fig. 3.11 Posición inicial (medio paso) del palpador angular de 70°, para la calibración.

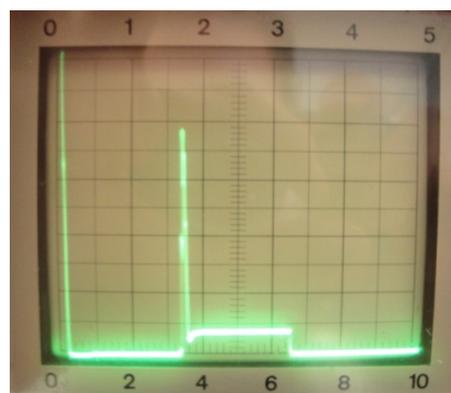


Fig. 3.12 Primera respuesta de señal con la primera posición del palpador para la calibración.

Se coloca el palpador como indica la fig. 3.13, correspondiente al paso (64.28 mm en la placa), debiendo obtener un pico de respuesta de señal situado a 68 mm de la longitud horizontal de la pantalla, como indica la fig. 3.14.

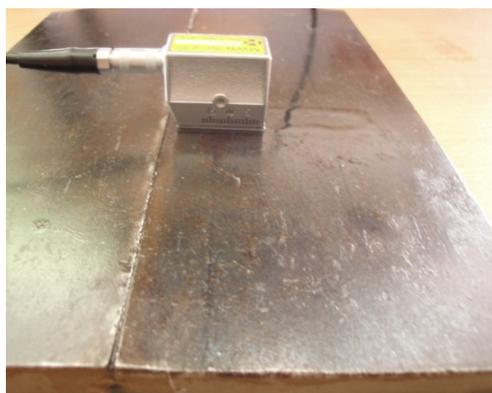


Fig. 3.13 Segunda posición (paso) del palpador angular de 70°, para la calibración.

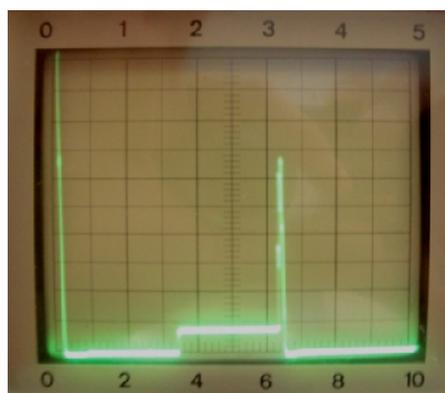


Fig. 3.14 Segunda respuesta de señal con la segunda posición del palpador para la calibración.

A continuación se realiza la calibración DAC sobre la misma placa 1, la cual posee agujeros de 1.6 mm de diámetro ubicados a $\frac{1}{4} T$, $\frac{1}{2} T$ y $\frac{3}{4} T$ (T : espesor de la placa = 12 mm).

Siempre tomando en consideración el espesor de la placa como referencia.

Para dibujar la curva DAC; se utilizara la segunda reflexión del haz y la ganancia es llevada hasta 34 dB para poder visualizar correctamente las señales producidas por los reflectores.

Para el primer punto de la curva DAC, se utiliza el agujero que se encuentra ubicado a $\frac{1}{4} T$ (espesor de la placa) como indica la fig. 3.13 y la ubicación de la señal de respuesta a 42.89 mm de la longitud horizontal de la pantalla a 51% de la ATP como indica la fig. 3.14.

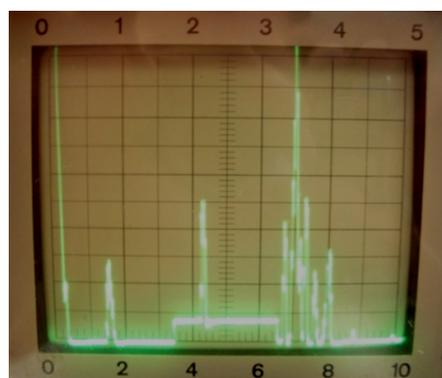




Fig. 3.15 Posición del palpador para obtener el primer pico para la curva DAC. Proveniente del agujero a $\frac{1}{4}$ T.

Fig. 3.16 Primer pico para el trazo de la curva DAC, proveniente del agujero situado a $\frac{1}{2}$ T con la segunda reflexión. Dentro del rango de referencia.

Ahora para el segundo punto de la curva se utiliza el agujero ubicado a $\frac{1}{2}$ T como indica la fig. 3.15 y la ubicación de la señal de respuesta a 51.46 mm de la longitud horizontal de la pantalla a 38 % de la ATP como indica la fig. 3.16.

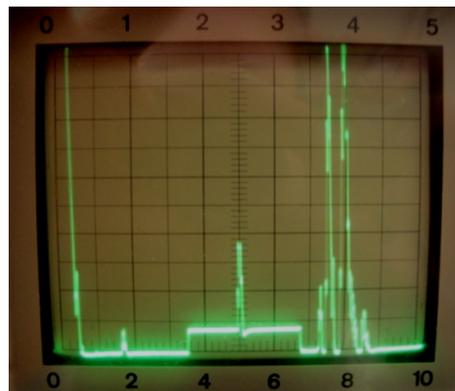


Fig. 3.17 Posición del palpador para obtener el segundo pico para la curva DAC. Proveniente del agujero a $\frac{1}{2}$ T.

Fig. 3.18 Segundo pico para el trazo de la curva DAC, proveniente del agujero situado a $\frac{1}{2}$ T con la segunda reflexión. Dentro del rango de referencia.

Para trazar el tercer punto de la curva se utiliza el agujero ubicado a $\frac{1}{4}$ T como indica la fig. 3.19. Y la ubicación de la señal de respuesta a 60.04 mm de la longitud horizontal de la pantalla a 23 % de la ATP como indica la fig. 3.20.



Fig. 3.19 Posición del palpador para obtener el tercer pico para la curva DAC. Proveniente del agujero a $\frac{1}{4} T$.

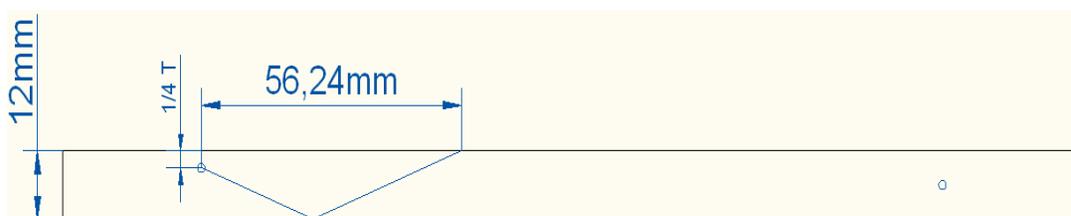
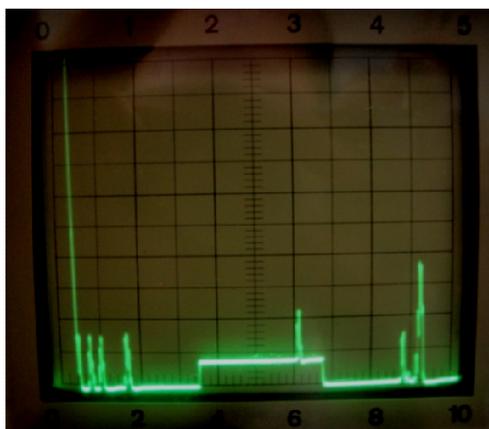


Fig. 3.20 Tercer pico para el trazo de la curva DAC, proveniente del agujero situado a $\frac{1}{4} T$ con la segunda reflexión. Dentro del rango de referencia.

Con los tres picos previamente registrados se traza la curva **Corrección Distancia Amplitud** (DAC) con una línea suavizada, como indica la fig. 3.21. La línea de referencia marca el rango entre la media distancia angular y la distancia angular total donde se trazara la curva DAC.

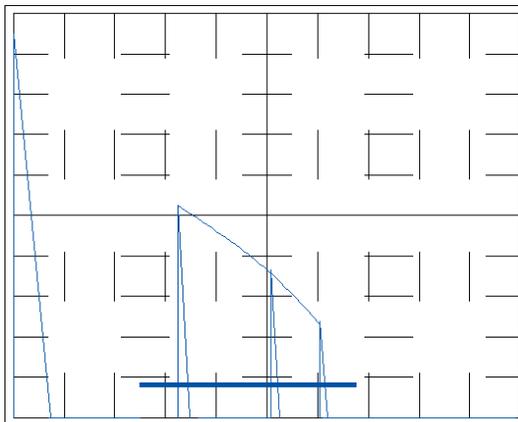


Fig. 3.21 Rango mediante la línea de referencia, ubicado entre los picos del medio paso y paso donde estará ubicada la curva DAC. Trazada a 34 dB.

Además es necesario trazar una segunda curva DAC con una mayor ganancia de manera que se tenga un rango para evaluar el tamaño de los defectos que se encontraran.

Para el trazado de la nueva curva se eleva la ganancia + 6 dB (recomendado por la norma AWS sección V, artículo 23) y se repite el procedimiento para el trazo de la curva.

Usando los datos mostrados en la tabla 3.1, se traza la curva DAC a 40 dB.

Curva DAC a 40 dB utilizando la segunda reflexión,

TABLA 3.1. PUNTOS EMPLEADOS PARA EL TRAZO DE LA SEGUNDA CURVA DAC A 40 DB DE GANANCIA.

	Agujero (T=espesor)	% ATP	S [desplazamiento angular (mm)]
Primer punto	$\frac{3}{4} T$	89%	42.89
Segundo punto	$\frac{1}{2} T$	61%	50.47
Tercer punto	$\frac{1}{4} T$	50%	60.01

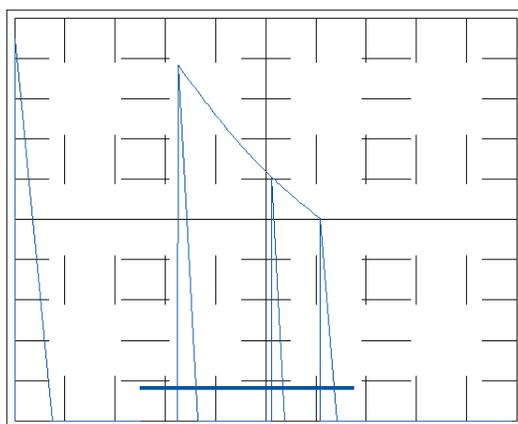


Fig. 3.22 Segunda curva DAC. Trazada a 40 dB

3.2.1 Ensayo ultrasónico de muestras con A scan.

Es necesario establecer el nivel de ganancia para la inspección y realizar el barrido en la dirección transversal.

Mediante esta dirección de barrido es posible evaluar el tamaño del defecto, como se indica en la fig. 3.23.

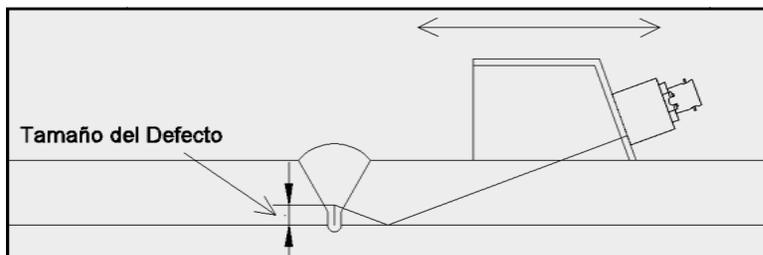


Fig. 3.23 Barrido transversal para determinar el tamaño del defecto.

Para estimar la profundidad a la que se encuentra el defecto se utiliza una regleta construida en función del espesor de material a inspeccionar, ángulo del palpador, del medio paso y paso. Como muestra la fig. 3.24. La longitud horizontal que muestra el pico de respuesta de señal en la pantalla se traslada a la regleta y este punto se interseca mediante una línea horizontal para ubicar la profundidad del defecto. Así por ejemplo, un defecto detectado por el haz a una distancia de 50.31 mm, el defecto se encuentra a una profundidad de 8.5 mm desde la cara superior de la placa. El barrido se realiza desde el medio paso hacia atrás en dirección del paso, hasta que la altura el pico de señal desaparezca.

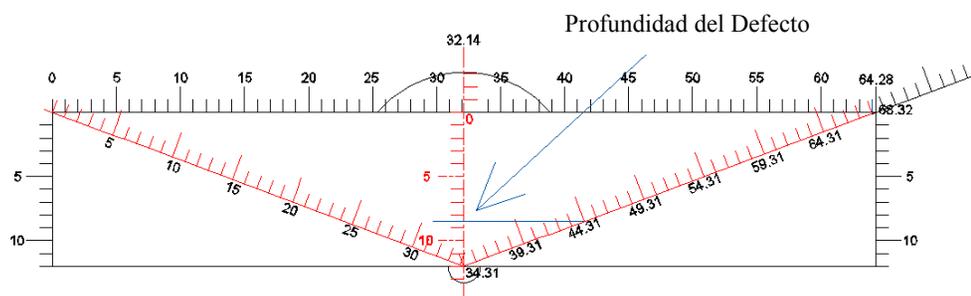


Fig. 3.24 Regleta utilizada para estimar la profundidad del defecto.

Además es necesario realizar un barrido longitudinal para estimar la extensión del defecto, es decir, su tamaño a lo largo del cordón de soldadura, como indica la fig. 3.25.

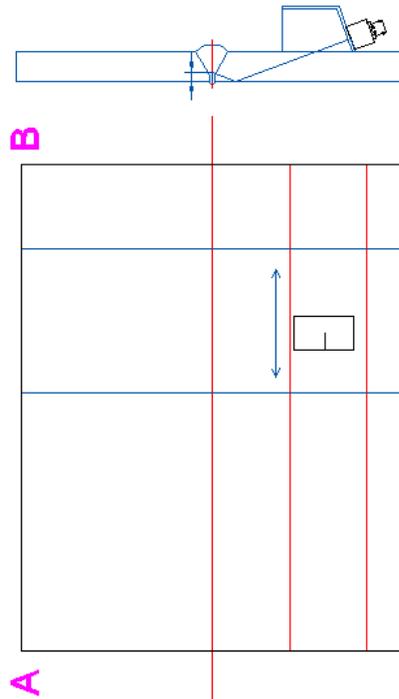


Fig. 3.25 Barrido horizontal para determinar la extensión del defecto, o el tamaño del defecto a lo largo del cordón de soldadura.

Si al realizar el barrido longitudinal la señal aparece y se mantiene (en posición y altura), la longitud del defecto corresponde a la distancia desde el punto en que aparece la señal hasta el punto donde esta desaparece, siguiendo una línea recta paralela al cordón de soldadura.

Como las señales de las indicaciones o defectos sobrepasan por mucho la altura requerida para la inspección (ganancia establecida en función de la curva DAC) por ser defectos o indicaciones muy grandes se reduce la ganancia hasta que esta alcance el 80% de ATP, para poder caracterizar estas señales.

A continuación el palpador se desplaza hacia atrás a 35 mm desde el eje de soldadura, obteniendo una distancia en el eje horizontal de la pantalla de 38 mm (recorrido del haz), la cual al trasladarse a la regleta da una profundidad de 1.29 mm desde la raíz de la soldadura, y la altura del pico de señal de 49% de ATP. Como indica la fig. 3.29.

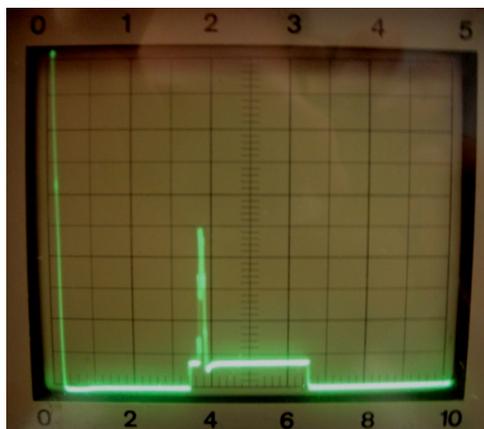


Fig. 3.29 Pico de respuesta de señal a 38 mm y con una altura de 49% de ATP. (Pico máximo)

Siguiendo con la línea del desplazamiento del palpador, este se sitúa a 41.4 mm desde el eje de la soldadura, obteniendo una distancia angular de 40 mm, la cual al trasladarse a la regleta da una profundidad de 2 mm desde la raíz de la soldadura y con una altura del pico de señal de 35% de ATP. Como indica la fig. 3.30.

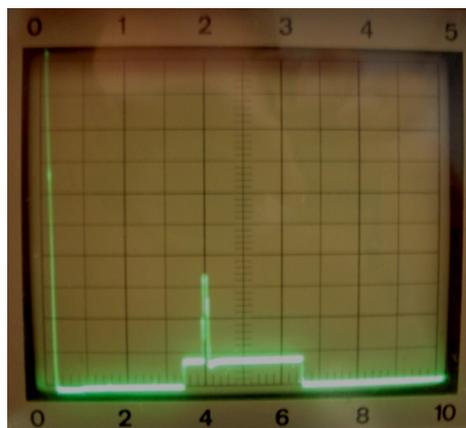


Fig. 3.30 Pico de respuesta de señal a 40 mm y con una altura de 35% de ATP.

distancia angular de 50 mm, la cual al trasladarse a la regleta da una profundidad de 5.46

mm desde la raíz de la soldadura y una altura de señal de 15% de ATP. Como indica la fig. 3.31.

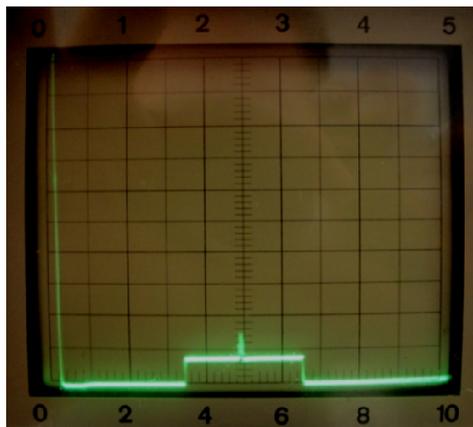


Fig. 3.31 Pico de respuesta de señal a 50 mm y con una altura de 15% de ATP.

Después de este punto si el palpador continúa su desplazamiento la señal desaparece lo cual indica que el tamaño del defecto es 5.46 mm desde la raíz de la soldadura y esta es el tamaño máxima del defecto.

Barrido Longitudinal

Para estimar la longitud del defecto se realiza un barrido longitudinal sobre la línea que define el medio paso, en esta posición del palpador detecta el inicio de la falta de fusión. En este punto el pico de señal esta ubicado en 34 mm en el eje horizontal de la pantalla con una altura de pico de señal de 62% de ATP. Al realizar el barrido longitudinal el pico se mantiene a esta altura indicando que el defecto se extiende a lo largo de toda la zona de inspección seleccionada. Como indica la fig. 3.32 y 3.33.



Fig. 3.32 Palpador ubicado en el medio paso, desnlazándose longitudinalmente para estimar la

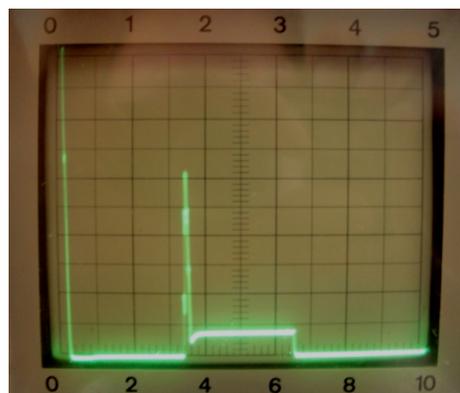


Fig. 3.33 Pico de respuesta de señal con una altura de 62% de ATP Para barrido

3.2.1.2 Inspección ultrasónica de la placa N-02 Mordedura de Borde.

Este es un defecto del tipo superficial que se detecto simplemente por inspección visual, sin embargo con el objetivo de caracterizar este defecto se procede con la inspección.

Se establece la zona de la placa sobre la cual se efectuara el barrido ultrasónico y la posición del palpador sobre la placa, como indica la fig. 3.34.

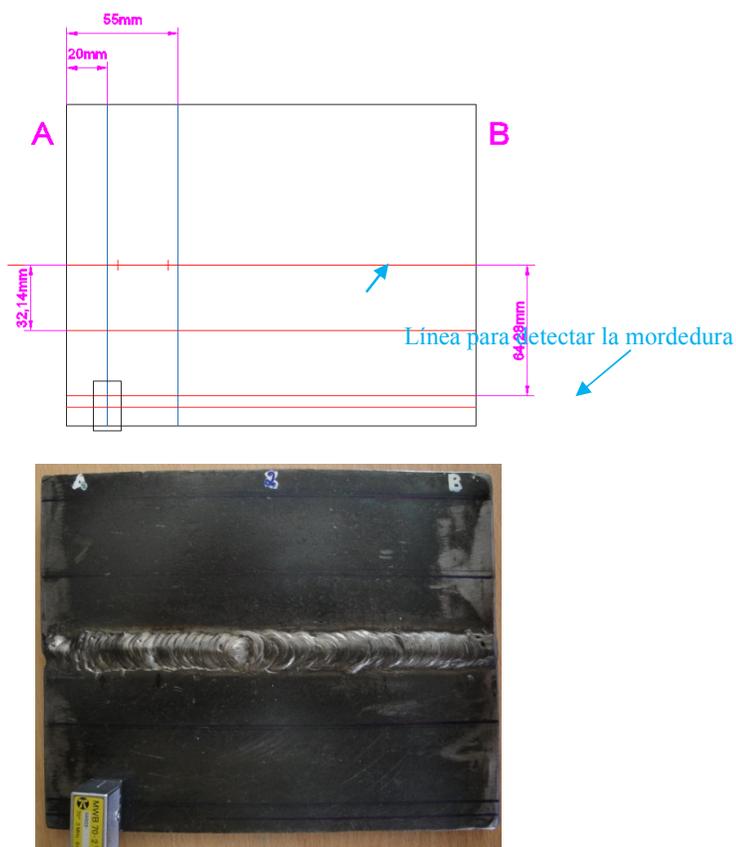


Fig. 3.34 Zona de inspección, la dirección de barrido a efectuarse y la posición del palpador sobre la placa. Primero transversal y luego longitudinal.

Para detectar la mordedura de borde es necesario considerar la posición de esta en el cordón y debido a que el defecto se encuentra fuera del eje de soldadura, es necesario considerar la posición del palpador para detectarlo, Como indica la fig. 3.34.

Para la posición del palpador se traza una línea a 64 mm desde el borde de la soldadura, esta se encontrara después de la línea del paso, la cual se denominara línea de inspección de mordedura. Empleando el movimiento transversal del palpador. La fig. 3. 35, muestra la señal producida por el defecto mordedura de borde utilizando 46 dB de ganancia, en

este punto el pico de señal esta ubicado en 68 mm en el eje horizontal de la pantalla con una altura de pico de señal de 63% de ATP. La cual al trasladarse a la regla da una profundidad de 12 mm desde la raíz de la soldadura, esto indica que el defecto se encuentra en el borde del cordón de soldadura. Como indica la fig. 3.35. Datos representados en la tabla 3.2.

TABLA. 3.2. SEÑALES MÁXIMAS OBTENIDAS DEL DEFECTO MORDEDURA DE BORDE

Recorrido angular del haz (mm)	Altura de señal (% ATP)	D [Profundidad del defecto desde la superficie de inspección (mm)]	Ganancia (dB)
68	63	0	46

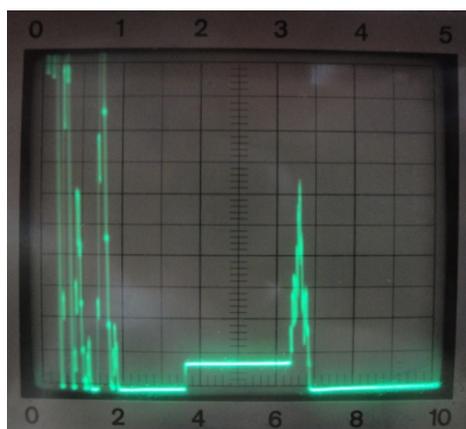


Fig. 3.35 Pico de respuesta de señal a una distancia de 68 mm y con una altura de 63% de ATP. En el límite del campo de inspección. Característica de Mordedura de borde. 46 dB de ganancia.

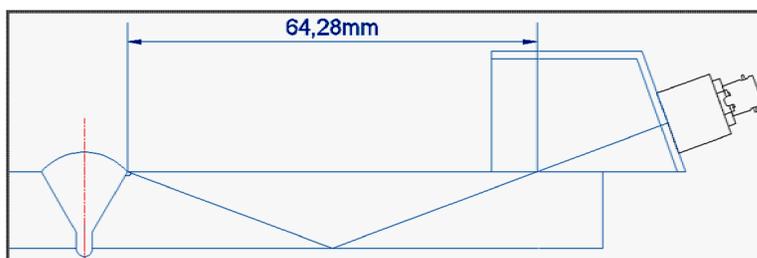


Fig. 3.36 Posición del palpador y la ubicación del defecto mordedura en el cordón de soldadura.

3.2.1.3 Inspección ultrasónica de la placa N-03 Fisuras Transversales.

Se establece la zona de la placa sobre la cual se efectuara el barrido ultrasónico, como indica la fig. 3.37.

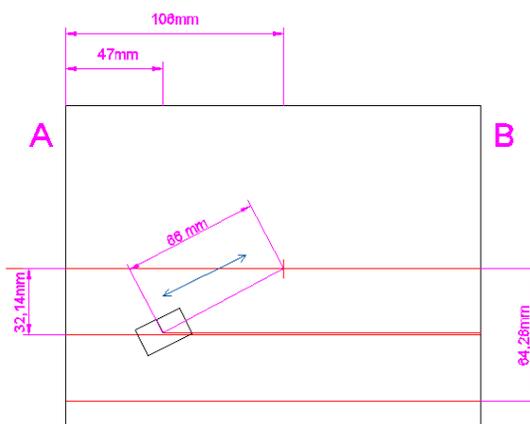
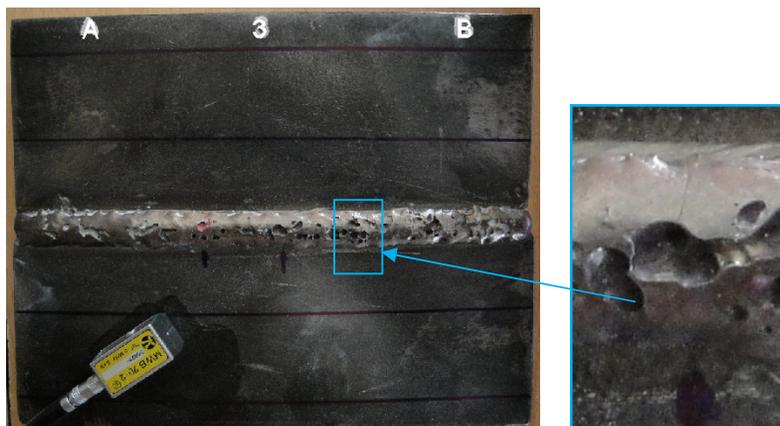


Fig. 3.37 Zona de inspección y la dirección de barrido a efectuarse. Transversal y luego longitudinal.

Es necesario efectuar un barrido en la dirección que indica la fig. 3.38 para detectar la presencia del defecto, además de determinar la profundidad de la falla transversal en el cordón de soldadura. La fig. 3.39 indica la posición del palpador sobre la placa.



La fig. 3.38 Posición y dirección del palpador sobre la placa con fisuras transversales

La fig. 3.39, indica el pico de señal producido por la fisura transversal, en este punto el pico de señal esta ubicado en 74 mm en el eje horizontal de la pantalla, con una altura de pico de señal de 99% de ATP. Distancia que al trasladarse a la regleta da una profundidad de 13.88 mm desde la raíz de la soldadura, indicando que el defecto esta en la parte superior del cordón de soldadura.

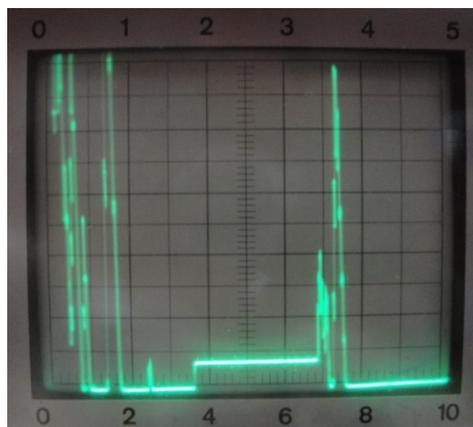


Fig. 3.39 Pico de respuesta de señal a una distancia de 74 mm y con una altura de 99% de ATP.

Fuera del campo de análisis. Característica de Fisura transversal

A demás es necesario determinar la profundidad a la que ha penetrado la fisura transversal para lo cual se utilizan los datos de la tabla 3.3.

Empleando 46 dB de ganancia.

TABLA 3.3 SEÑALES PROVENIENTES DEL DEFECTO FISURA TRANSVERSAL.

S [Recorrido angular del haz (mm)]	Altura de señal (% ATP)	D [Profundidad del defecto desde la superficie de inspección (mm)]	Ganancia (dB)
60	85	3	46
70	90	Sobre la superficie 0.49	46
74	99	Sobre la superficie 1.88	46

El tamaño de la fisura transversal es de 4.88 mm.

3.2.1.4 Inspección ultrasónica de la placa N-04 Escorias.

Se establece la zona de la placa sobre la cual se efectuara el barrido ultrasónico y la posición del palpador sobre la paca, como indica la fig. 3.40.

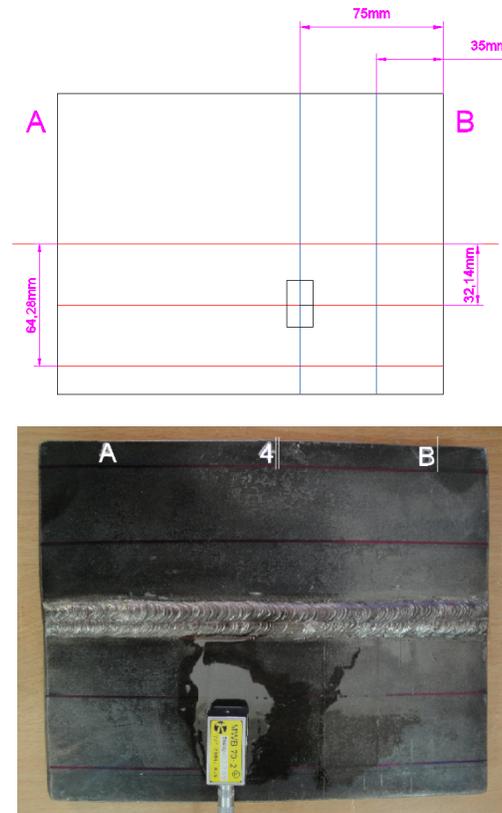


Fig. 3.40. Zona de barrido para inspección de Escorias y la posición del palpador sobre la placa.

La fig. 3.41 (a) muestra la señal característica que proviene de la escoria, en este punto el pico de señal esta ubicado en 40 mm en el eje horizontal de la pantalla, con una altura de pico de señal del mas del 100% de ATP. La cual al trasladarse a la regleta da una profundidad de 2 mm desde la raíz de la soldadura, este defecto es del tipo heterogéneo. Inspección realizada con 46 dB. La fig. 3.41 b), c) muestra la posición del palpador sobre la placa para detectar la escoria.

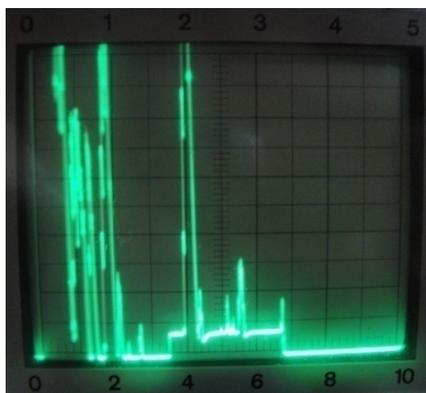


Fig. 3.41 (a)

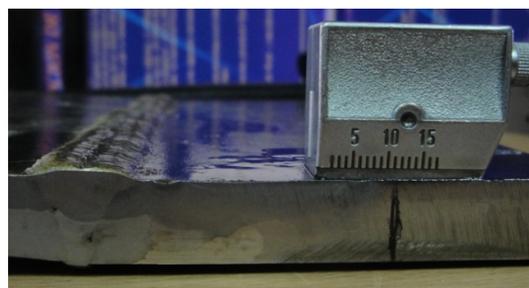


Fig. 3.41 (b)

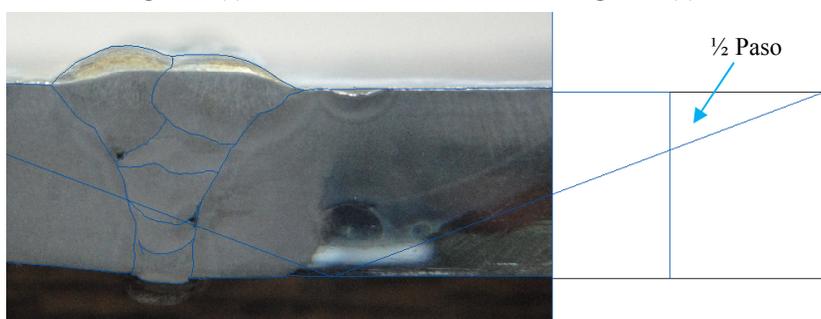


Fig. 3.41 Varios picos de respuesta de señal a una distancia de 40 mm y con una altura del más del 100% de ATP. Característica de Escoria.

En la tabla 3.5, se puede ver las diferentes profundidades a las que se ubica la escoria (heterogeneidad acumulada distribuida).

TABLA 3.5. SEÑALES PROVENIENTES DE LA ESCORIA. UBICADAS ENTRE DISTINTOS CORDONES.

S [Recorrido angular del haz (mm)]	Altura de señal (% ATP)	D [Profundidad del defecto desde la superficie de inspección (mm)]	Ganancia (dB)
36	60	11.41	46
40	+ 100	10	46
44	60	8.56	46
46	40	8	46
48	18	7.21	46

La escoria se encuentra en todo el cordón de soldadura en la dirección vertical.

La fig. 3.42 y 3.43, indica la señal proveniente del barrido horizontal, la cual muestra que la escoria se extiende a lo largo del cordón. Con una altura 45% de ATP.

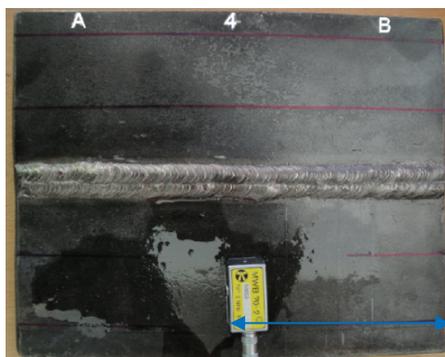


Fig. 3.42 Palpador desplazándose longitudinalmente para estimar la longitud de la escoria en la placa.

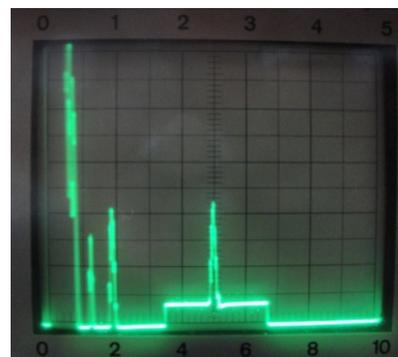


Fig. 3.43 Pico de señal con una altura de 45% de ATP. Para barrido longitudinal.

Se establece la zona de la placa sobre la cual se efectuara el barrido ultrasónico y la posición del palpador sobre la placa, como indica la fig. 3.44.

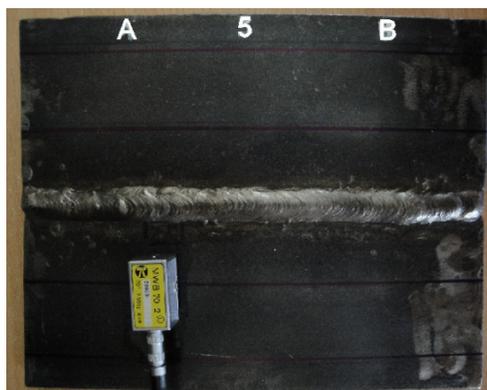
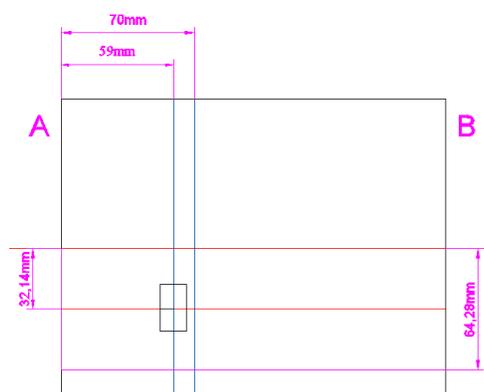


Fig. 3.44. Zona de barrido para inspección de Penetración Excesiva y posición del palpador sobre la placa.

La fig. 3.45, permite visualizar la señal característica que proviene del defecto Penetración Excesiva, en este punto el pico de señal esta ubicado en 42 mm en el eje horizontal de la pantalla, con una altura de pico de señal de 100% de ATP. La cual al trasladarse a la regleta da una profundidad de 14.69 mm desde la raíz de la soldadura, este defecto esta por debajo de la raíz de la soldadura. Inspección realizada con 46 dB.

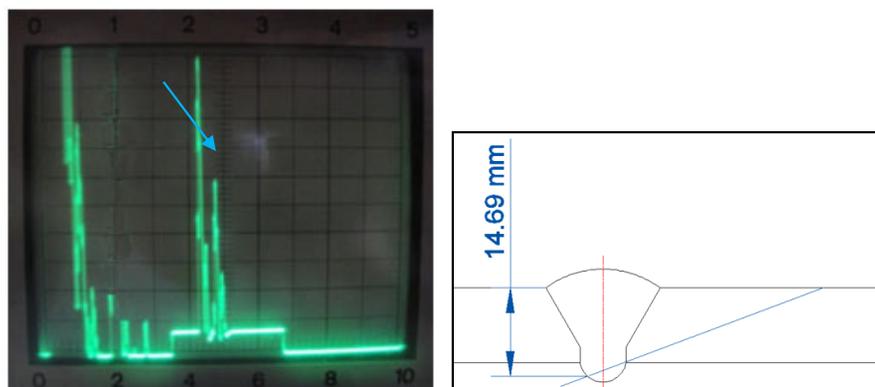


Fig. 3.45 Señal proveniente de una raíz de soldadura muy pronunciada. Característica de Penetración Excesiva.

La tabla 3.6 indica el inicio y el fin de la penetración excesiva.

TABLA 3.6 SEÑALES PROVENIENTES DEL DEFECTO PENETRACIÓN EXCESIVA.

S [Recorrido angular del haz (mm)]	Altura de señal (% ATP)	D [Profundidad del defecto desde la superficie de inspección (mm)]	Ganancia (dB)
42	100	Sobre la superficie 2.69	46
50	60	6.51	46
57	16	4	46

La penetración excesiva es evidente en la raíz del cordón de tamaño mas grande de lo normal, aproximadamente 3.1 mm por debajo de la cara inferior de la placa.

En la fig. 3.46, se observa la señal proveniente del barrido horizontal, de lo cual se puede deducir que la penetración excesiva se extiende por todo el cordón. Con una altura 100% de ATP.

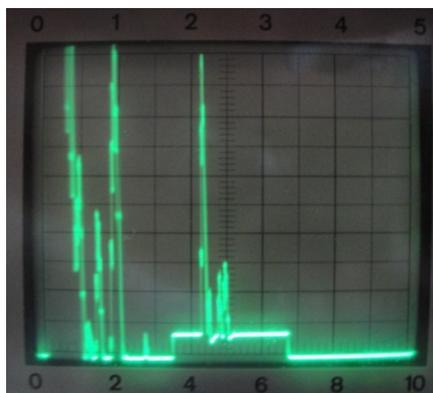


Fig. 3.46 Pico de señal con una altura de 100% de ATP. Para barrido longitudinal.

3.2.1.6 Inspección ultrasónica de la placa N-06 Poros.

Se establece la zona de la placa sobre la cual se efectuara el barrido ultrasónico y la posición del palpador sobre la placa, como muestra la fig. 3.47.

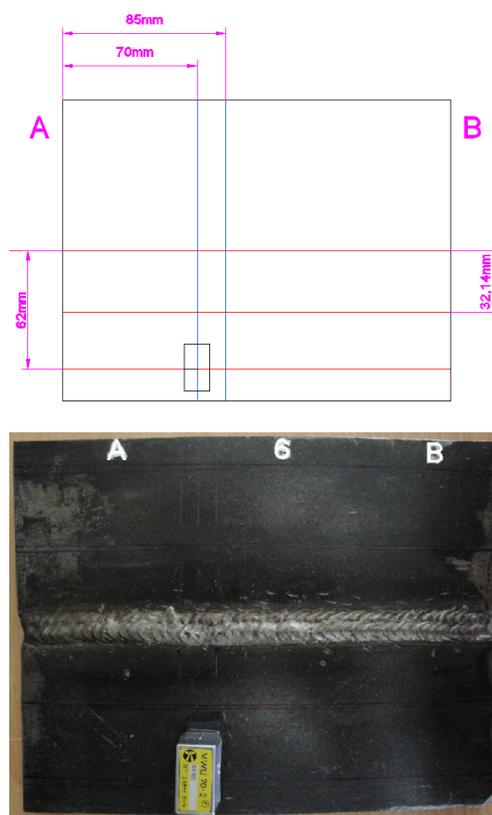


Fig. 3.47. Zona de barrido para inspección de Poros y la posición del palpador sobre la placa.

La fig. 3.48, indica la señal característica que proviene de los Poros, ubicada a 54, 62, 66 mm en el eje horizontal de la pantalla, con una altura de pico de señal de 55% de ATP.

La tabla 3.7, muestra la ubicación y tamaño del defecto.

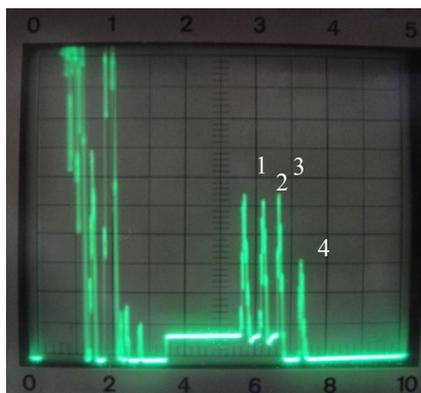


Fig. 3.48 Tres picos de señal en la zona de interés y uno más fuera de la zona de interés.

Característica de presencia de Poros.

TABLA 3.7 SEÑALES PROVENIENTES DEL DEFECTO PORO.

S [Recorrido angular del haz (mm)]				Altura de señal (% ATP)				D [Profundidad del defecto desde la superficie de inspección (mm)]				Ganancia (dB)
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
34	40	44	48	60	90	56	90	12	10	8.56	7.21	46
54	62	66	74	55				5.11	2.31	1	s. s 1.88	46
56	60	62	68	40	53	64	56	7.59	9	9.69	0.22	46

s.s. sobre la superficie de inspección

Los poros se encuentran presentes en todo el cordón de una manera muy distribuida.

La fig. 3.49, permite visualizar la señal proveniente del barrido horizontal, de lo cual se interpreta que los poros se extienden a lo largo del cordón. Con leves variaciones en el porcentaje altura de ATP de la señal.

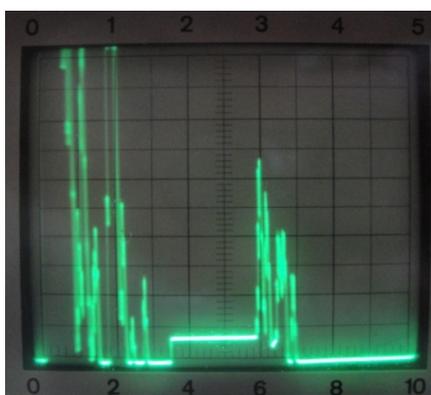


Fig. 3.49 Picos de señal de la porosidad. Para barrido longitudinal.

3.2.1.7 Inspección ultrasónica de la placa N-07 Inclusión (Varilla de Tungsteno).

Se establece la zona de la placa sobre la cual se efectuara el barrido ultrasónico y la posición del palpador sobre la placa, como muestra la fig. 3.50.

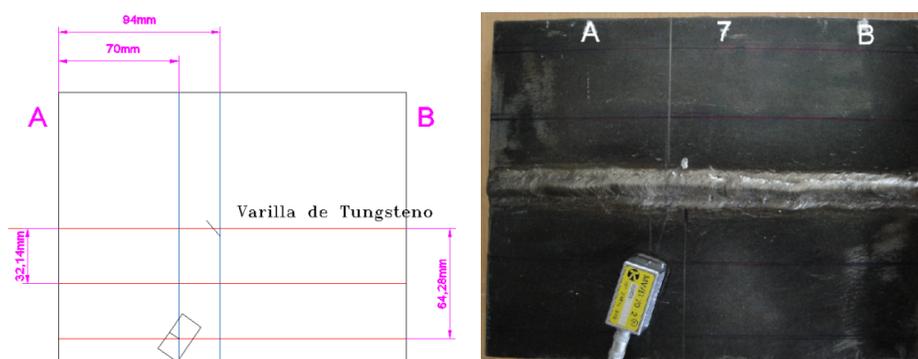


Fig. 3.50. Zona de barrido para inspección de Inclusiones y la posición del palpador sobre la placa. La fig. 3.51 se ve la señal característica que proviene de la Inclusión, ubicada a 48, 62 mm en el eje horizontal de la pantalla, con una altura de pico de señal de 88, 90% de ATP. La tabla 3.8 muestra la ubicación y tamaño del defecto. Inspección realizada con 46 dB.

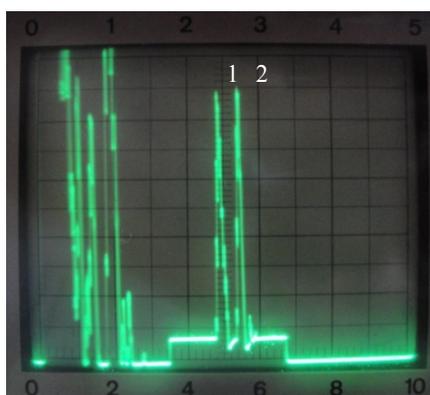


Fig. 3.51 Dos picos de señal indican la presencia de una Inclusión (varilla de tungsteno).

TABLA 3.8 SEÑALES PROVENIENTES DEL DEFECTO INCLUSIÓN (VARILLA DE TUNGSTENO).

S [Recorrido angular del haz (mm)]		Altura de señal (%) de ATP		D [Profundidad del defecto desde la superficie de inspección (mm)]		Ganancia (dB)
1	2	1	2	1	2	
44	48	88	90	8.56	7.21	46
48	62	52	58	7.21	2.31	46
61	68	45	38	2.61	0.22	46

En la fig. 3.52, se ve la señal proveniente del barrido horizontal, la cual muestra una inclusión en el cordón. Con leves variaciones en el porcentaje altura de ATP de la señal.

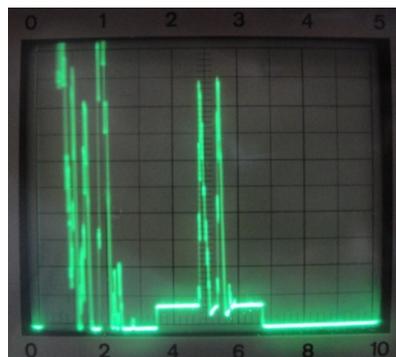


Fig. 3.52 Señal de una Inclusión. Para barrido longitudinal.

3.2.1.8 Inspección ultrasónica de la placa N-08 Fisura.

Se establece la zona de la placa sobre la cual se efectuara el barrido ultrasónico y la posición del palpador sobre la placa, como muestra la fig. 3.53.

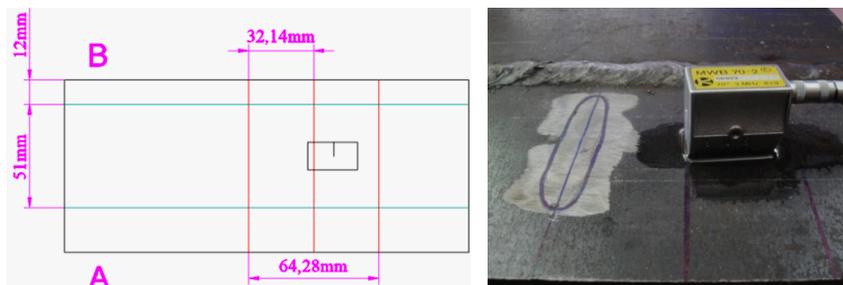


Fig. 3.53. Zona de barrido para inspección de Fisura y la posición del palpador sobre la placa.

La fig. 3.54, indica la señal característica que proviene del defecto Fisura, ubicada a 60 mm en el eje horizontal de la pantalla, con una altura de pico de señal superior al 100% de ATP. La tabla 3.9 muestra la ubicación y tamaño del defecto. Inspección realizada con 46 dB.

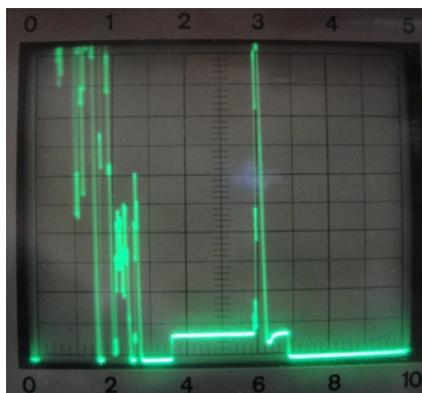


Fig. 3.54 Pico de señal. Característica de presencia de una Fisura.

TABLA 3.9 SEÑALES PROVENIENTES DE LA FISURA.

S [Recorrido angular del haz (mm)]	Altura de señal (%) de ATP	D [Profundidad del defecto desde la superficie de inspección (mm)]	Ganancia (dB)
48	20	7.21	46
50	98	6.5	46
60	> 100	3	46
63	32	2	46
66	10	0.92	46

La fig. 3.55, muestra la señal proveniente del barrido horizontal, la cual muestra una fisura en el cordón. Con leves variaciones en el porcentaje altura de ATP de la señal.

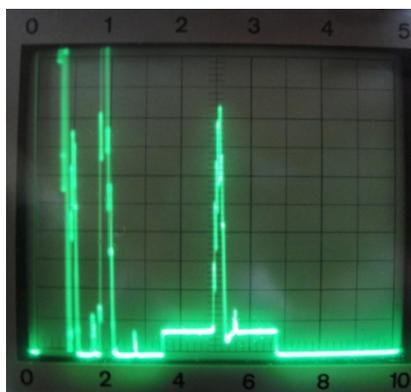


Fig. 3.55 Señal de una Fisura. Para barrido longitudinal.

3.2.1.9 Inspección ultrasónica de la placa N-09 Falta de Fusión.

Se establece la zona de la placa sobre la cual se efectuara el barrido ultrasónico y la posición del palpador sobre la placa, como muestra la fig. 3.56.

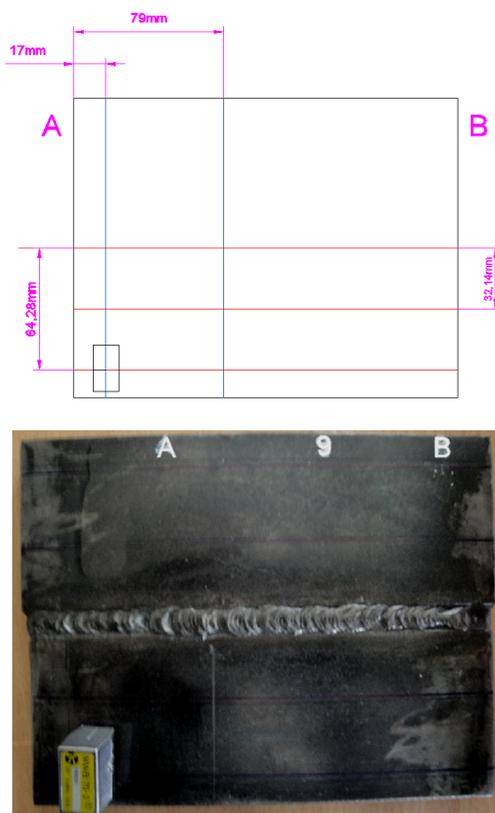


Fig. 3.56. Zona de barrido para inspección de Falta de Fusión y la posición del palpador sobre la placa.

La fig. 3.57, muestra la señal característica que proviene de la Falta de Fusión, ubicada a 54 mm en el eje horizontal de la pantalla, con una altura de pico de señal de 100% de ATP. La tabla 3.10, se indica la ubicación y tamaño del defecto. Inspección realizada con 46 dB.

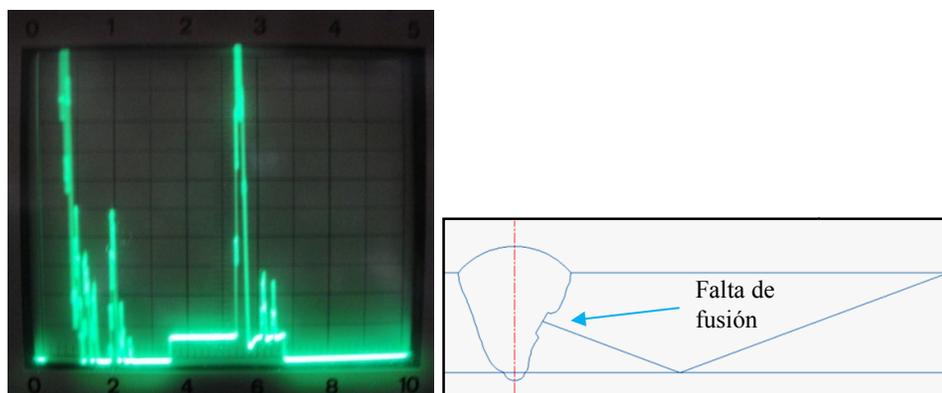
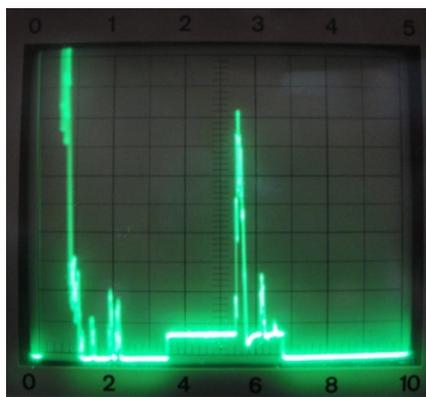


Fig. 3.57 Pico de señal. Característica de una Falta de Fusión.

TABLA 3.10 SEÑALES PROVENIENTES DEL DEFECTO FALTA DE FUSIÓN.

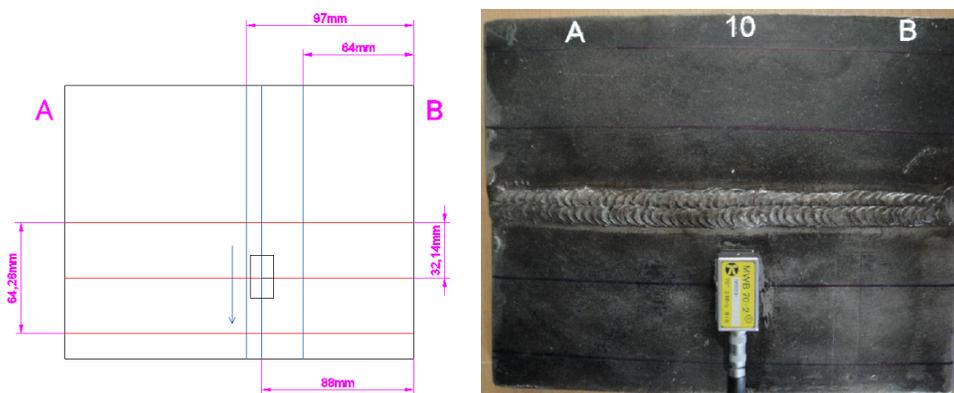
S [Recorrido angular del haz (mm)]	Altura de señal (% ATP)	D [Profundidad del defecto desde la raíz del cordón (mm)]	Ganancia (dB)
50	34	6.5	46
54	100	5.11	46
56	46	4.41	46
58	18	3.71	46

En la fig. 3.58 se ve la señal proveniente del barrido horizontal, la cual muestra una fisura en el cordón. Con leves variaciones en el porcentaje altura de ATP de la señal.

**Fig. 3.58** Señal de una Falta de Fusión. Para barrido longitudinal.

3.2.1.10 Inspección ultrasónica de la placa N-10 Quemón.

Se establece la zona de la placa sobre la cual se efectuara el barrido ultrasónico y la posición del palpador sobre la placa, como muestra la fig. 3.59.

**Fig. 3.59.** Zona de barrido para inspección de Quemón y la posición del palpador sobre la placa.

La fig. 3.60, muestra la señal característica que proviene del defecto Quemón ubicado en la raíz de la soldadura, ubicado a 40 mm en el eje horizontal de la pantalla, con una altura de pico de señal superior al 100% de ATP. La tabla 3.11 muestra la ubicación y tamaño del defecto. Inspección realizada con 46 dB.

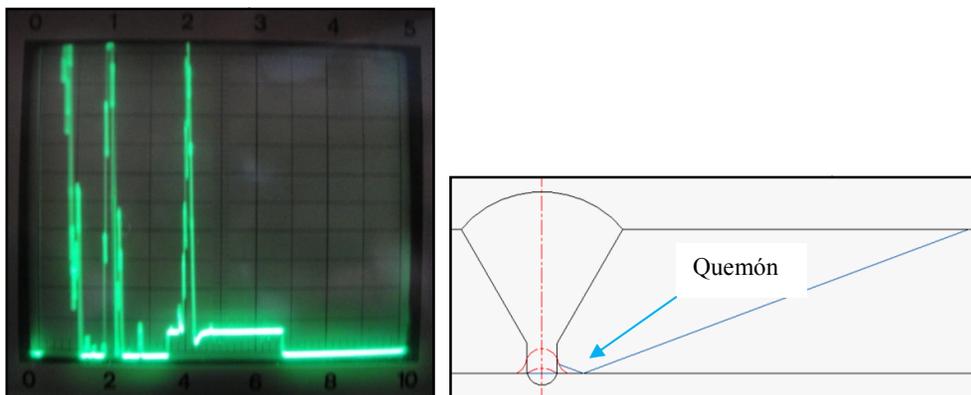


Fig. 3.60 Pico de señal que revela la presencia un Quemón.

TABLA 3.11 SEÑALES PROVENIENTES DEL DEFECTO QUEMÓN.

S [Recorrido angular del haz (mm)]	Altura de señal (% ATP)	D [Profundidad del defecto desde la raíz del cordón (mm)]	Ganancia (dB)
34	70	12	46
40	+ 100	10	46
44	92	8.56	46
46	52	8	46
50	18	6.5	46

La fig. 3.61 muestra la señal proveniente del barrido horizontal, de lo cual se interpreta la presencia de un quemón en la base del cordón.

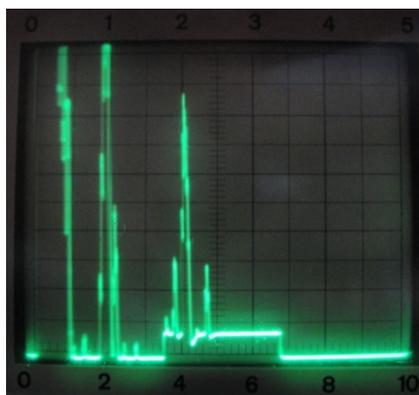


Fig. 3.61 Señal de un Quemón. Para barrido longitudinal.

3.3 Ensayo ultrasónico de muestras con Scan B.

Cuando se utiliza un palpador normal la forma del defecto es evidente como se puede apreciar en la fig. 3.62, la cual grafica el fondo del bloque IIW cuando el palpador normal realiza el barrido.

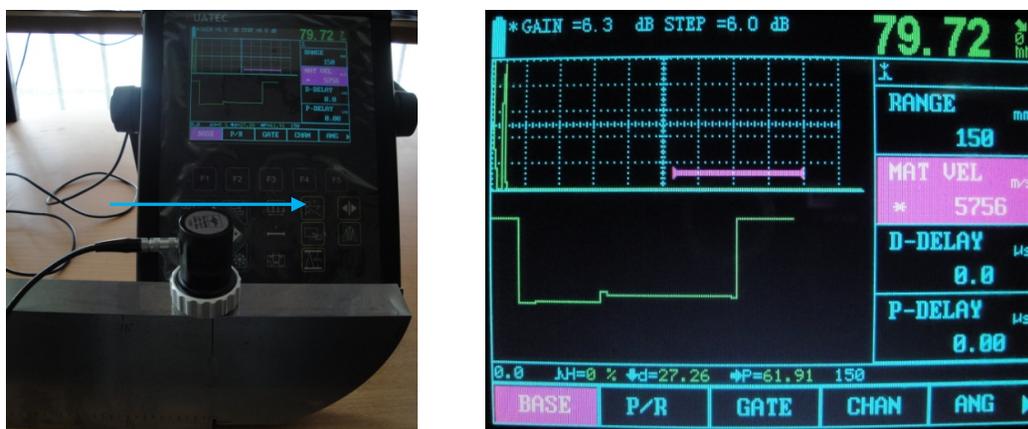


Fig. 3.62 Barrido del Palpador sobre el bloque IIW y señal de scan B del fondo del bloque.

Para la inspección de muestras utilizando el modo Scan B, se emplea el equipo HUATEC FD201, el cual debe ser calibrado para palpador angular con los parámetros necesarios, además activar el modo de detección B scan; para lo cual se debe seguir el Procedimiento:

END-US-001 Scan B

Es necesario establecer el nivel de ganancia para la inspección, para lo cual se grafica la curva DAC, fig. 3.63, directamente sobre la placa N-01 siguiendo el procedimiento **END-US-002 Scan B**.



Fig. 3.63 Curva DAC obtenida con el equipo HUATEC FD201.

Una vez establecida la ganancia se inicia la inspección de las muestras con sus diferentes defectos característicos.

Para realizar la inspección el barrido se realiza de la misma manera como si se tratara de un barrido A (Scan A) en la dirección transversal y longitudinal. La forma de realizar dichos barridos fue explicada en el capítulo 3 sección 3.3.

La ganancia establecida por la curva DAC revela si la indicación (discontinuidad) es considerada un defecto o no. Al realizar la inspección el tamaño de la señal perteneciente al defecto es demasiado grande; por lo tanto, es necesario reducir el nivel de ganancia de 56 dB utilizado para el trazo de la curva DAC a un intervalo de 44 a 54 dB para la inspección de las placas que contienen los defectos a caracterizar.

3.3.1 Inspección ultrasónica de la placa N 01 Falta de Penetración.

La fig. 3.64, muestra la señal característica de la falta de penetración en la modalidad B scan, en la parte inferior de la pantalla del equipo HUATEC, además el equipo posee una función de trazado de recorrido de la señal de A scan, que funciona también en la función de B scan.

Para que el trazo de la curva sea realizado es necesario que la compuerta (GATE) tenga un ancho adecuado para detectar la señal. El ancho del GATE esta en función de la distancia recorrida por el haz angular.

La fig. 3.64, indica una señal de tipo escalonada la cual empieza a ser registrada en el momento en el que el palpador hace contacto con la placa y el haz ultrasónico detecta la discontinuidad o defecto, y deja de registrarla en el momento en que la discontinuidad o defecto desaparece, (deja de ser detectada por el haz ultrasónico), o cuando el acople entre la placa y el palpador no es el adecuado.

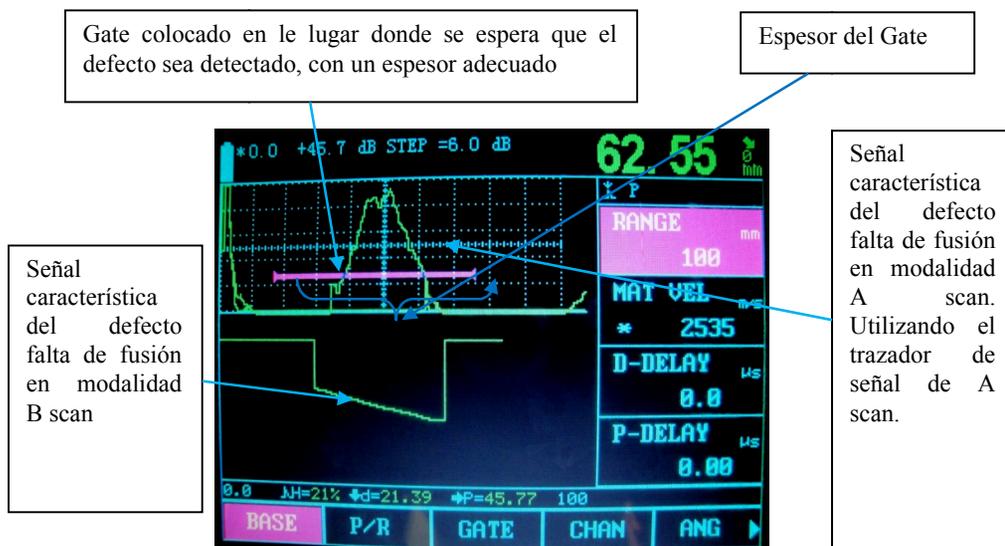


Fig. 3.64 Señal de la falta de penetración, en la modalidad B Scan.

Para la inspección con barrido longitudinal en la modalidad B scan la fig. 3.64 muestra la señal característica para este defecto.

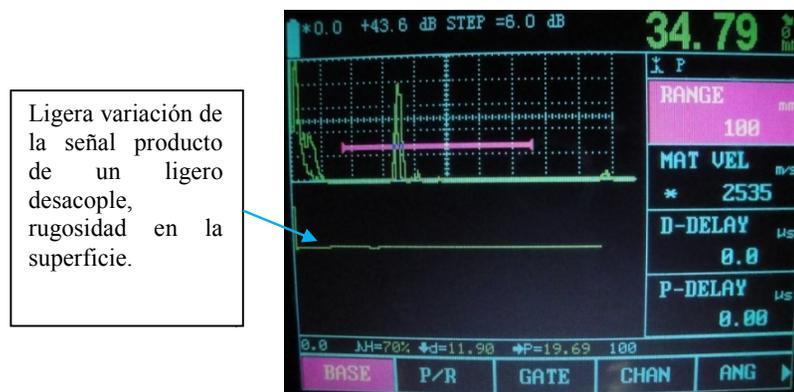


Fig. 3.65 Señal de la falta de fusión en la modalidad B scan. Para barrido longitudinal.

3.3.2 Inspección ultrasónica de la placa N 02 Mordedura de borde.

Para la detección del defecto mordedura de borde se procede de manera idéntica que la realizada para la modalidad A scan.

La fig. 3.66, indica la señal de la mordedura de borde con modalidad B scan, el palpador permanece fijo sobre la palca en la posición justa donde se detecta este defecto.



Fig. 3.66 Señal del defecto mordedura de borde en la modalidad B scan.

La razón por la cual el palpador se encuentra fijo (sin desplazamiento) es que el defecto mordedura de borde es de longitud muy pequeña y al desplazar el palpador el defecto sale del rango de detección. En la fig. 3.66, la señal para el B scan es una línea recta. Si se desplaza el palpador esta señal se pierde y la línea (señal de B scan) regresa a la posición original.

3.3.3 Inspección ultrasónica de la placa N 03 Fisura transversal

Para la detección del defecto fisura transversal se procede de manera idéntica que la realizada para la modalidad A scan.

La fig. 3.67, indica la señal característica proveniente de una fisura transversal con modalidad B scan. La señal inicia en forma descendente escalonada a partir de inicio de la fisura transversal producto de que esta no se extiende por toda la profundidad del cordón de soldadura, si no mas bien esta situado en la parte superior del mismo, la grafica de la señal regresa al punto de inicio debido a que el haz llego a la parte superior o cumbre del cordón. Además se indica la señal en modo A scan utilizando el trazador de señal A scan.



Fig. 3.67 Señal característica de la fisura transversal en la modalidad B scan.

El pico que se divisa dentro de la envolvente de la curva es el que la genera (fig. 3.67), muestra el pico de señal en un instante del proceso de caracterización de la señal del defecto.

3.3.4 Inspección ultrasónica de la placa N 04 Escorias

Para la detección de la escoria se procede de manera idéntica que la realizada para la modalidad A scan.

La fig. 3.68 muestra la señal característica proveniente de la escoria con modalidad B scan, la señal es de tipo escalonada, inicia desde el momento que la señal ultrasónica detecta el defecto y en el instante que el defecto deja de ser detectado la señal del B scan regresa a su posición inicial de inspección. La fig. 3.68 también indica el perfil de señal para el modo A scan.



Fig. 3.68 Señal característica de la escoria en la modalidad B scan.

3.3.5 Inspección ultrasónica de la placa N 05 Penetración Excesiva

Para la detección de la penetración excesiva se procede de manera idéntica que la realizada para la modalidad A scan.

En la fig. 3.69, la señal característica proveniente de la penetración excesiva con modalidad B scan, la señal es de tipo escalonada ascendente; en el inicio tiene una cumbre en la señal de A scan, en el scan B se produce un salto de señal y un ascenso en la señal para luego regresar al punto de origen cuando el haz sale de la zona de penetración excesiva.

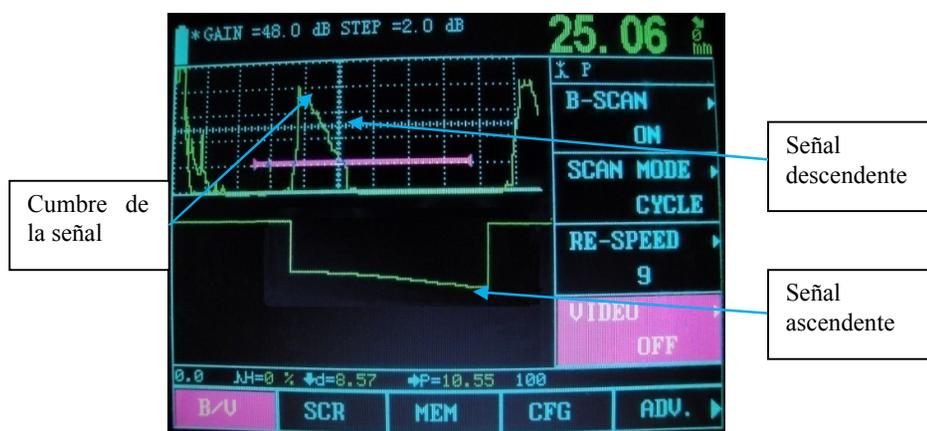


Fig. 3.69 Señal característica de la penetración excesiva en la modalidad B scan.

3.3.6 Inspección ultrasónica de la paca N 06 Poro.

Para la detección de la porosidad se procede de manera idéntica que la realizada para la modalidad A scan.

La fig. 3.70, muestra la señal característica proveniente del poro con modalidad B scan, la señal de tipo escalonada ascendente, además de mostrar la evolvente de la curva para la señal en modalidad A scan. La fig. 3.70 muestran los picos característicos del defecto poro en modalidad A scan los cuales dan la forma de la evolvente mostrada en la fig. 3.71 para A scan.

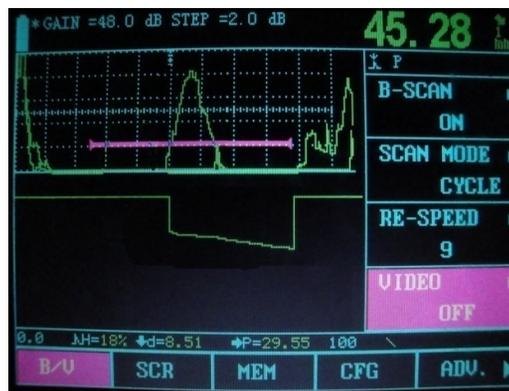


Fig. 3.70 Señal del defecto poro en la modalidad B scan.

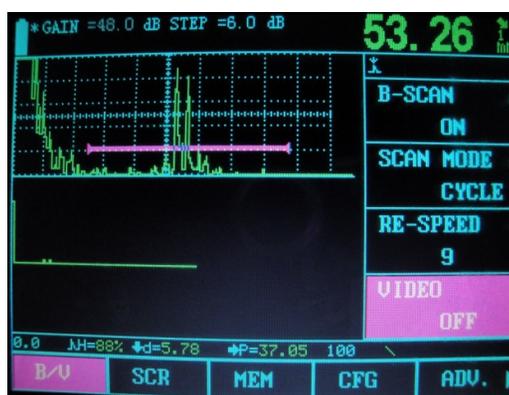


Fig. 3.71 Señales provenientes del defecto poro para genera la envolvente de la fig. 3.70.

3.3.7 Inspección ultrasónica de la placa N 07 Inclusión

Para la detección de una inclusión se procede de manera idéntica que la realizada para la modalidad A scan.

En la fig. 3.72, la señal característica proveniente de una inclusión con modalidad B scan, la señal es de tipo escalonada ascendente en el instante en que es detectada la presencia de la inclusión (varilla de tungsteno), para luego volver a su posición de origen la señal de B scan cuando la inclusión deja de ser detectada. La fig. 72, también muestra la envolvente de la curva de este defecto en A scan.



Fig. 3.72 Señal característica de una inclusión en la modalidad B scan.

3.3.8 Inspección ultrasónica de la placa N 08 Fisura

Para la detección de una fisura se procede de manera idéntica que la realizada para la modalidad A scan.

La fig. 3.73, muestra la señal característica proveniente de una fisura con modalidad B scan, la señal es tipo escalonada ascendente. Además se muestra también la envolvente de la curva para este defecto en A scan. Como la fisura es un defecto ubicado en la parte superior de la placa se observa que la señal para A scan se ubica a partir de la mitad del eje longitudinal.



Fig. 3.73 Señal característica de una fisura en la modalidad B scan.

3.3.9 Inspección ultrasónica de la placa N 09 falta de fusión.

Para la detección de la falta de fusión se procede de manera idéntica que la realizada para la modalidad A scan.

La fig. 3.74, indica la señal característica proveniente de la falta de fusión con modalidad B scan, la señal es escalonada ascendente, como indica la figura la falta de fusión se ubica a media altura en el cordón, pero la señal cae rápidamente debido a que el defecto no se extiende en todo el cordón de soldadura en dirección vertical.



Fig. 3.74 Señal característica de la falta de fusión en la modalidad B scan.

3.3.10 Inspección ultrasónica de la placa N 10 quemón.

Para la detección del defecto quemón se procede de manera idéntica que la realizada para la modalidad A scan.

En la fig. 3.75, se puede observar la señal característica proveniente del defecto falta de fusión con modalidad B scan, la señal escalonada ascendente, como el defecto se encuentra en la raíz del cordón la señal proveniente de este defecto aparece inmediatamente, y desaparece conforme el haz proveniente del palpador deja la zona donde este se ubica. Además la fig. 3.75, muestra la envolvente de la curva de la señal causada por el defecto, con un pico máximo inicial y cae por la misma razón que la señal desaparece en la modalidad B scan.

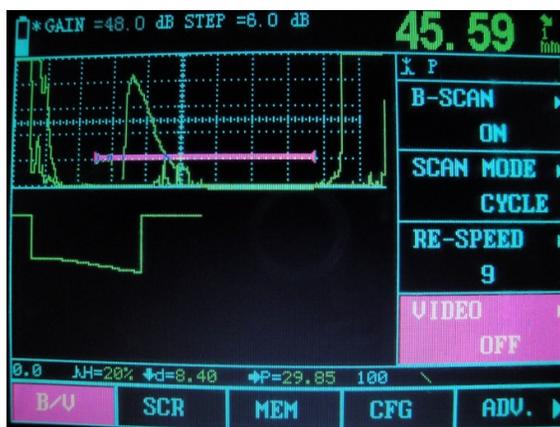


Fig. 3.75 Señal característica del defecto quemón en la modalidad B scan.

Como se muestra en todas las figuras las señales provenientes de los diferentes efectos en modalidad B scan son de apariencia muy similar por lo que es necesario para evaluar y discriminar el tipo y tamaño del defecto una inspección conjunta con la modalidad A scan.

La altura de la señal en la modalidad B scan depende únicamente del rango que se configuro antes de la inspección.

3.4 Inspección ultrasónica en tubería.

Para la inspección sobre tubería (114.4 mm de diámetro y 9.5 mm de espesor) es necesario realizar la calibración de manera idéntica como si se tratara de una placa, determinando el medio pasó y pasó, además la media distancia y distancia angular. Empleando para ello un palpador de menor tamaño (diámetro del cristal), el menor tamaño del palpador logra un mayor acople entre la tubería y el palpador lo que beneficia a la inspección.

La fig. 3.76a muestra la tubería en contacto con el palpador (de 60°, 6x6 mm, 5Mhs), y la fig. 3.76b indica la manera de calibración sobre una tubería.

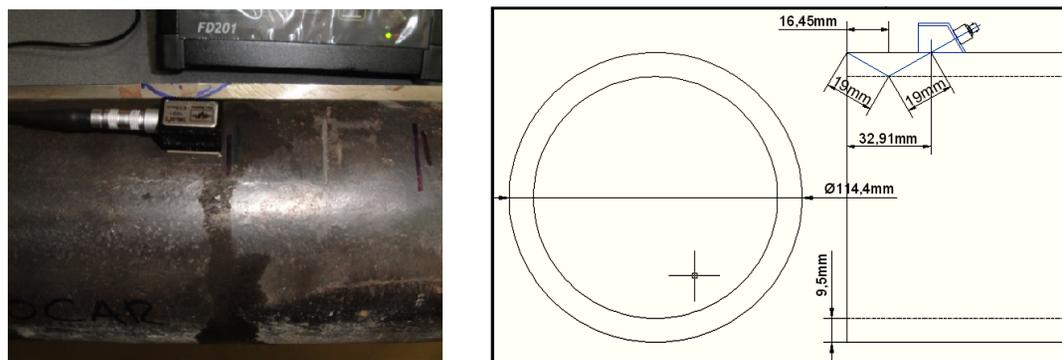


Fig. 3.76 a) Tubería en contacto con el palpador. b) Manera de calibración sobre una tubería.

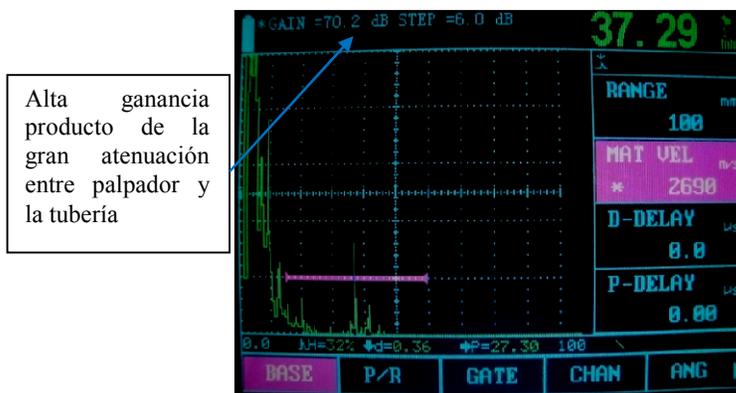


Fig. 3.77 Pico de señal producto de la calibración (Paso)

La fig. 3.77, muestra el pico de señal producto de la calibración obtenida con una alta ganancia producto de una gran atenuación debida al pobre acople entre el palpador y la tubería, pese a que se utiliza un palpador pequeño para minimizar este efecto.

Para determinar el tamaño de un agujero de 2.5 mm de diámetro en la tubería se aplica la función de curva AVG, para lo cual se debe seguir el procedimiento: **END-US-003 Scan B**.

La fig. 3.78 indica la curva AVG con la que se determina el tamaño del agujero realizado artificialmente.

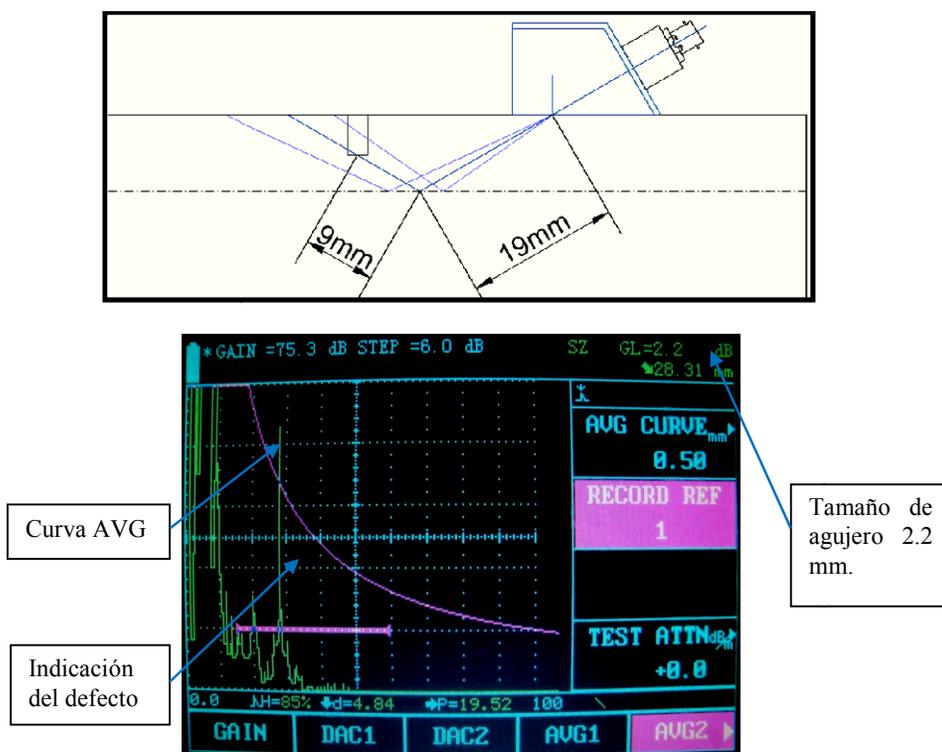


Fig. 3.78 Curva AVG, para determinar el tamaño aproximado del agujero.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Introducción

En el capítulo 3 se establecieron todos los parámetros necesarios para realizar la calibración del equipo ultrasónico con modalidad A y B scan, construcción de curva DAC y AVG, inspección de defectos en soldadura. En este capítulo se describirán las diferentes señales ultrasónicas producidas por los diferentes defectos, los procedimientos para calibración, construcción de curvas DAC y AVG.

4.2 Comparación entre el equipo ultrasónico KRAUTKRÄMER USK 7 y el HUATEC FD 201.



Fig. 4.1(a) Equipo Ultrasónico Krautkrämer



Fig. 4.2(a) Equipo Ultrasónico HUATEC

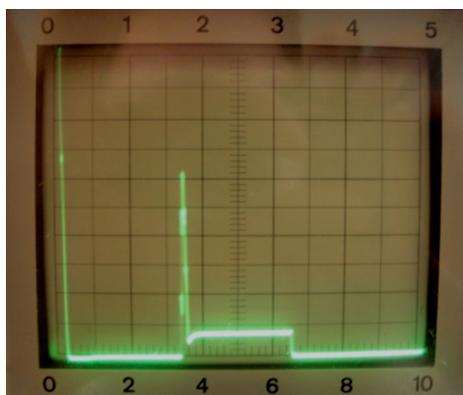


Fig. 4.1(b) Señal en el equipo Krautkrämer



Fig. 4.2 (b) Señal en el equipo HUATEC

- **Calibración en el equipo Krautkrämer:**

Seleccionar la escala de eco de fondo mediante el selector de escala.

Mediante los controles de cero y el control de posición de eco se realizan los ajustes necesarios para calibrar la distancia horizontal en la pantalla del equipo (ajuste de la velocidad de propagación del sonido), y con el ajuste de ganancia establecer la altura del eco.

Calibración según el procedimiento END-US-001.

- Señal proveniente del defecto en el equipo Krautkrämer:

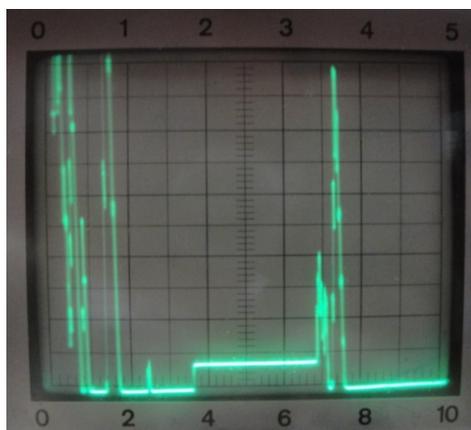


Fig. 4.3 Indicación de defecto. Fisura transversal.

- Cálculos Adicionales:

Para construir la curva del defecto es necesario utilizar un software como el Excel. Se utilizaran las señales de la fisura transversal para ilustrarlo (tabla 4.1 y fig. 4.4).

TABLA 4.1 SEÑALES PROVENIENTES DEL DEFECTO FISURA TRANSVERSAL.

S [Recorrido angular del haz (mm)]	Altura de señal (% ATP)
60	85
70	90
74	99

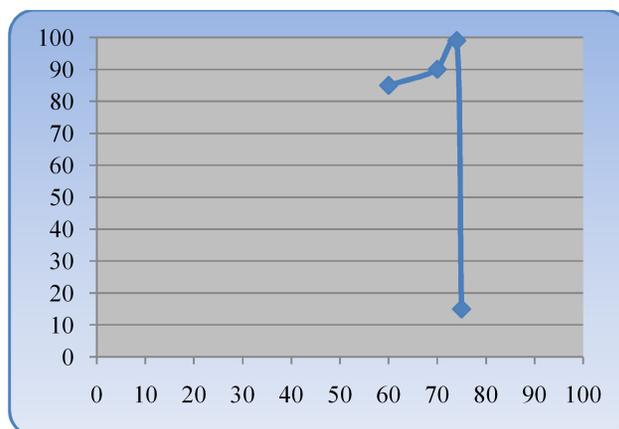


Fig. 4.4 Curva envolvente de la señal para la fisura transversal.

Para determinar la profundidad o ubicación a la que se encuentra el defecto: se utiliza una regleta construida en función del espesor de material a inspeccionar, ángulo del palpador, del medio paso y paso, como muestra la fig. 4.5: la utilización de esta regleta se describió en el capítulo 3 sección 3.3.1.

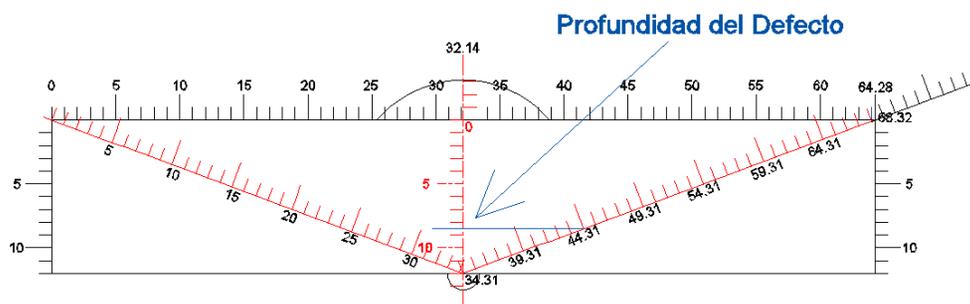


Fig. 4.5 Regleta utilizada para estimar la profundidad del defecto.

La tabla 4.2, indica la ubicación de la fisura transversal en el cordón de soldadura, empleando la regleta mostrada en la fig. 4.5.

TABLA 4.2. UBICACIÓN DEL DEFECTO UTILIZANDO LA REGLETA.

D [Profundidad del defecto desde la superficie de inspección (mm)]	Ganancia (dB)
3 Bajo la superficie	46
Sobre la superficie 0.49	46
Sobre la superficie 1.88	46

- *Calibración en el equipo Huatec FD 201:*

Ajustar el rango de inspección.

Ajustar o introducir la velocidad de propagación de sonido en el material.

Ajustar la altura del eco de señal mediante el botón “80% de ATP”.

Calibración según el procedimiento END-US-001 Scan B.

- Señal proveniente del defecto en el equipo HUATEC:

La fig. 4.6, muestra la señal proveniente de la fisura transversal.

- Cálculos Adicionales:

No se necesita la utilización de software alguno para la construcción de la curva del defecto.

Como lo muestra la fig. 4.6.

Para determinar la profundidad no es necesaria la utilización de la regleta, la lectura de la ubicación es de manera directa, como se puede observar en la fig. 4.6.



Fig. 4.6. Indicación del defecto. Curva evolute de la señal para Fisura transversal. Ubicación del defecto.

4.3 Desarrollo de procedimientos y metodologías para detección de defectos de soldadura utilizando B scan.

En base a la experimentación realizada en el capítulo 3, se desarrollaron los procedimientos de calibración con palpador normal y angular, calibración y construcción de curva DAC y AVG, determinación de sensibilidad y determinar el factor de transferencia por superficie.

Los procedimientos desarrollados (bajo norma ASTM Sección V, artículo 23) en esta tesis son los siguientes:

END-US-001. Calibración con palpador normal y angular. Anexo 1

END-US-002. Curva DAC Scan A y B. Anexo 2.

END-US-003. Curva AVG Scan A y B. Anexo 3.

END-US-004. Sensibilidad. Anexo 4.

END-US-005. Factor de transferencia por superficie. Anexo 5.

END-US-006. Inspección. Anexo 6.

END-US-007. Reporte de inspección. Anexo 7.

END-US-008. Verificación de Requisitos. Anexo 8.

END-US-001 Scan B. Descripción del Equipo HUATEC FD 201. Anexo 9.

END-US-002 Scan B. Calibración Palpador Normal y Angular. Anexo 10.

4.4 Análisis de las señales ultrasónicas y su relación con el tipo de defecto.

Se analiza las señales ultrasónicas obtenidas en el capítulo 3, tanto para scan A y scan B. Para esto es necesario tener siempre presente la posición del palpador (entre el medio paso y el paso) al momento de la inspección, además de considerar la distancia angular (primera o segunda reflexión del haz).

El equipo de scan B posee dos modalidades en la pantalla que se visualizan simultáneamente: el scan A en la parte superior y el scan B en la parte inferior.

En la modalidad del scan B la altura de la señal depende de la distancia angular a la que se encuentra la discontinuidad o defecto y el rango que se este empleando, independiente de la ganancia con la que se este realizando para la inspección. La fig. 4.7, 4.8 y 4.9 muestran el mismo defecto (mismo diámetro) pero siendo inspeccionado a diferente distancia angular, mostrando que la altura de la señal de scan B cambia dependiendo de la distancia angular.

Proporcionalidad
de la Distancia
angular 15.1 mm

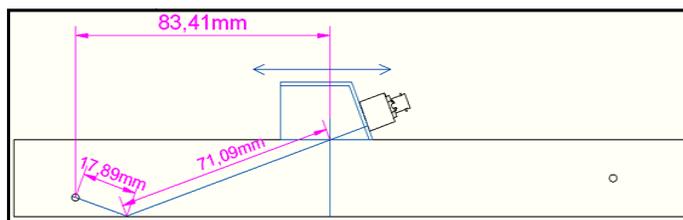
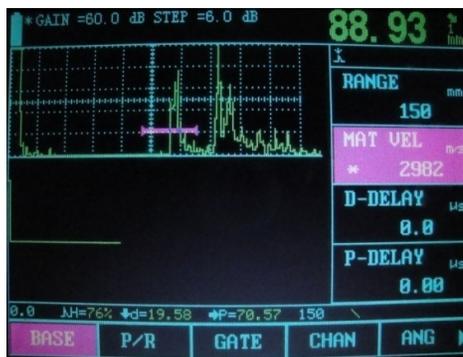


Fig. 4.7 Distancia angular en scan B (15.1mm)

Proporcionalidad
de la Distancia
angular 18.1 mm

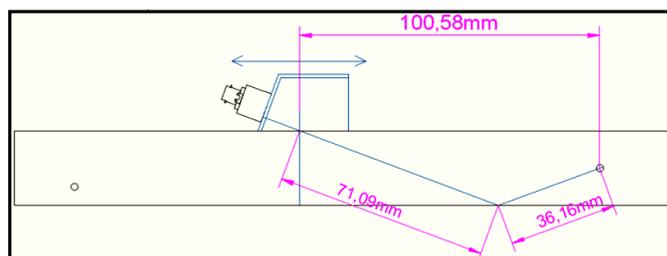


Fig. 4.8 Distancia angular en scan B (18.7mm)

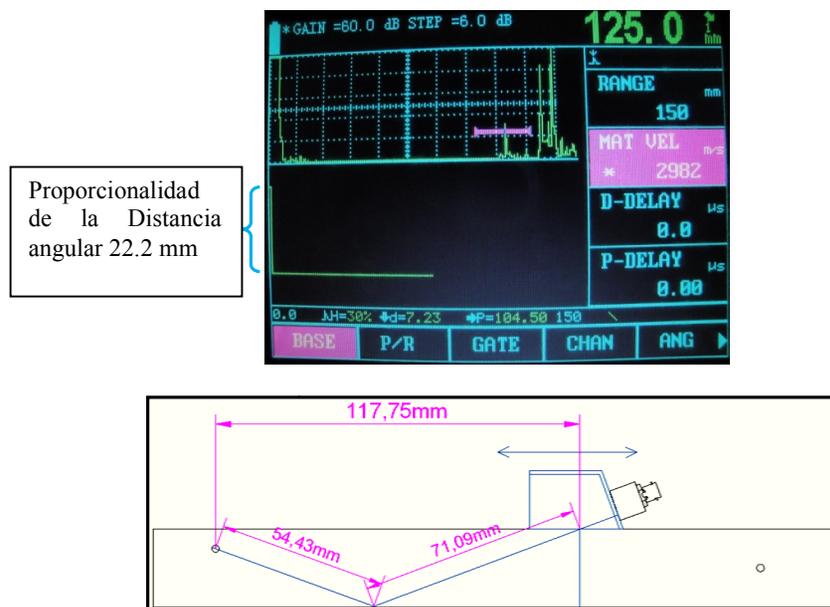


Fig. 4.9 Distancia angular en scan B (22.2mm)

Se utilizó el bloque ASME tipo SC para demostrar que la altura de la señal depende de la distancia angular debido a que posee únicamente un tipo de indicación bien definida. En la fig. 4.7, la distancia angular, S , para el agujero de 2.4 mm de diámetro, es 88.93 mm, dando una altura de señal en scan B de 15.1 mm.

En la fig. 4.8, la distancia angular es 107 mm, dando una altura de señal en scan B de 18.7 mm.

En la fig. 4.9, la distancia angular es 125 mm, dando una altura de señal en scan B de 22.2 mm.

- En el bloque ASME tipo IIW al realizar la inspección para la modalidad B con palpador angular, la fig. 4.10 indica la zona de inspección sobre la cual se desplazará el palpador, el haz angular al incidir sobre esta zona producirá 3 cumbres de señal fig. 4.11.

La primera cumbre o pico de señal proviene del primer punto de reflexión del bloque IIW (fig. 4.10), cuya altura en scan B es proporcional a la distancia angular (recorrido del haz).

La tercera cumbre o pico proviene del tercer punto de reflexión del bloque IIW (fig. 4.10) cuya altura en scan B es proporcional a la distancia angular (recorrido del haz).

La segunda cumbre de señal proviene del segundo punto aparente de reflexión del bloque IIW (fig. 4.10) produce una altura de señal en scan B no proporcional a la distancia angular (recorrido del haz), puesto que este punto (unión de una superficie recta y una superficie curva) no forma un

punto de reflexión, sino un punto de dispersión del haz el cual produce una lectura distinta de la que se espera encontrar. La fig. 4.12 indica los múltiples picos de respuesta producto de la dispersión del haz al incidir sobre la zona dos del bloque IIW.

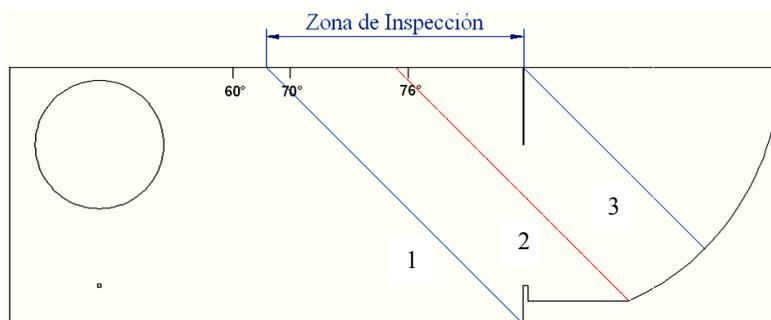


Fig. 4.10 Zona de inspección sobre el bloque IIW

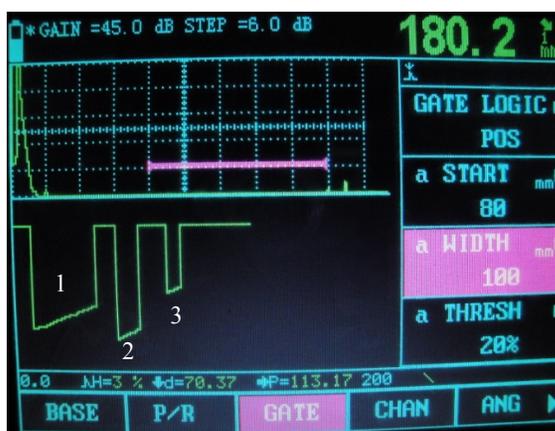


Fig. 4.11 Picos de señal

La tabla. 4.3, indica la altura del pico de señal corresponde a la distancia angular que la produce.

TABLA 4.3. DISTANCIA ANGULAR EN RELACIÓN CON LA ALTURA DE LA SEÑAL EN SCAN B

Señal	S (distancia angular mm)	Altura de señal en Scan B
1	141	25 mm
3	100	18 mm

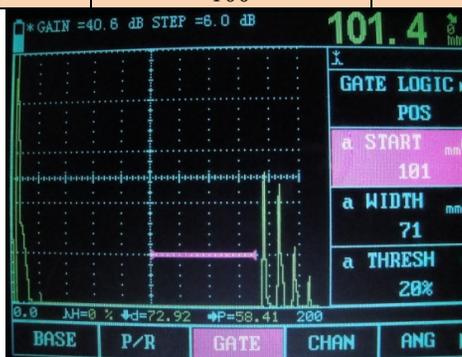


Fig. 4.12. Múltiples picos de señal provenientes de un punto de dispersión.

4.4.1 Falta de Penetración

La falta de penetración en la raíz de cordón presenta un pico de señal de gran altura en la posición de la media distancia angular (fig. 4.13a), lo cual indica que el defecto inicia en la base del cordón. La altura de la señal disminuye a medida que la fusión entre las placas existe, una vez la fusión entre placas es total el pico de señal desaparece fig. 4.13b. La fig. 4.13c muestra el esquema de la falta de fusión.

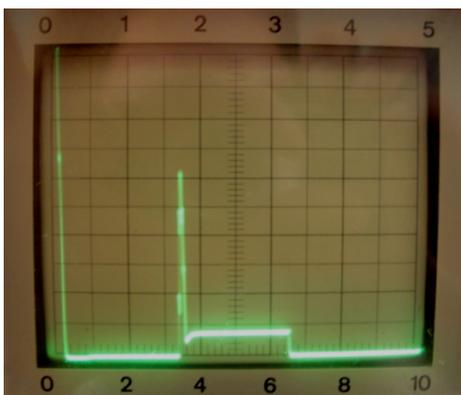


Fig. 4.13a Señal característica de la falta de penetración en la base del cordón.

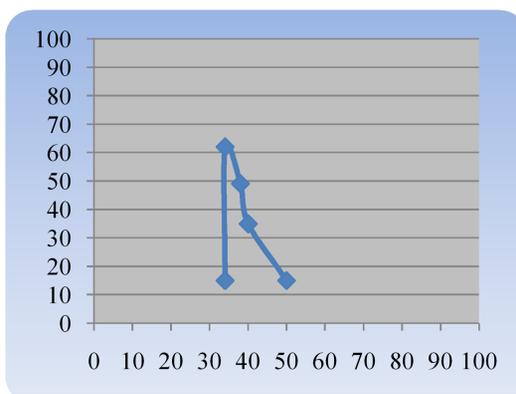


Fig. 4.13b Evolvente de la señal proveniente de la falta de penetración en la base del cordón.

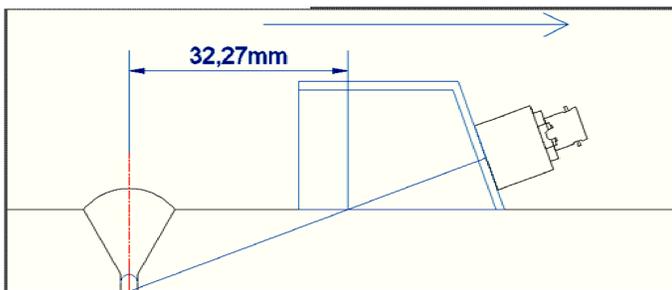


Fig. 4.13c. Esquema de la falta de penetración.

ANÁLISIS EN SCAN B

- Se realizara al análisis de la señal de scan B para la falta de penetración; y se realizara el mismo análisis y consideración para todas las demás placas que contienen los defectos característicos, de modo que el proceso de caracterización no se vuelva repetitivo y monótono.

Para el análisis de la falta de penetración utilizando el scan B es necesario realizar las mismas consideraciones posición para el palpador realizadas en scan A. En la señal de scan B al detectar el defecto esta efectúa un salto para indicar la detección del defecto, la

señal es creciente descendente a medida que la distancia angular del haz se incrementa por el desplazamiento del palpador para barrer todo el defecto. Cuando el haz deja de detectar la falta de penetración la señal del scan B efectúa nuevamente un salto hasta su posición inicial, fig. 4.13d.

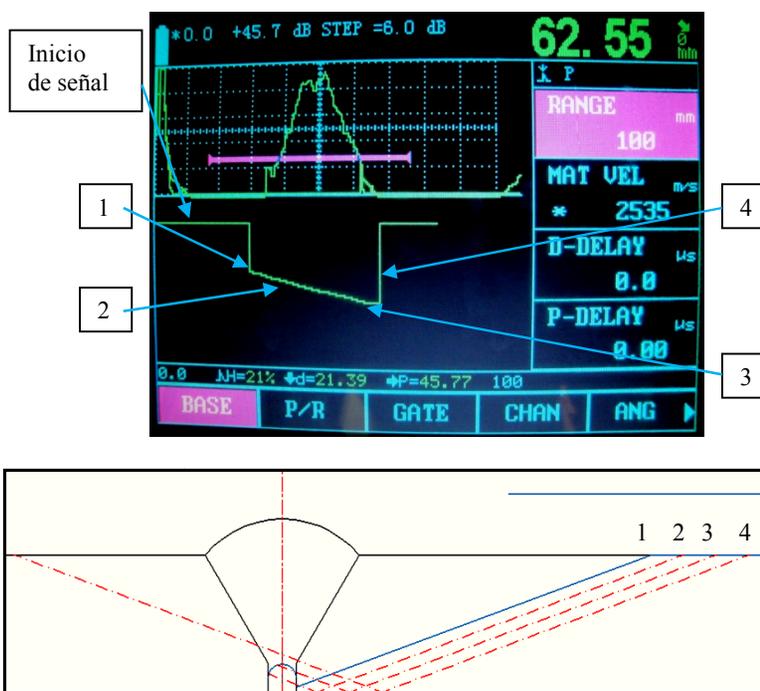


Fig. 4.13d. Señal de la falta de penetración en la base del cordón. Scan B

El punto 1 de la fig. 4.1-d muestra el inicio de la señal para B scan, a medida que la distancia angular aumento la altura de la señal crece (punto 2), alcanzando la máxima altura a la mayor distancia angular en la cual el defecto aun es detectado (punto 3), y regresando a la posición de inicio de la señal cuando el haz deja de incidir en el defecto (punto 4).

La tabla 4.4 y la fig. 4,13e indica los valores de distancia angular y profundidad comprendidos entre el punto 2 y 3 los cuales forman la señal escalonada de la fig. 4.13d

TABLA 4.4 RECORRIDO DEL HAZ (S) Y PROFUNDIDAD (D)

S	d
35,08	12
36,03	11,68
38,75	10,75
39,7	10,42
48	7,48
53,99	5,53

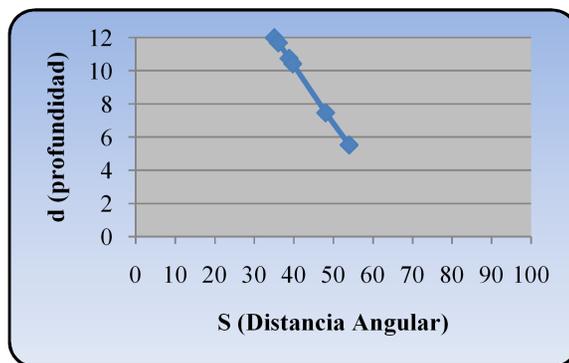


Fig. 4.13e Señal descendente similar a la de scan B

4.4.2 Mordedura de Borde

La mordedura de borde es un defecto que se encuentra en la parte superior del cordón y en el flanco del cordón, es necesario colocar el palpador en una posición más alejada que la del paso la cual permite la detección de la mordedura de borde. Este defecto al ser muy pequeño solo produce un pico de señal en la posición correspondiente a la distancia total angular (fig.4.14a), lo cual confirma que el defecto esta en la cara del cordón. La señal del defecto aparece y desaparece cuando el palpador se mueve (o sale) de la línea de detección de la mordedura de borde fig. 4.14b. La 4.14c muestra un esquema del defecto.

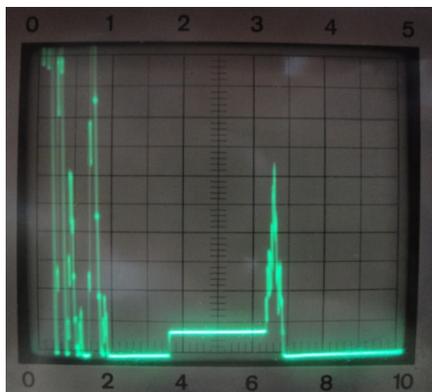


Fig. 4.14a Señal característica de la mordedura de borde.

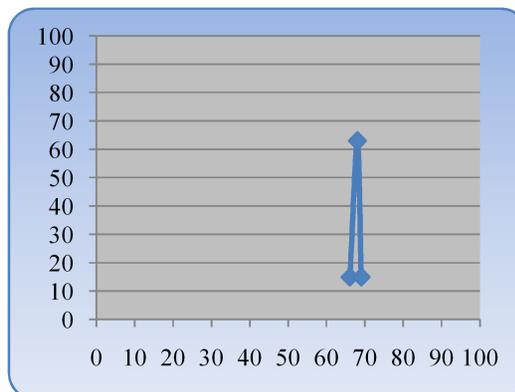


Fig. 4.14b Evolvente de la señal proveniente de la mordedura de borde.

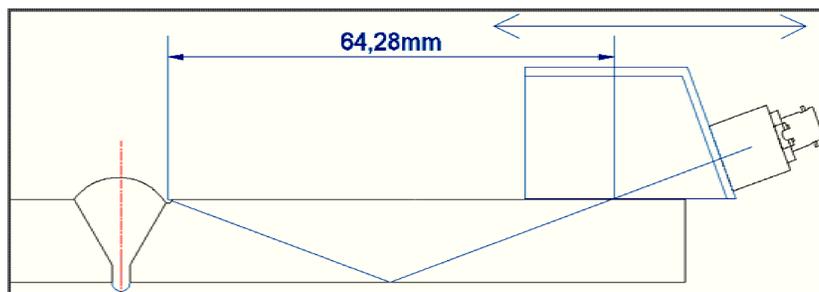


Fig. 4.14c. Esquema de la mordedura de borde.

La mordedura de borde es un defecto que no se debería inspeccionar por la técnica de ultrasonido debido a que se la puede detectar por inspección visual y es de un tamaño muy pequeño. Razón por la cual el haz incide por un corto periodo sobre el defecto durante el barrido, resultando difícil de detectar y tener una señal característica proveniente de la mordedura de borde en el scan B. En la fig. 4.14d se indica la señal de scan B para una mordedura de borde

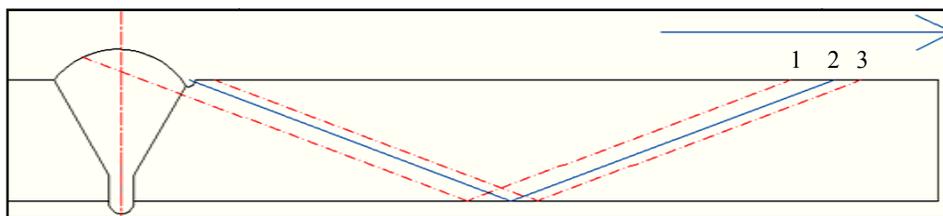


Fig. 4.14d Señal de la mordedura de borde.

4.4.3 Fisura Transversal

La fisura transversal esta situada en la parte superior del cordón y lo atraviesa forma perpendicular a este. Pero la fisura transversal no esta presente en todo el espesor de cordón, si no esta empieza en la parte superior y continua en la cara del cordón. La fisura

transversal produce un pico de señal muy elevado situado fuera de la zona de inspección (fig. 4.15a), esto confirma que el defecto se encuentra en la cara del cordón. La señal aparece a medida que el desplazamiento del palpador se acerca a la línea que representa el paso del palpador, hasta alcanzar el punto máximo en plena fisura transversal y desaparece solo cuando el defecto sale del campo de detección fig. 4.15b. la fig. 4.15c muestra un esquema del defecto.

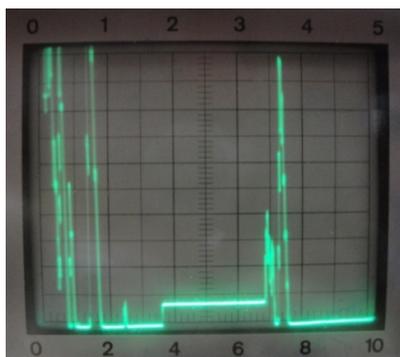


Fig. 4.15a Señal característica de la fisura transversal.

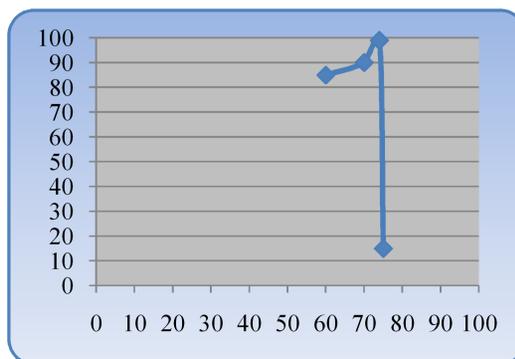


Fig. 4.15b Evolvente de la señal proveniente de la fisura transversal

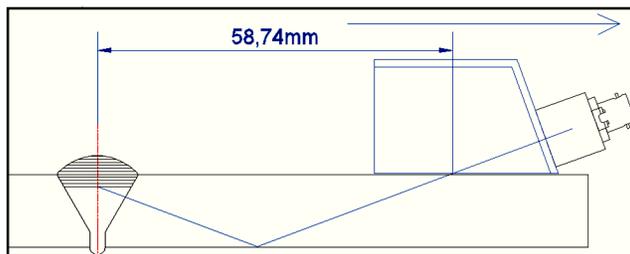


Fig. 4.15c. Esquema de la fisura transversal.

En La fig. 4.15d se puede observar la señal proveniente de la fisura transversal en scan B.



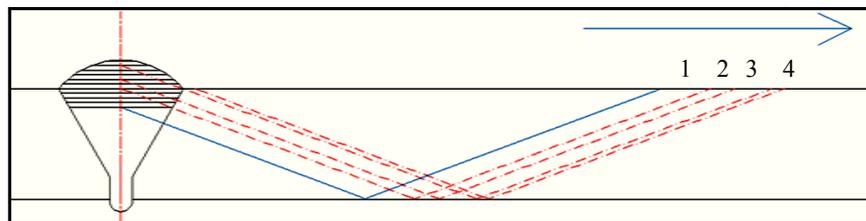


Fig. 4.15d Señal de la fisura transversal.

4.4.4 Escorias.

La escoria esta situada entre cordones en la parte inferior es un defecto de tipo volumétrico. Esta produce un pico de señal elevada situada en la zona inicial establecida para inspección (fig. 4.16a), la señal aparece con un pico no tan elevado cuando el haz inicia la detección de la escoria, hasta llegar a un pico máximo cuando el haz incide directamente sobre la escoria y nuevamente disminuye cuando el haz deja de incidir sobre la escoria fig. 4.16b. La fig. 4.16c muestra el defecto y el haz cuando incide sobre esta.

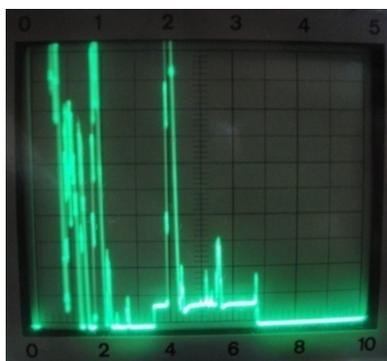


Fig. 4.16a Señal característica de la escoria.

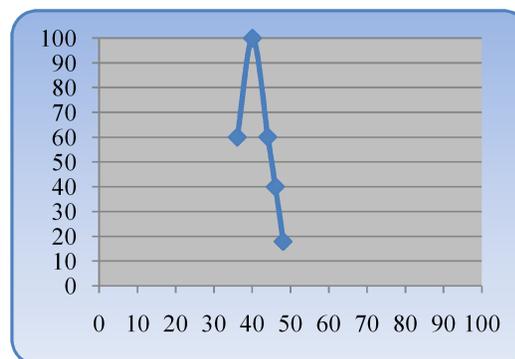


Fig. 4.16b Evolvente de la señal proveniente de la escoria.

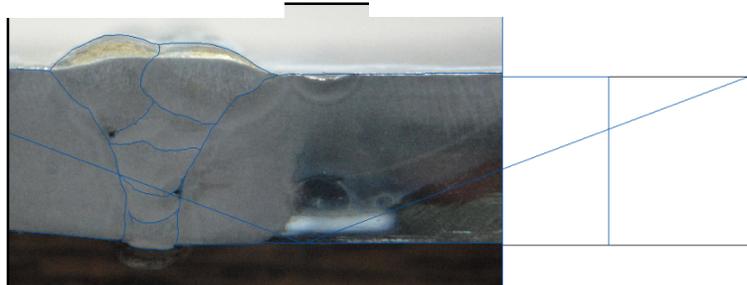


Fig. 4.16c. Esquema de la escoria.

La fig. 4.16d indica la señal proveniente de la escoria en scan B.

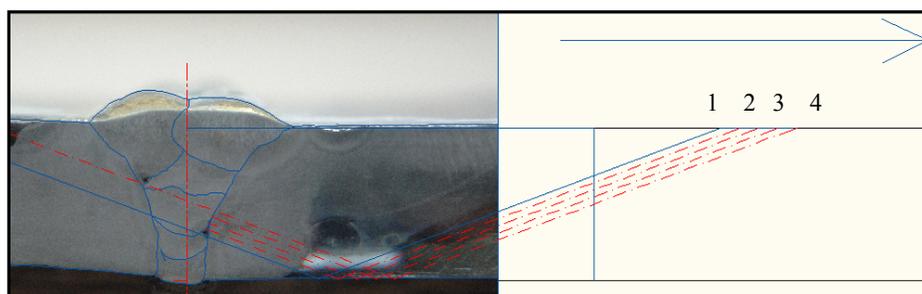


Fig. 4.16d. Señal del poro.

4.4.5 Penetración excesiva.

La penetración excesiva es un exceso de tamaño en la raíz del cordón. Para detectarla es necesario ubicar el palpador en el medio paso. La señal producida es un pico elevado que por la posición del palpador debería estar situada en el inicio de la zona establecida para la inspección, la señal se encuentra en una posición posterior (fig.4 17a), debido a que el haz ultrasónico debe realizar un mayor recorrido por el exceso de penetración. El pico de señal es máximo al inicio y comienza a descender a medida que la penetración excesiva es superada por el desplazamiento del palpador fig. 4.17b. La fig. 4.17c muestra un esquema del la penetración excesiva.

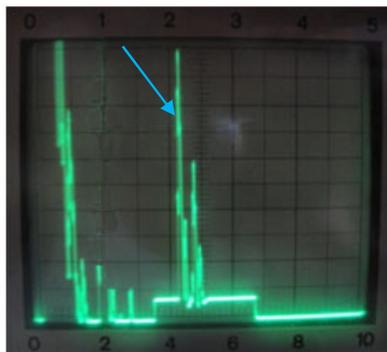


Fig. 4.17a Señal característica de la penetración excesiva.

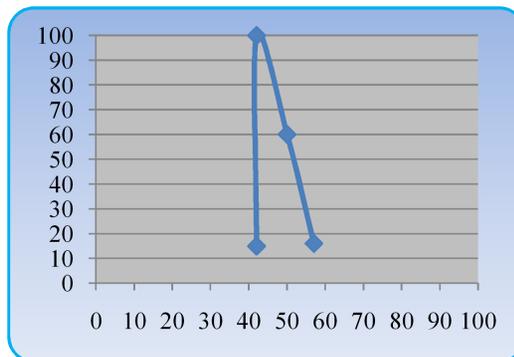


Fig. 4.17b Evolvente de la señal proveniente de la penetración excesiva.

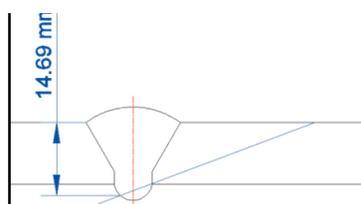


Fig. 4.17c. Esquema de la penetración excesiva.

La fig. 4.17d muestra la señal proveniente de la penetración excesiva en scan B.

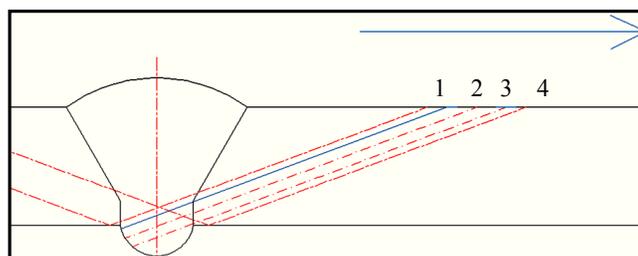


Fig. 4.17d. Señal de la penetración excesiva.

4.4.6 Poros

Los poros son defectos del tipo esférico que pueden estar ubicados en cualquier posición y profundidad a lo largo del cordón. Para la detección es necesario desplazar el palpador en la zona comprendida entre el medio paso y el paso. La señal que produce el poro son varios picos de señal con varias alturas fig. 4.15a. La fig. 4.15b muestra la envolvente producida por un solo pico de señal proveniente del poro, en esta caso el pico número 1.

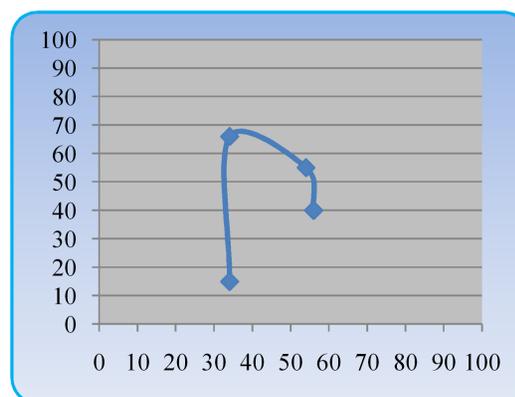
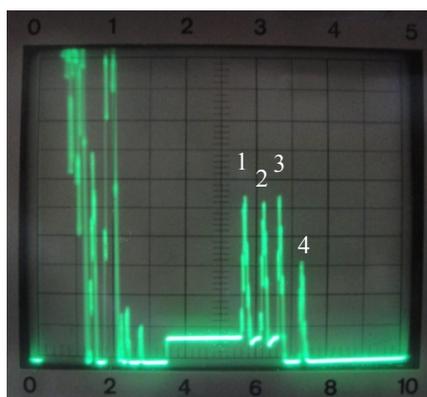


Fig. 4.18a Señal característica de porosidad

Fig. 4.18b Evolvente de la señal proveniente de la porosidad.

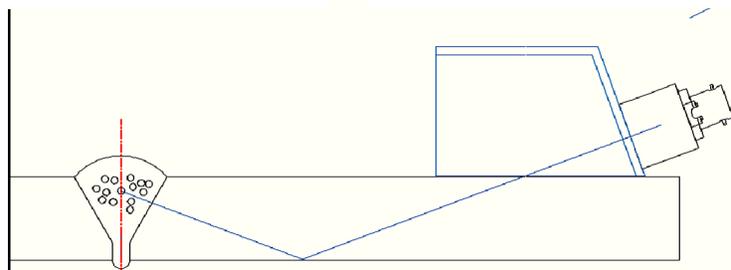


Fig. 4.18c. Esquema de la porosidad.

En la fig. 4.18d se puede observar la señal proveniente del poro en scan B.

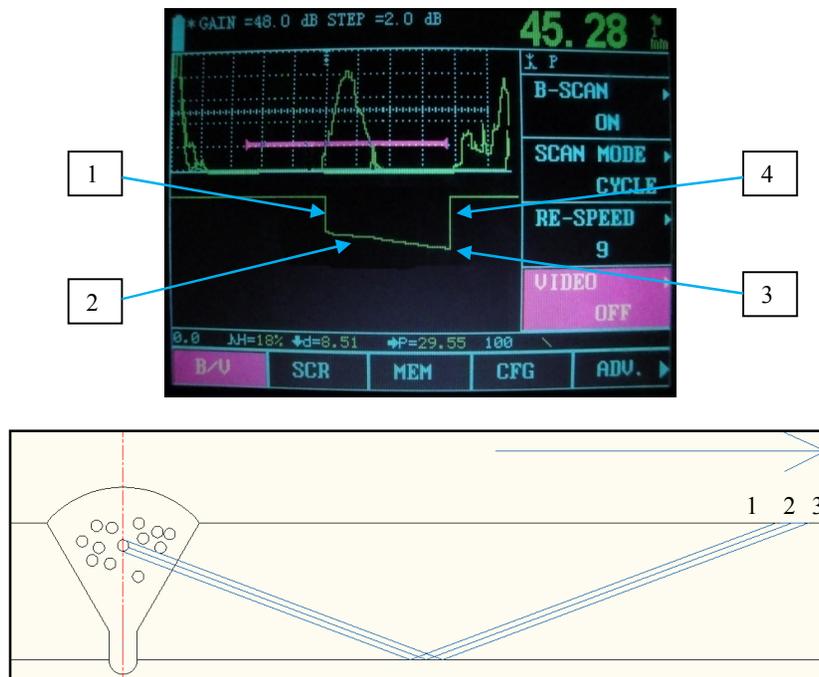


Fig. 4.18d. Señal de la porosidad.

4.4.7 Inclusión (Varilla de Tungsteno)

Las inclusiones son objetos extraños al material de aporte o base para el cordón de soldadura para este caso es una varilla de tungsteno ubicado en la mitad del cordón. Para la detección es necesario desplazar el palpador en la zona comprendida entre el medio paso y el paso. La señal producida por la inclusión son dos picos de gran altura lograda cuando el haz incide sobre la inclusión fig. 4.19a. La señal decrece a medida que el haz deja de incidir sobre el defecto, la fig. 4.19b muestra la envolvente producida por un solo pico de señal proveniente de la inclusión, en esta caso el pico número 1. La fig. 4.19c muestra un esquema del defecto.

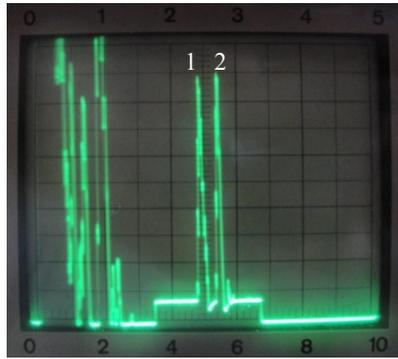


Fig. 4.19a Señal característica de la inclusión.

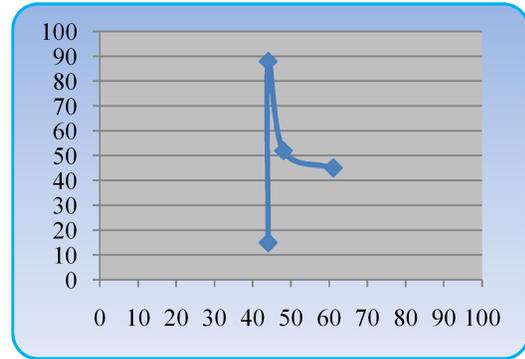


Fig. 4.19b Evolvente de la señal proveniente de la inclusión.

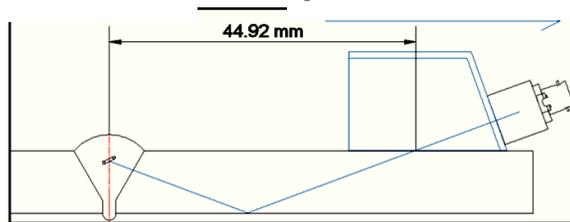


Fig. 4.19c. Esquema de la inclusión.

La fig. 4.19d muestra la señal proveniente de la inclusión en scan B.

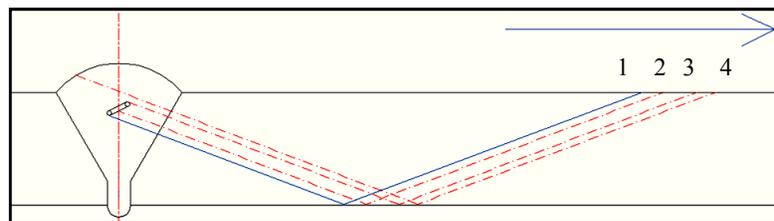


Fig. 4.19d. Señal de la inclusión.

4.4.8 Fisura

La fisura esta ubicado en la parte superior del cordón. Además perpendicular al palpador. Para la detección es necesario desplazar el palpador en la zona comprendida entre el medio paso y el paso. La señal producida por la fisura es un pico de gran altura cuando el haz incide sobre la fisura fig. 4.20a. La señal inicia y crece a medida que el haz incide sobre el defecto, alcanza el pico máximo y decrece bruscamente cuando el haz llega a la parte superior del cordón donde la fisura termina la fig. 4.20b muestra la evolvente producida por la señal proveniente de la fisura. La fig. 4.20c muestra un esquema del defecto.

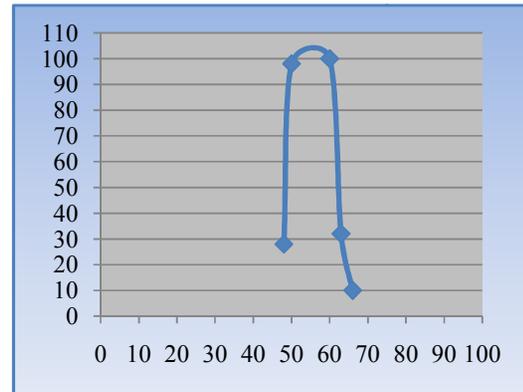
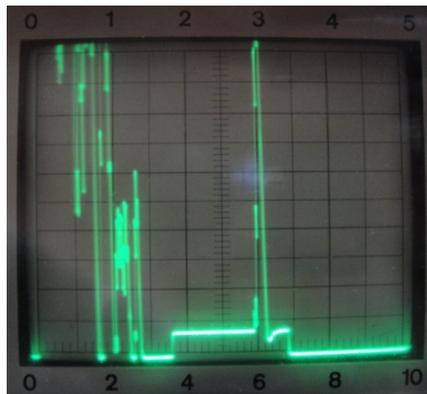


Fig. 4.20a Señal característica de la fisura.

Fig. 4.20b Evolvente de la señal proveniente de la fisura.

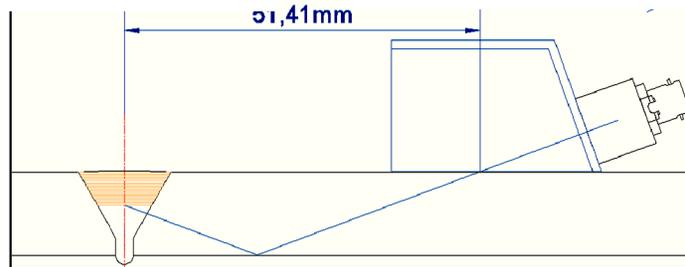


Fig. 4.20c. Esquema de la fisura.

La fig. 4.20d indica la señal proveniente de la fisura en scan B.



Fig. 4.20d. Señal de una fisura.

4.4.9 Falta de fusión.

La fisura está ubicada en la parte media del cordón en el flanco del mismo. Para la detección es necesario desplazar el palpador en la zona comprendida entre el medio paso y el paso. La señal producida por la fisura es un pico de gran altura cuando el haz incide sobre la falta de fusión en uno de los flancos del cordón fig. 4.21a. La señal inicia y crece rápidamente a medida que el haz incide sobre la falta de fusión, alcanzando el pico máximo cuando el haz incide directamente sobre el defecto y decrece bruscamente cuando el haz sobrepasa la falta de fusión llegando a la zona de metal base y metal de aporte ya fundida la fig. 4.21b muestra la envolvente producida por la señal proveniente de la falta de fusión. La fig. 4.21c muestra un esquema de la falta de fusión en el falco del cordón.

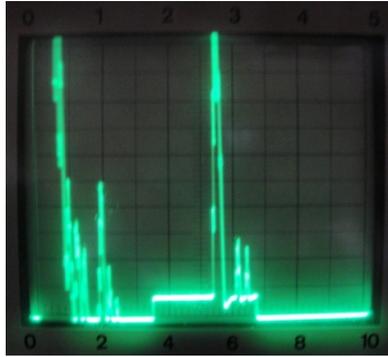


Fig. 4.21a Señal característica de la falta de fusión.

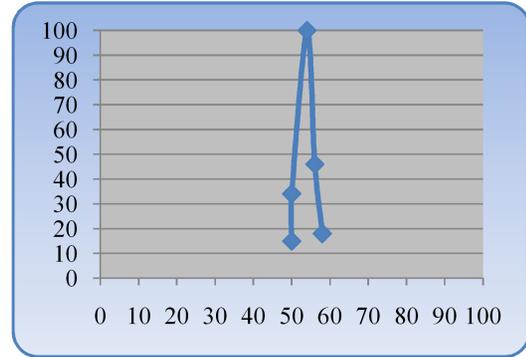


Fig. 4.21b Evolvente de la señal proveniente de la falta de fusión.

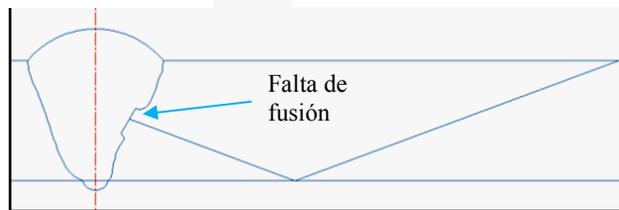


Fig. 4.21c. Esquema de la falta de fusión.

La fig. 4.21d muestra la señal proveniente de la falta de fusión en scan B.

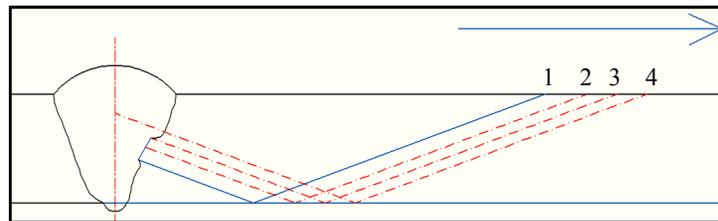
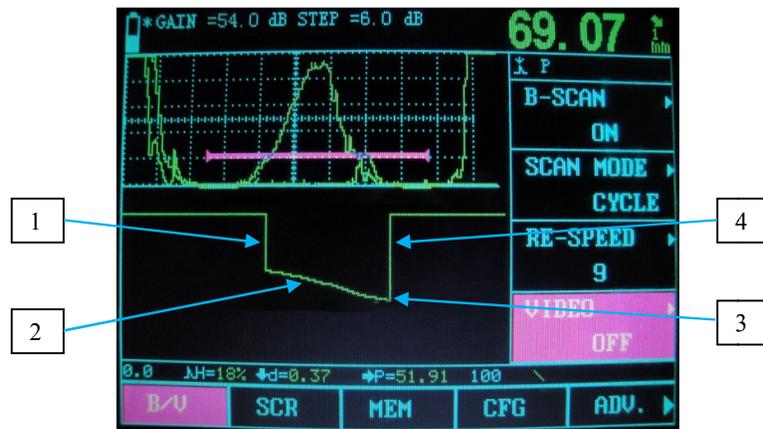


Fig. 4.21d. Señal de una falta de fusión.

4.4.10 Quemón.

El quemón esta ubicado en la parte inferior del cordón este de defecto posee una forma esférica. Para la detección es necesario desplazar el palpador desde la línea del medio paso hacia atrás hasta que el quemón deje de ser incidido por el haz, en dirección al paso. La señal producida por la fisura es un pico de gran altura (mayor al 100% de ATP) cuando el haz incide sobre el quemón fig. 4.22a. Cuando el palpador esta ubicado sobre la línea del medio paso la señal inicia con poca altura y crece rápidamente a medida que el haz incide sobre el quemón, alcanzando el pico máximo cuando el haz incide directamente sobre el punto de mayor reflexión del defecto y decrece bruscamente cuando el haz sobrepasa el quemón. La fig. 4.22b, muestra la envolvente producida por la señal proveniente del quemón. La fig. 4.22c, muestra un esquema del quemón.

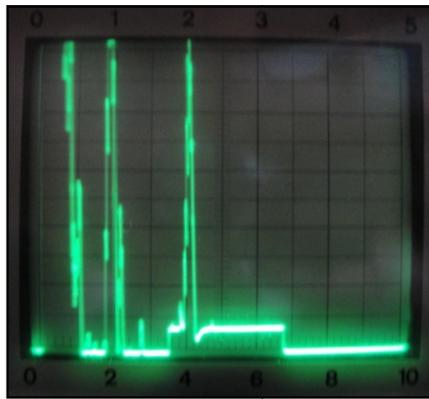


Fig. 4.22a Señal característica del quemón.

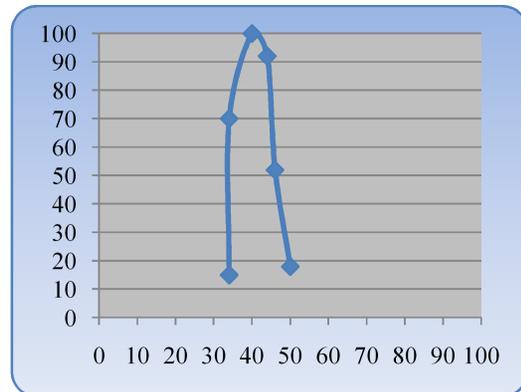


Fig. 4.22b Evolvente de la señal proveniente del quemón.

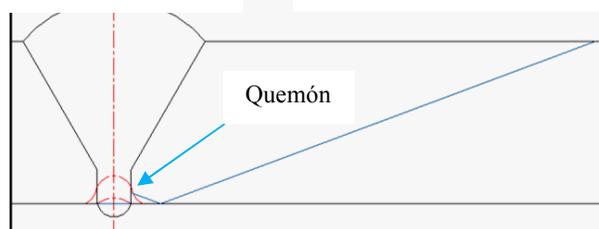


Fig. 4.22c. Esquema del quemón.

En la fig. 4.22d se observa la señal proveniente del quemón en scan B.

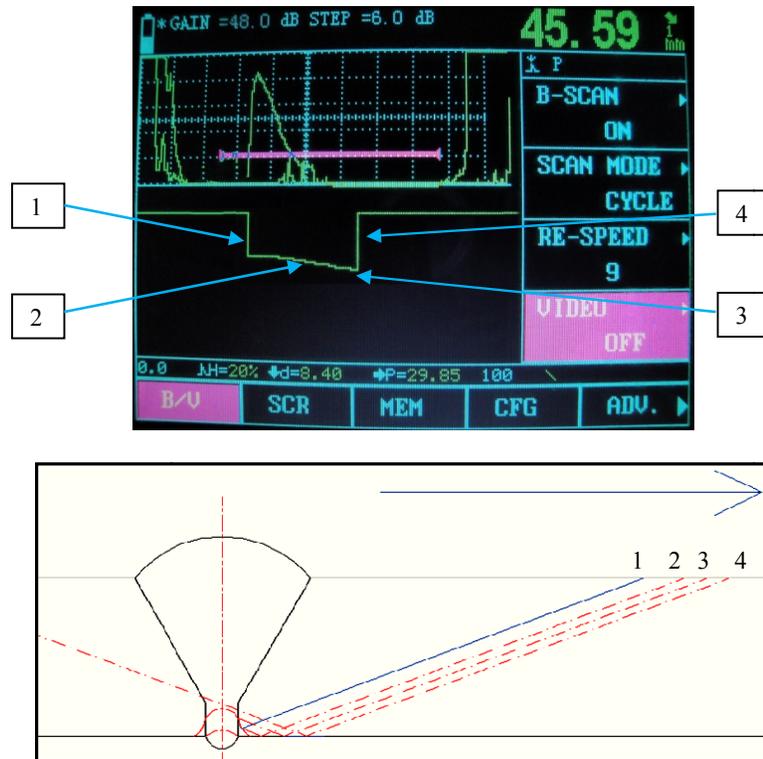


Fig. 4.22d. Señal del quemón.

Todos los defectos analizados con scan B presentan mucha similitud razón por la cual se torna difícil presentar imágenes que precisen el tipo de defecto con el que se esta tratando. Esto se debe al ángulo de dispersión del palpador, que no permite discriminar defectos cuya posición esta relativamente cerca; además el Scan B traza señales en el display en función de la posición y distancia angular (recorrido del haz) a la que se encuentra el defecto del punto de salida del haz del palpador.

La fig. 2.23, indica al palpador ubicado sobre el bloque de resolución AWS, para obtener tres picos se señal, la fig. 2.24, se observa que la capacidad del scan B para discriminar señales no es la adecuada, tres agujeros muy juntos no producen tres picos de señal individuales, sino más bien una sola indicación.

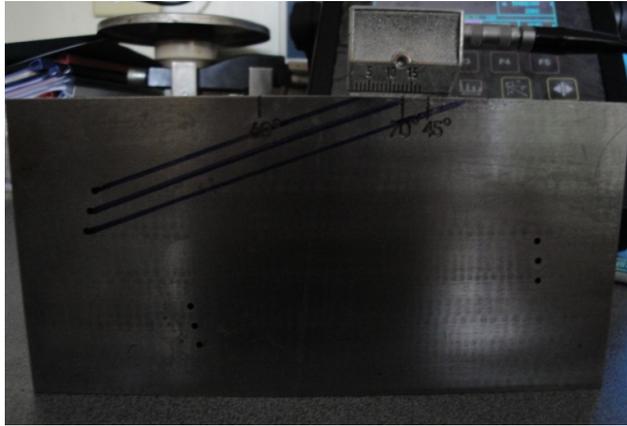


Fig. 4.23 Bloque de resolución AWS y palpador de 70°



Fig. 4.24 Señal proveniente de los tres picos en scan B



Fig. 4.25 Señal que produce la envolvente de la fig. 4.24.

La fig. 4.24 muestra la necesidad de la utilización del Scan A conjuntamente con el Scan B para discriminar entre los diferentes defectos presentes en la soldadura.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Con la utilización del equipo HUATEC FD 201 con scan B se desarrollo una guía rápida de usuario. **END-US-001 Scan B. Descripción del Equipo HUATEC FD 201.**
- Se desarrollo el procedimiento de calibración para palpador normal y angular. **END-US-002 Scan B. Calibración Palpador Normal y Angular.**
- Se desarrollo el procedimiento de construcción de la curva DAC. **END-US-002. Curva DAC Scan A y B.**
- Se desarrollo el procedimiento de construcción de la curva AVG. **END-US-003. Curva AVG Scan Ay B.**
- Se desarrollo el procedimiento para determinar la sensibilidad del equipo ultrasónico y palpador. **END-US-004. Sensibilidad.**
- Se desarrollo el procedimiento para determinar el factor de transferencia por superficie. **END-US-005. Factor de transferencia por superficie.**
- La grafica de la señal en scan B se produce en función de la distancia angular (recorrido del haz) a la que se encuentra el defecto.
- Es necesaria la utilización de Scan B conjuntamente con es Scan A para discriminar entre los diferentes tipos de defectos.
- El scan B con palpador normal tiene gran ventaja en la inspección de grandes espesores (superiores a la medida del campo cercano del palpador).

5.2 RECOMENDACIONES

- Realizar la calibración directamente sobre las piezas a inspeccionar o sobre un patrón del mismo material.
- Comprobar la calibración del equipo cada que se realice una nueva inspección.
- Seguir los procedimientos de calibración e inspección.
- Es necesario tomar en consideración el factor de transferencia por superficie para evaluar si una indicación es considerada defecto o discontinuidad.
- Los procedimientos descritos en este trabajo son realizados para placas, si se realiza sobre superficies curvas (un tubo por ejemplo) es necesario adaptarlo en función de la norma correspondiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Thermoequipos C.A., Ensayos No Destructivos (END) - Nondestructive Testing NDT, [en línea], [hptt://www.thermoequipos.com.ve/pdf/articulo_06.pdf](http://www.thermoequipos.com.ve/pdf/articulo_06.pdf), [consulta: 5 marzo 2009]
- [2] Asociación Uruguaya de Ensayos no Destructivos; Utilidad y necesidad de los END, [hptt://www.aendur.ancap.com.uy/portada/articulo.htm](http://www.aendur.ancap.com.uy/portada/articulo.htm), [consulta: 5 marzo 2009]
- [3] e-ultranoticias., Mapeo de Corrosión utilizando un sistema ultrasónico, [en línea], México Octubre 2007 – 6 p, [hptt://www.llogsa.com](http://www.llogsa.com), [consulta: 25 febrero 2009]
- [4] OLYMPUS CORPORATION, Olympus NDT Phased Array Tutorial – Single Value B-scan, [en línea], [hptt://www.olympus.com/single value b-scan](http://www.olympus.com/single%20value%20b-scan), [consulta: 17 febrero 2009]
- [5] Monografias.com S.A, **Josué García Navarro**, Inspección por Ultrasonido, [en línea], [hptt://www.monografias.com/ inspección-ultrasonido-materiales](http://www.monografias.com/inspeccion-ultrasonido-materiales), [consulta: 03 abril 2009].
- [6] ASM INTERNATIONAL, was published in 1989 as Volume 17.ASM Metals Handbook, Vol 17 - Nondestructive Evaluation & Quality Control. 9th Edition, With the second printing (1992), was converted to electronic files in 1998, Vol 17, p 593-628.
- [7] AMERICAN WELDING SOCIETY. 2000. Welding Inspection Handbook. Third Edition. LeJuene Road, Miami.
- [8] Ing. Eduardo Echevarría, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE, Facultad de Ingeniería Laboratorio de Ensayos no Destructivos, Ultrasonido, [en línea], <http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/3nsayos>, [consulta: 17 abril 2009].
- [9] AMERICAN WELDING SOCIETY AND AMERICAN NATIONAL STANDARD, Structural Welding Code- Steel, ANSI-AWS D1.1/D1.1:2002, Miami, AWS, 2002.
- [10] SCRIBD, ESCUELA POLITÉCNICA, Departamento de Física, Área de Física Aplicada – Ensayos No Destructivos (I): Consideraciones Generales, [en línea], <http://www.scribd.com/doc/12943975/Tema-5>, [consulta: 06 abril 2009].
- [11] OLYMPUS CORPORATION, Olympus NDT Phased Array Tutorial – Datos A-scan, [en línea], <http://www.olympus-ims.com/es/ndt-tutorials/instrumentation/ascan/>, [consulta: 03 abril 2009].

- [12] OLYMPUS CORPORATION, Olympus NDT Phased Array Tutorial – Mapeo C-scan, [en línea], <http://www.olympus-ims.com/es/ndt-tutorials/instrumentation/cscan/>, [consulta: 03 abril 2009].
- [13] JOSE M LORENTE GASSÓ, Transductores de Ultrasonido, [en línea], <http://www.gii.upv.es/personal/gbenet/treballs%20cursos%20anteriors-TIM-IIN-INYPAYPD/ultrasonidos/trabajo%20ultrasonidos.pdf>, [consulta: 17 junio 2009].
- [14] Ing. Eduardo Echeverría, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE, Facultad de Ingeniería Laboratorio de Ensayos no Destructivos, Defectología, [en línea], www.ucn.cl/FacultadesInstitutos [consulta: 25 abril 2009].
- [15] RUIZ RUBIO ALONSO, JESÚS SERRANO SÁNCHEZ. Aplicaciones de los Ensayos No Destructivos al examen de las Uniones Soldadas. Bilbao, URNO, S.A. DE EDICIONES.
- [16] ALEX TENEMAZA. “Caracterización de defectos en uniones soldadas utilizando el metodo de ultrasonidos”. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Riobamba, 2009.

BIBLIOGRAFIA

1. AMERICAN WELDING SOCIETY. 2000. Welding Inspection Handbook. Third Edition. LeJuene Road, Miami, 2000.
2. AMERICAN WELDING SOCIETY AND AMERICAN NATIONAL STANDARD, Structural Welding Code- Steel, ANSI-AWS D1.1/D1.1:2002, Miami, AWS, 2002
3. ASM INTERNATIONAL, was published in 1989 as Volume 17.ASM Metals Handbook, Vol 17 - Nondestructive Evaluation & Quality Control. 9th Edition, With the second printing (1992), was converted to electronic files in 1998, Vol 17.
4. RUIZ RUBIO ALONSO, JESÚS SERRANO SÁNCHEZ. Aplicaciones de los Ensayos No Destructivos al examen de las Uniones Soldadas. Bilbao, URNO, S.A. DE EDICIONES.
5. TENEMAZA ALEX. “Caracterización de defectos en uniones soldadas utilizando el metodo de ultrasonidos”. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Riobamba, 2009.

LINKOGRAFÍA

- OLYMPUS CORPORATION,
[http://www.olympus.com/single value b-scan](http://www.olympus.com/single_value_b-scan)
2009-02-17
- e-ultranoticias
[http:// www.llogsa.com](http://www.llogsa.com)
2009-02-25
- Asociación Uruguaya de Ensayos no Destructivos
<http://www.aendur.ancap.com.uy/portada/articulo.htm>
2009-03-25
- Thermoequipos C.A
http://www.thermoequipos.com.ve/pdf/articulo_06.pdf
2009-03-25
- Inspección por Ultrasonido
<http://www.momografias.com/inspección-ultrasonido-materiales>
2009-04-03
- OLYMPUS CORPORATION
<http://www.olympus-ims.com/es/ndt-tutorials/instrumententation/ascan/>
2009-04-03
- Ensayos No Destructivos
<http://www.scribd.com/doc/12943975/Tema-5>
2009-04-06