

**“CARACTERIZACIÓN DE DEFECTOS EN UNIONES SOLDADAS
UTILIZANDO EL MÉTODO DE ULTRASONIDOS”.**

ALEX LEONARDO TENEMAZA RAMOS

TESIS DE GRADO .

**Previa la obtención del Título de:
INGENIERO MECÁNICO .**



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA .

Riobamba – Ecuador .

2009

**"CARACTERIZACIÓN DE DEFECTOS EN UNIONES SOLDADAS UTILIZANDO EL
MÉTODO DE ULTRASONIDOS".**

P O R :

E s p o c h

Facultad de Mecánica

C E R T I F I C A D O D E E X A M I N A C I Ó N D E T E S I S

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ALEX LEONARDO TENEMAZA RAMOS

TÍTULO DE LA TESIS: "CARACTERIZACIÓN DE DEFECTOS EN UNIONES SOLDADAS UTILIZANDO EL MÉTODO DE ULTRASONIDOS".

Fecha de Examinación: Junio, 11 del 2009.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	A P R U E B A	N O A P R U E B A	F I R M A
ING. WASHINGTON ZABALA M.			
ING. RAÚL CABRERA F.			
ING. MARIO PASTOR R.			
ING. EDGAR CEVALLOS.			

* 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.

DERECHOS DE AUTORÍA

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

f) Alex Leonardo Tenemaza Ramos

SUMARIO

Se ha realizado un estudio y elaborado una guía para la Caracterización de Defectos en Uniones Soldadas Usando el Método de Ultrasonidos, con la finalidad de conocer las características de las indicaciones que presentan los defectos más comunes en uniones soldadas.

La investigación se realizó utilizando técnicas como: técnicas de soldeo, técnicas de inspección ultrasónica y utilizando herramientas como: placas radiográficas, fotografías y el equipo de ultrasonido.

Las indicaciones obtenidas en el equipo de ultrasonidos fueron comparados con las curvas DAC pertenecientes al agujero de 1/16 in previamente elaborado en la placa patrón, con ganancias de 40 dB, 46 dB y 50 dB, dado la complejidad de las indicaciones de cada defecto. Con ello se obtuvo la curva característica perteneciente a cada defecto, dándonos un acercamiento de que característica presenta ésta, su forma, tamaño, orientación, distancia a la que se encuentra en el cordón de soldadura y si pertenece o no a un defecto.

La elaboración de esta guía permitirá obtener un medio de comparación para correlacionar la forma de la señal ultrasónica con los defectos característicos en soldadura, y que oriente al operario a establecer que tipo defecto se encuentra en la junta soldada.

Debido a la alta complejidad de la interpretación de resultados, se recomienda asesorarse con personas que tengan experiencia en el tema, además se debe llevar un seguimiento durante todo el proceso de soldadura, esto es; desde la elaboración de la junta, hasta la inspección ultrasónica e interpretación de resultados.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO

PÁGINA

1. INTRODUCCIÓN, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

1.1	Introducción	1
1.2	Justificación	2
1.3	Objetivos	2
1.3.1	Objetivo General	2
1.3.2	Objetivos Específicos	2

2. SOLDADURA

2.1	Soldadura por arco eléctrico	3
2.2	Metalogía de la soldadura	5
2.3	Formación de defectos más comunes en uniones soldadas	6
2.3.1	Superficiales	6
2.3.2	Internas	8

3. INSPECCIONES DE UNIONES SOLDADAS POR ULTRASONIDOS

3.1	Introducción	12
3.1.1	Física de ultrasonidos	12
3.1.2	Tipos de incidencia del haz ultrasónico	17
3.2	Métodos y técnicas ultrasónicas	20

3.3	Inspección ultrasónica de uniones soldadas...	22
4.	PARTE EXPERIMENTAL	
4.1	Preparación de las probetas.....	29
4.2	Métodos para generar defectos en la soldadura.....	32
4.3	Examen radiográfico de las probetas.....	41
4.4	Análisis de las placas radiográficas e identificación de las probetas según sus defectos.....	49
4.5	Inspección ultrasónica de las probetas.....	54
4.5.1	Obtención de la curva de calibración amplitud – distancia (D A C).....	55
4.5.2	Inspección de probetas.....	57
4.5.2.1	Inspección ultrasónica de la probeta que presenta como defecto un Quemón.....	58
4.5.2.2	Inspección ultrasónica de la probeta que presenta como defecto una Falta de Penetración.....	65
4.5.2.3	Inspección ultrasónica de la probeta que presenta como defecto un Exceso de Penetración o Penetración Excesiva.....	67
4.5.2.4	Inspección ultrasónica de la probeta que presenta como defecto una Falta de Fusión.....	69
4.5.2.5	Inspección ultrasónica de la probeta que presenta como defecto Escorias.....	71
4.5.2.6	Inspección ultrasónica de la probeta que presenta como defecto Mordeduras.....	73
4.5.2.7	Inspección ultrasónica de la probeta que presenta como defecto Poros.....	77

4.5.2.8	Inspección ultrasónica de la probeta que presenta como defecto Fisuras... ..	78
4.5.2.9	Inspección ultrasónica de la probeta que presenta como defecto las Fisuras Transversales... ..	81
4.5.2.10	Inspección ultrasónica de la probeta que presenta como defecto una Inclusión... ..	84

5. ANÁLISIS Y RESULTADOS

5.1	Análisis e interpretación de las características de las indicaciones... ..	88
5.2	Identificación de la naturaleza de las indicaciones... ..	99
5.3	Guía para la identificación de las indicaciones en la inspección ultrasónica... ..	109

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1	Conclusiones... ..	120
6.2	Recomendaciones... ..	121

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>	<u>PÁGINA</u>
3.1	COEFICIENTES DE REFLEXIÓN K 18
3.2	FÓRMULAS DE REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN 19
3.3	ÁNGULOS DE ENTRADA Y DISTANCIA DE EXPLORACIÓN RECOMENDADAS 20
4.1	PROCESO DE SOLDADURA DE LA FALTA DE PENETRACIÓN 36
4.2	PROCESO DE SOLDADURA DE MORDEDURAS 36
4.3	PROCESO DE SOLDADURA DE FISURA TRANSVERSAL 37
4.4	PROCESO DE SOLDADURA DE ESCORIAS 37
4.5	PROCESO DE SOLDADURA DE PENETRACIÓN EXCESIVA 38
4.6	PROCESO DE SOLDADURA DE POROS 38
4.7	PROCESO DE SOLDADURA DE INCLUSIONES 39
4.8	PROCESO DE SOLDADURA DE FISURAS 39
4.9	PROCESO DE SOLDADURA DE FALTA DE FUSIÓN 40
4.10	PROCESO DE SOLDADURA DE QUEMÓN 40
4.11	CURVAS DE EXPOSICIÓN RADIOGRÁFICA 43
4.12	DATOS DE PELÍCULA 43
4.13	ESTÁNDAR API 1104 (CALIDAD ICI) 44
4.14	OBTENCIÓN DEL TIEMPO DE EXPOSICIÓN DE UNA FALTA DE PENETRACIÓN 45
4.15	OBTENCIÓN DE LA CALIDAD ICIDE LA FALTA DE PENETRACIÓN 46
4.16	TIEMPO DE EXPOSICIÓN Y CALIDAD ICIDE CADA PROBETA 47
4.17	ALTURA DE SEÑAL EN PANTALLA OBTENIDAS EN LA INSPECCIÓN, PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS CURVAS DAC.. 56
4.18	PICOS MÁXIMOS OBTENIDOS EN LA FALTA DE PENETRACIÓN ... 66
4.19	PICOS MÁXIMOS OBTENIDOS EN LA PENETRACIÓN EXCESIVA ... 69
4.20	PICOS MÁXIMOS OBTENIDOS EN LA FALTA DE FUSIÓN 71
4.21	PICOS MÁXIMOS OBTENIDOS EN LAS ESCORIAS 73
4.22	PICOS MÁXIMOS OBTENIDOS EN LAS MORDEDURAS 76

4.23	PICOS MÁXIMOS OBTENIDOS EN LAS FISURAS.....	80
4.24	PICOS MÁXIMOS OBTENIDOS EN LAS FISURAS TRANSVERSALES	84
4.25	PICOS MÁXIMOS OBTENIDOS EN LA INCLUSIÓN.....	87

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURAS</u>		<u>PÁGINA</u>
3.1	Ondas Longitudinales.....	13
3.2	Ondas Transversales.....	13
3.3	Gráfica de una incidencia normal.	17
3.4	Reflexión y refracción de una onda con incidencia oblicua.....	19
3.5	Determinación de la posición de una heterogeneidad por la técnica de incidencia angular.....	21
3.6	Panel de control del equipo ultrasónico.....	22
3.7	Equipo de ultrasonidos.....	23
3.8	Palpador sobre el bloque de calibración.....	23
3.9	Salida del haz ultrasónico (14 mm).....	23
3.10	Comprobación del ángulo de salida del haz ultrasónico.....	24
3.11	Indicación obtenida en el equipo ultrasónico.....	24
3.12	Calibración de pantalla entre 0 – 100.....	25
3.13	Determinación de la distancia de recorrido.....	25
3.14	Regleta Distancia de Recorrido - Profundidad.....	26
3.15	Palpador ubicado a ½ paso.....	26
3.16	Señal obtenida a ½ paso.....	26
3.17	Indicación del primer haz de salida. (½ paso).....	27
3.18	Palpador situado a 1 paso.....	27
3.19	Indicación producida a 1 paso.....	27
3.20	Agujero de 1/16 in.....	28
3.21	Palpador situado a ½ paso del agujero.....	28
3.22	Señal producida por el agujero de 1/16.....	28
3.23	Primera indicación de inicio.....	28
3.24	Indicación de la señal hasta un 90 %.....	28
4.1	Juntas precalificadas para soldadura de arco manual y material base con espesor limitado (L).....	30
4.2	Detalle de la junta patrón seleccionada.....	31

4.3	Desbaste de caras y raíz de la probeta...	31
4.4	Fase de raíz.....	32

CONTINUACIÓN DE LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURAS</u>		<u>PÁGINA</u>
4.5	Pulida de la fase de raíz.....	33
4.6	Fase de raíz terminada.....	33
4.7	Fase caliente.....	33
4.8	Pulida de fase caliente.....	33
4.9	Fases o cordones de relleno.....	34
4.10	Limpieza del último cordón de soldadura.....	34
4.11	Espesor total de exposición.....	41
4.12	Medición del espesor total de la placa probeta patrón.....	42
4.13	Colocación de la placa radiográfica.....	44
4.14	Placa de calidad IC I.....	44
4.15	Cuarto de rayos X.....	47
4.16	Distancia foco emisor – película.....	47
4.17	Centrado y alineamiento de la película.....	47
4.18	Placa de datos para la exposición.....	48
4.19	Probeta N° 01: Falta de Penetración.....	49
4.20	Probeta N° 02: Mordeduras.....	50
4.21	Probeta N° 03: Fisuras Transversales.....	50
4.22	Probeta N° 04: Escorias.....	51
4.23	Probeta N° 05: Penetración Excesiva.....	51
4.24	Probeta N° 06: Poros.....	52
4.25	Probeta N° 07: Inclusión.....	52
4.26	Probeta N° 08: Fisuras.....	53
4.27	Probeta N° 09: Falta de Fusión.....	53
4.28	Probeta N° 10: Quemones.....	54
4.29	Distancia de recorrido del haz ultrasónico.....	54
4.30	Elaboración de agujeros de 1/16 in en la placa patrón.....	55
4.31	Curva DAC característica.....	57

4.32	M ovimiento Transversal... ..	57
4.33	M ovimiento Lateral... ..	57
4.34	M ovimiento Rotacional... ..	57
4.35	Área de inspección de la probeta que contiene un Quemón... ..	58

CONTINUACIÓN DE LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURAS</u>		<u>PÁGINA</u>
4.36	Recorrido del haz en pantalla... ..	59
4.37	Primera señal de inspección... ..	59
4.38	Regleta indicando a que distancia se encuentra el defecto... ..	59
4.94	Posición inicial del palpador respecto a la Inclusión... ..	85
4.95	Ángulo de desfase... ..	85

LISTA DE ABREVIACIONES

A	Amperios
API	Instituto Americano del Petróleo
API 1104	Norma para Calidad ICI radiográfica
ASTM	Sociedad Americana de Materiales (American Society for Testing and Materials)
ASTM 500	Normas de soldadura para juntas base.
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
AWS	Sociedad Americana de Soldadura (American Welding Society)
AWS D1.1/D1.1M :2002	Normas para los Procesos de soldadura.
°C	Grados Celsius
DAC	Curva de Calibración Amplitud – Distancia
dB	Decibeles
E.N.D	Ensayos No Destructivos
Hz	Hertz
P	Paso
P/2	Medio Paso
SMAW	Proceso de Soldadura Manual con Electrodo
w	Frecuencia Angular
WPS	Sociedad Americana de Soldadura (American Welding Society)
ZAT	Zona Afectada Térmicamente

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1:** Causas que provocan defectos
- ANEXO 2:** Tipos de fisuras
- ANEXO 3:** Preparación de la junta
- ANEXO 4:** Obtención de placas radiográficas.
- ANEXO 5:** Tipos de señales según la forma del defecto

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.

1.1 INTRODUCCIÓN.

En la presente tesis, se pretende realizar la caracterización de los diversos defectos o discontinuidades más frecuentes que se encuentran presentes en una soldadura, y para llevar a cabo dicha caracterización se debe tener presente los diferentes factores como: la acción directa del medio ambiente, voltajes, amperajes, velocidad, tipos de electrodos y la forma en la que se desarrolla la soldadura; así como también, de factores que no son perceptibles al ojo humano; y que, en gran porcentaje, influyen en la unión soldada. Para desarrollar dicha caracterización, el método que se usará es el de Ultrasonidos, por ser uno de los ensayos no destructivos más económicos y que más se utiliza en la actualidad. Este método permite obtener indicaciones del lugar y tipo de defecto que se encuentra presente en el material en estudio; si bien es cierto, lo difícil es decidir a simple vista que tipo de defecto se tiene. El objetivo de esta tesis es el de establecer una correlación entre la

morfología de la señal con el tipo de defecto. Al realizar un ensayo no destructivo (END) se cataloga como defecto a toda discontinuidad o grupo de discontinuidades cuyas indicaciones no se encuentran dentro de los criterios de aceptación especificados por la norma aplicable. Al momento de visualizar las indicaciones y analizar los resultados se dice que la identificación e interpretación es el proceso en el cual se decide la aceptabilidad o no de tal o cual soldadura. Es cierto que la experiencia es muy importante para reconocer el tipo de defecto; sin embargo, el patrón que se realizará para caracterizar los defectos más comunes, servirá de ayuda adicional para reconocerlos.

1.2 JUSTIFICACIÓN.

El propósito del estudio, es desarrollar una guía que ayude a profesionales, técnicos y estudiantes a caracterizar e interpretar de una manera aproximada las indicaciones que se obtienen en la inspección ultrasónica de uniones soldadas y predecir que tipo de heterogeneidad es la que predomina o se encuentra presente en dicha soldadura.

Para ello se realizará un análisis de los principales defectos que se producen en uniones soldadas, para luego construir una serie de probetas patrón que contengan los defectos de los tipos más comunes.

Estas probetas serán inspeccionadas y con ello se desarrollará el estudio planteado que permita establecer las diferentes indicaciones obtenidas en el equipo de ultrasonidos y que ayuden a establecer una guía que facilite el proceso de la identificación y caracterización de dichos defectos en inspecciones rutinarias.

1.3 OBJETIVOS.

1.3.1 OBJETIVO GENERAL.

- Desarrollar una guía para la identificación y caracterización de señales ultrasónicas producidas por defectos en uniones soldadas.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Analizar los principales defectos que se pueden encontrar en las uniones soldadas y sus causas más comunes.
- Analizar el problema de la identificación de heterogeneidades o defectos en las uniones soldadas.
- Obtener patrones que permitan correlacionar la forma de la señal ultrasónica con defectos característicos de soldadura.

CAPÍTULO II

2. SOLDADURA.

2.1 SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO ¹

Es un proceso en el que la unión se obtiene por medio del calor producido por un arco eléctrico entre la pieza y un electrodo. Por lo regular el electrodo sirve de metal de aporte el que con el arco eléctrico se calienta hasta que alcanza el estado líquido, para que así pueda ser depositado entre las piezas a unir. La temperatura que se genera en este proceso es superior a los 5,500°C. La corriente que se utiliza en el proceso puede ser directa o alterna, utilizándose en la mayoría de las veces la directa, debido a la energía es más constante con lo que se puede generar un arco estable. Las máquinas para corriente directa se construyen con capacidades hasta de 1,000 A. Mientras se efectúa la soldadura el

¹Soldadura por Arco

voltaje del arco es de 18 a 40 A. Se pueden utilizar para electrodos metálicos, máquinas para soldar de corriente directa o alterna, las segundas constan de transformadores estáticos, lo que genera bajos mantenimiento e inversión inicial. Existen máquinas de 150, 200, 300, 500, 750 y 1000 A. Para la generación del arco existen los siguientes electrodos:

Electrodo de carbón.- En la actualidad son poco utilizados, el electrodo se utiliza sólo como fuente de calor y el metal de aporte se agrega por separado.

Electrodo metálico.- El propio electrodo sirve de metal de aporte al derretirse sobre los materiales a unir.

Electrodos recubiertos.- Los electrodos metálicos con un recubrimiento que mejore las características de la soldadura son los más utilizados en la actualidad, las funciones de los recubrimientos son las siguientes:

1. Proporcionan una atmósfera protectora
2. Proporcionan escoria de características adecuadas para proteger al metal fundido
3. Facilita la aplicación de sobrecabeza
4. Estabiliza el arco
5. Añade elementos de aleación al metal de la soldadura
6. Desarrolla operaciones de enfriamiento metalúrgico
7. Reduce las salpicaduras del metal
8. Aumenta la eficiencia de deposición
9. Elimina impurezas y óxidos
10. Influye en la profundidad del arco
11. Influye en la formación del cordón

12. Disminuye la velocidad de enfriamiento de la soldadura

Las composiciones de los recubrimientos de los electrodos pueden ser orgánicas o inorgánicas y estas sustancias se pueden subdividir en las que forman escoria y las que son fundentes. Algunos de los principales compuestos son:

1. Para la formación de escoria se utilizan SiO_2 , MnO_2 y FeO
2. Para mejorar el arco se utilizan Na_2O , CaO , MgO y TiO_2
3. Desoxidantes: grafito, aluminio, aserrín
4. Para mejorar el enlace: silicato de sodio, silicato de potasio y asbestos
5. Para mejorar la aleación y la resistencia de la soldadura: vanadio, cesio, cobalto, molibdeno, aluminio, circonio, cromo, níquel, manganeso y tungsteno.

2.2 METALURGIA DE LA SOLDADURA ²

En la unión soldada de un metal se puede apreciar de forma macrográfica tres zonas bien definidas:

- a) La zona fundida, constituida por el cordón de soldadura.
- b) La ZAT (Zona Afectada Térmicamente)
- c) El metal base.

Dentro de la primera zona fundida se puede distinguir aún:

1. Zona fundida propiamente dicha.
2. Zona de transición.

Zona Fundida.-

² SEFERIAN, D. Metalurgia de la Soldadura. 3era.ed. España: URM O. S.A., 1981. págs. 198-209.

La zona fundida de una unión soldada es a la vez sede de un cierto número de fenómenos, como son:

1.1 Modificaciones químicas.

1.2 Absorción de gases.

1.3 Modificaciones estructurales.

Modificaciones químicas.-

Las modificaciones químicas de la zona fundida pueden tener una influencia favorable a desfavorable sobre las propiedades de la unión. Las pérdidas por oxidación de elementos útiles, como el carbono en los aceros y el silicio en las fundiciones, así como la fijación de un tanto por ciento exagerado de carbono, fósforo, azufre, oxígeno y nitrógeno, producen modificaciones en un sentido u otro.

Modificaciones estructurales.- Estas modificaciones se pueden reunir en dos grupos:

Grupo 1.- Las que afectan al grano del metal, en una palabra, a su estructura interna. El estudio de esta estructura determina la forma, tamaño y orientación de los granos en la zona fundida y también en el metal de base hasta cierta distancia.

Grupo 2.- Las que intervienen en el cambio de estado físico – químico de los constituyentes del metal.

Metal base.- El metal base sufre un tratamiento térmico variable en cada punto, según el ciclo térmico impuesto por el procedimiento de soldadura. Este ciclo térmico estará influido no solamente por el procedimiento, sino también por el método de soldadura, propiedades físicas (ductilidad) y espesor de las chapas a unir.

2.3 FORMACIÓN DE DEFECTOS MÁS COMUNES EN UNIONES SOLDADAS

Una vez que se realice un proceso de soldadura lo que se puede prever es que en dichos cordones aparezcan o lleven en su interior defectos, que de forma general diremos que son lo más comunes.

Los defectos suelen clasificarse en: Superficiales e Internos.³

2.3.1 SUPERFICIALES.

A) Exceso de Penetración

Se producen por efecto de un movimiento que causa la penetración del electrodo dentro de los biseles, los cuales son distribuidos en estas áreas. Este exceso de penetración produce una chorreadura interna de materia la que puede retener o no escoria en su interior.

En una soldadura simple desde un solo lado, esta discontinuidad representa un exceso de metal aportado en la raíz de la soldadura que da lugar a chorreaduras de metal fundido.

B) Falta de Penetración o Penetración incompleta.

Esta expresión se usa para describir la situación en que el metal depositado y el metal base no penetra en forma integral en la raíz de la soldadura. Puede ser ocasionada porque la cara de la raíz de la soldadura de ranura no alcance la temperatura de fusión a toda su altura, o porque el metal de la soldadura no llegue a la raíz de una soldadura de filete, y deje el hueco ocasionado por el puenteo del metal de la soldadura desde un miembro al otro. Además ocurre cuando el metal de soldadura no se extiende a través de todo el espesor de la junta. El área no fundida ni penetrada es una discontinuidad descrita como "penetración incompleta".

C) Concavidades

³ ECHEVERRIA, R. Defectología en la Soldadura. 4ta.ed. Buenos Aires: Universidad Nacional de COMAHUE. Lab. de Ensayos no Destructivos, 2002. págs. 37-52

Se produce cuando el metal de soldadura en la superficie de la cara externa, o en la superficie de la raíz interna, posee un nivel que está por debajo de la superficie adyacente del metal base.⁴

D) Mordeduras.

La mordedura es una muesca o canaleta o hendidura ubicada en los bordes de la soldadura; es un concentrador de tensiones y además disminuye el espesor de las planchas, todo lo cual es perjudicial. Pueden darse en la raíz o en la cara de la soldadura. La mordedura es una ranura fundida en el metal base, adyacente a la raíz de una soldadura, que no ha sido llenada por el metal de soldadura. Una de las causas es la utilización de un electrodo húmedo. Otra causa de mordeduras es una alta velocidad de traslación del arco a causa de una rápida solidificación del metal de soldadura.

E) Quemón.

Es definido como una porción del cordón de raíz donde una excesiva penetración ha causado que el metal de soldadura sea soplado hacia el interior, o que se descuelgue un excesivo metal fundido. Suele presentarse como una depresión no alargada, en forma de cráter, en la raíz. Además, es una zona de la pasada de raíz donde la penetración excesiva ha causado que el aporte de la soldadura penetre dentro de la misma soplándose. Resulta de factores que producen un calor excesivo en un área determinada tales como excesiva corriente, velocidad lenta del electrodo, manejo incorrecto del electrodo, etc. y en la que hay destrucción completa de biseles.

2.3.2 INTERNAS⁵

⁴ A E N D U R . S . A . Normas, Discontinuidades y Defectos en Soldaduras. Chile: U R M O , 2005 .

⁵ Defectos en soldadura.

www.DefectosenlaSoldadura.com .

2007-04-16

A) Fisuras

Son fracturas en forma de terraza en el metal base, con orientación básicamente paralela a la superficie forjada. Son causadas por altos esfuerzos en la dirección del espesor que resultan del proceso de soldadura. Ocurren en el metal base y en el metal de aporte, cuando las tensiones localizadas exceden la resistencia última del material. La mayor parte de las normas utilizadas consideran que las fisuras son, independientemente de su longitud, defectos y por lo tanto una vez detectadas deben removerse o eliminarse.

Las fisuras pueden clasificarse en:

a) Fisuras en caliente: se desarrollan durante la solidificación y su propagación es intergranular (entre granos). Estas a su vez pueden ser:

- Longitudinales.
- Transversales

b) Fisuras en frío: se desarrollan luego de la solidificación, son asociadas comúnmente con fragilización por hidrógeno. Se propagan entre y a través de los granos (inter y transgranular). Y pueden ser:

- Longitudinales.
- Transversales

A.1) Fisuras Longitudinales.

Se pueden producir en el centro del cordón (generalmente por movimientos durante o posteriores a la soldadura) o en la interfase del material base con el aporte (por causa de un enfriamiento brusco o falta de correcto precalentamiento en grandes espesores). Cuando este defecto aparece en el metal de la soldadura se le llama "fisura de solidificación" mientras que si se produce en la ZAT se llama

“fisura de licuación” (intergranular). Estos dos tipos comprenden la llamada fisuración en caliente y se producen por la combinación de una composición química desfavorable; (elementos que forman precipitados de bajo punto de fusión, por ejemplo azufre que forma FeS - solidificación de bordes de grano) y tensiones de solidificación, restricción o deformación. En este caso el precalentamiento no tiene casi influencia sobre estos defectos. La única precaución posible es la de soldar con bajo aporte térmico. La fisuración en Frío (de Hidrógeno) longitudinal es menos frecuente que las transversales.

A.2) Fisuras Transversales.-

Producidas principalmente en aceros duros, por combinación de elementos que al enfriarse a temperatura normal producen la fisura que pueden o no prolongarse al metal base.

B) Falta de Fusión.

Generalmente ocasionada por la falta de temperatura suficiente para fundir el metal base o el cordón anterior ya sólido. Se produce cuando falta la abertura de la raíz y la temperatura no es lo bastante elevada; por una incorrecta alineación de los elementos a soldar; por fallas en la preparación; por diferencia de espesor o diámetro, o por deficiente penetración por parte del soldador al realizar la primera pasada. En las uniones en X o en K, queda en el mismo centro de los cordones y es frecuente que vaya asociada a las faltas de penetración.

C) Inclusiones.

C.1) Inclusiones gaseosas.-

Por razones diversas, en el metal de soldadura fundido se pueden formar gases que pueden quedar atrapados, si el tiempo no es suficiente para que estos escapen antes de la solidificación de la soldadura. El gas así atrapado, por lo general, tiene la forma de agujeros redondos denominados porosidades esféricas, o de forma alargadas llamados porosidad tubular o vermicular. La formación de gas pueden ser causada por reacciones químicas durante la soldadura con alto contenido de sulfuro en la plancha y/o en el electrodo, humedad excesiva en el electrodo o en los bordes de la plancha de base; arco excesivamente corto, corriente incorrecta o polaridad inversa, corrientes de aire; o limpieza prematura de la escoria al terminar una pasada, pues, no hay que olvidar que la escoria evita el enfriamiento demasiado rápido del metal fundido. La porosidad gaseosa puede producirse en forma aislada (porosidad esférica aislada) o agrupada (nido de poros), en forma alineada, etc.

C.2) Inclusiones no metálicas.

Son los óxidos no metálicos que se encuentran a veces en forma de inclusiones alargadas y globulares en los cordones de soldadura. Durante la formación del depósito y la subsecuente solidificación del metal de la soldadura, tienen lugar muchas reacciones químicas entre los materiales (fundente), o con la escoria producida. Algunos de los productos de dichas reacciones son compuestos no metálicos, solubles solo en cierto grado en el metal fundido. Debido a su menor densidad, tienden a buscar la superficie exterior del metal fundido, salvo que encuentren restricciones para ello.

Inclusiones de escorias aisladas.

La mayoría de las soldaduras contienen escorias que han sido atrapadas en el metal depositado durante la solidificación. Son depósitos de carbón u óxido metálicos y silicatos principalmente. La escoria puede provenir del revestimiento

del electrodo o fundente empleado. El proceso tiene como finalidad eliminar las impurezas del metal. Si este no permanece derretido durante un período suficientemente largo para permitir que la escoria se eleve a la superficie, parte de esa escoria pudiera quedar atrapada dentro del metal. Esta puede a su vez quedar atrapada en el metal en pasadas posteriores.

CAPÍTULO III

3. INSPECCIONES DE UNIONES SOLDADAS POR ULTRASONIDOS

3.1 INTRODUCCIÓN.

Los ultrasonidos son ondas acústicas de igual naturaleza que las ondas sonoras, con la única diferencia en que éstas poseen un campo de frecuencia por encima de la zona audible.⁶

3.1.1 Física de los ultrasonidos

Ondas ultrasónicas.-

⁶ R U Í Z . R . Ensayos No Destructivos e Inspección Radiográfica de las uniones Soldadas.

Es una oscilación en el movimiento de las partículas dentro del material, describiendo el movimiento de una partícula desde su posición cero hasta una máxima, que será una función de la posición y del tiempo, o como en el ensayo de materiales, a través de la variación de la presión acústica, en función del espacio y del tiempo. Cuando se inspecciona materiales usando ultrasonidos se habla de presión acústica, este término se refiere a la variación de presión debida a la onda acústica, que se produce junto a la oscilación.

Los tipos de onda existentes son los siguientes:

a) Ondas Longitudinales.

Es la única onda que se caracteriza por ser de carácter audible. En este tipo de ondas las oscilaciones siguen la misma dirección de propagación de la onda (ver **Fig. 3.1**).

Debido a que en estas ondas se encuentran fuerzas de compresión y dilatación, se denominan también "ondas de presión o compresión" y, debido también a que su densidad de partículas fluctúa, se les ha dado el nombre de "ondas de densidad". Este tipo de onda es la que transmite el sonido a través de los cuerpos sólidos y líquidos.

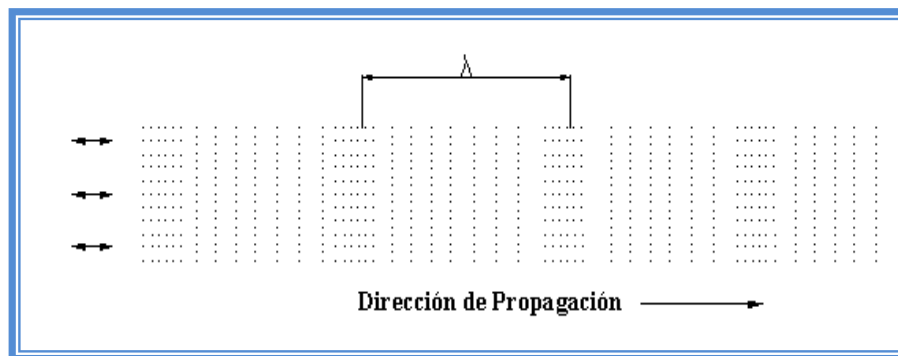


Fig. 3.1, Ondas Longitudinales

b) Ondas Transversales.

Es una onda en la que sus partículas pueden oscilar también en dirección transversal a la de propagación de la onda, originándose así las ondas transversales (ver

Fig. 3.2).

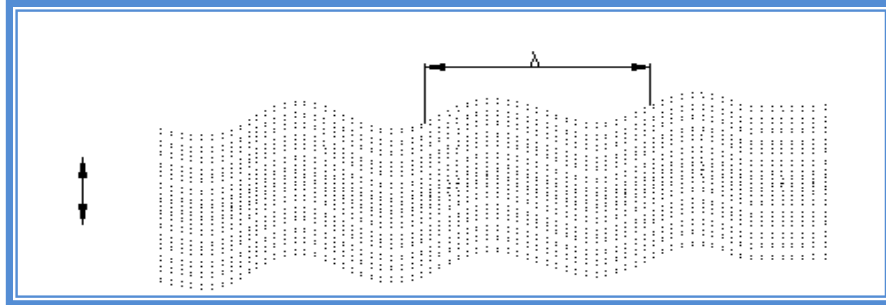


Fig. 3.2, Ondas Transversales.

En este caso, la presión acústica de la onda longitudinal se reemplaza, por la fuerza cortante alternativa. La presión acústica es la fuerza en ángulo recto por unidad de superficie, mientras que la fuerza cortante es la fuerza por unidad de superficie, pero paralela a ella. La única diferencia entre presión y cortadura es la dirección; en los demás aspectos estas dos características son idénticas, por lo que al referirse a la fuerza cortante en la onda transversal se la denominará presión acústica de igual manera. A diferencia de las ondas longitudinales, los gases y los líquidos son prácticamente incapaces de transmitir ondas transversales ya que sus moléculas apenas ofrecen resistencia al desplazamiento transversal por lo que podríamos decir que no existen vínculos elásticos que las ligen a su posición cero. Esta circunstancia coincide con la propiedad de tener un módulo de elasticidad transversal (G) igual a cero, a excepción de los líquidos muy viscosos que por poseer un cierto "módulo complejo de elasticidad transversal" pueden propagar ondas transversales aunque fuertemente amortiguadas. En los casos prácticos de ensayos de materiales, las ondas transversales, solo pueden alcanzar distancias apreciables en los cuerpos sólidos.

Ambos tipos de ondas, longitudinales y transversales, son ondas ideales ya que pueden producirse únicamente en medios infinitos. Si en el ensayo se producen reflexiones en las superficies límites de la pieza, es decir, la propagación de la onda tiene lugar en un medio limitado, como consecuencia de alteraciones producidas en su propagación por fenómenos de reflexión y refracción, dan lugar a la aparición de otros tipos de ondas.

Parámetros de las ondas ultrasónicas.

Los parámetros de la onda ultrasónica más importantes, desde el punto de vista de su aplicación, para el ensayo de materiales son los que se dan a continuación:

Frecuencia = f (Hertz) (Hz) = ciclos/s.

Es el número de oscilaciones de una partícula dada por segundo. La frecuencia, dentro de una misma onda, es la misma para todas las partículas y es igual a la frecuencia del generador, la cual se puede elegir arbitrariamente.

Longitud de onda = λ (m)

Es la distancia entre dos crestas consecutivas, en otras palabras describe cuán larga es una onda. Es inversamente proporcional a la frecuencia, siendo ésta la frecuencia del movimiento armónico simple de cada una de las partículas del medio. (La longitud de onda no se debe confundir con la frecuencia angular ω).

Velocidad acústica - C (m/s)

Es la velocidad de propagación de la onda para una condición dada, por ejemplo, de una zona de compresión. Esta velocidad es una característica del material y, en general, es constante para un material dado, para cualquier frecuencia y cualquier longitud de onda. Entre la velocidad acústica, la frecuencia y la longitud de onda, existe la siguiente relación:

$$C = f * \lambda \quad \text{E c. 3.1}$$

Amplitud de la oscilación = A (m)

Es el desplazamiento máximo de una partícula desde su posición cero.

Velocidad instantánea de vibración = v (m)

Es propia de la partícula en su movimiento oscilatorio.

Presión acústica = P (N/m²)

Se denomina a la intensidad de variación de la onda acústica en los puntos de gran densidad de partículas, donde la presión es mayor que la presión normal, mientras que en las zonas dilatadas es menor. Si la desviación es máxima en relación con la presión normal, es decir, sin onda acústica se denomina “amplitud de la presión acústica” y está íntimamente relacionada con la amplitud de oscilación. En el caso de las ondas planas y esféricas, la presión acústica y la amplitud máxima de oscilación están relacionadas por:

$$P = z * v = z * w * A \quad \text{E c. 3.2}$$

Impedancia acústica = z (Kg/m²*s)

Es la relación entre la presión acústica (P) y la velocidad máxima de vibración (v).

En el caso de ondas planas y esféricas, viene dada por la expresión:

$$z = \frac{P}{v} \quad \text{E c. 3.3}$$

La impedancia acústica es una resistencia que se opone a la vibración de la onda. Si un medio posee una impedancia baja, ofrecerá poca resistencia a las deformaciones elásticas causadas por las ondas, mientras que, por el contrario, si la impedancia es elevada, el medio ofrecerá gran resistencia a las deformaciones elásticas. La impedancia, por tanto, se opone a la vibración de los elementos de masa, pero no a la propagación de la onda. La fórmula anterior es poco práctica para la obtención de los valores de la impedancia de los

distintos medios. La teoría de la propagación de las ondas acústicas proporciona una fórmula muy sencilla:

$$z = \rho * C \quad \text{E c. 3.4}$$

donde:

ρ = Densidad del medio o material en que se propaga la onda, y;

C = Velocidad acústica de propagación.

Que indica que la impedancia acústica es una constante del material.

Energía acústica específica = E_e (W s/m³)

La propagación de una onda se caracteriza por un transporte de energía y no de masa. La energía presente en la unidad de volumen del medio (que avanza con la velocidad acústica) se denomina energía específica de la onda. En el caso de ondas planas y esféricas se expresa según:

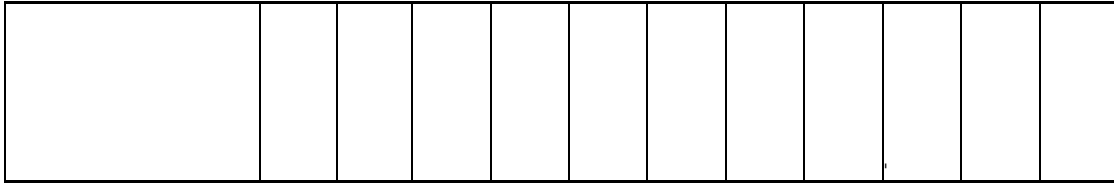
$$E_e = \frac{1}{2} * \rho * v^2 = \frac{1}{2} * \rho * \left(\frac{P}{z}\right)^2 = \frac{1}{2} * \frac{\rho * P^2}{\rho^2 * C^2} = \frac{1}{2} * \frac{P^2}{\rho * C^2} = \frac{1}{2} * \frac{P^2}{z * C} \quad \text{E c. 3.5}$$

Intensidad acústica = I (W / m²)

Es la cantidad de energía que pasa por unidad de área en la unidad de tiempo y viene dada por el producto de la energía específica y la velocidad acústica, obteniéndose para el caso de ondas planas esféricas las siguientes expresiones:

$$I = \frac{1}{2} * \rho * C * v^2 = \frac{1}{2} * z * v^2 = \frac{1}{2} * z * \left(\frac{P}{z}\right)^2 = \frac{1}{2} * \frac{P^2}{z} \quad \text{E c. 3.6}$$

3.1.2 Tipos de Incidencia del haz ultrasónico.



a) Incidencia normal.

Si una onda acústica cuyo frente de onda es plano alcanza la superficie límite entre dos medios, con un ángulo de incidencia de 90° , una parte de la energía de la onda se refleja y vuelve al primer medio en la misma dirección que la incidente, otra parte, se propagará al segundo medio manteniendo su dirección y sentido. Todo ello puede quedar representado gráficamente en la forma que se indica en la siguiente figura:

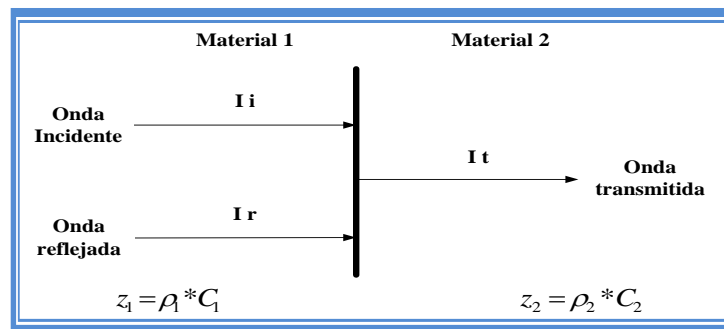


Fig. 3.3, Gráfica de una incidencia normal.

Aluminio	0	18 15	46 6.8	71 3.0	41 7.8	29 11	49 6.1	72 2.9	68 3.3	74 2.6	84 1.5
Plomo		0	30 10	60 4.4	26 12	12 19	34 9.5	80 2.0	77 2.3	82 1.8	89 1.1
Hierro (Acero)			0	37 8.6	4 27	19 14	4 28	88 1.1	87 1.2	88 1.2	94 0.6
Metal Duro (vidrio)				0	41 7.8	53 5.6	33 9.6	95 0.5	94 0.6	95 0.4	97 0.3
Cobre					0	15 17	8 22	87 1.2	86 1.3	89 1.0	93 0.6
Latón						0	23 13	83 1.6	81 1.8	85 1.4	91 0.8
Níquel							0	89 1.0	88 1.1	90 0.9	94 0.5
Caucho Vulcanizado								0	7 23	6 25	30 10
Perpex - Plexiglás									0	10 20	40 9
Glicerina										0	25 12
Aceite (SAE 20 a 30)											0
Agua											

TABLA 3.1, COEFICIENTES DE REFLEXIÓN R^1 , PARA ALGUNAS SUPERFICIES LÍMITES ENTRE MATERIALES SÓLIDOS Y LÍQUIDOS.

b) Incidencia angular.

Si una onda acústica incide oblicuamente sobre la entre cara plana que separa dos medios 1 y 2, con un ángulo de incidencia α_i (ver figura 3.4), se producen ondas reflejadas y transmitidas. A estas últimas se las denomina también, ondas refractadas ya que su dirección cambia en relación la dirección de la incidente. Las direcciones de las ondas reflejadas y transmitidas vienen dadas por la ley de Snell:

$$\frac{\text{Sen}\alpha_1}{\text{Sen}\alpha_2} = \frac{C_1}{C_2} \quad \text{Ec. 3.7}$$

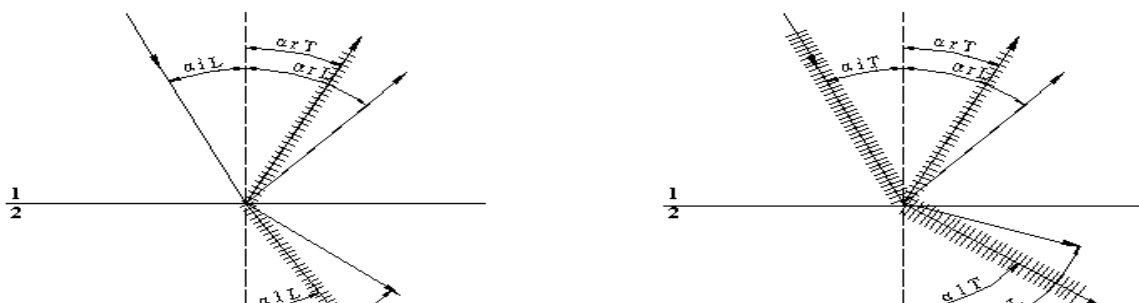


Fig. 3.4, Reflexión y refracción de una onda con incidencia oblicua

Expresión en la que 1 y 2 son dos ondas arbitrarias, con velocidades acústicas C1 y C2, ligadas entre sí por un proceso de reflexión o de refracción. Como pudo apreciarse en la anterior figura, los ángulos de reflexión α_r y de refracción o transmisión α_t , dependen del ángulo de incidencia α_i y de las velocidades acústicas de onda en los dos materiales.

Leyes de la Reflexión y Refracción	
A) Onda Incidente Longitudinal	A) Onda Incidente Transversal
$\frac{\text{Sen}\alpha_{iL}}{\text{Sen}\alpha_{rL}} = \frac{C_{L1}}{C_{L1}} * \alpha_{iL} = \alpha_{rL}$	$\frac{\text{Sen}\alpha_{iT}}{\text{Sen}\alpha_{rT}} = \frac{C_{T1}}{C_{T1}} * \alpha_{iT} = \alpha_{rT}$
$\frac{\text{Sen}\alpha_{iL}}{\text{Sen}\alpha_{rT}} = \frac{C_{L1}}{C_{T1}} ** \alpha_{iL} = \alpha_{rL} > \alpha_{rT}$	$\frac{\text{Sen}\alpha_{iT}}{\text{Sen}\alpha_{rL}} = \frac{C_{T1}}{C_{L1}} ** \alpha_{iT} = \alpha_{rT} < \alpha_{rL}$
$\left. \begin{array}{l} \frac{\text{Sen}\alpha_{iL}}{\text{Sen}\alpha_{rT}} = \frac{C_{L1}}{C_{L2}} \\ \frac{\text{Sen}\alpha_{iL}}{\text{Sen}\alpha_{rT}} = \frac{C_{L1}}{C_{T2}} \end{array} \right\} \alpha_{rL} > \alpha_{rT}$	$\left. \begin{array}{l} \frac{\text{Sen}\alpha_{iT}}{\text{Sen}\alpha_{rL}} = \frac{C_{T1}}{C_{T2}} \\ \frac{\text{Sen}\alpha_{iT}}{\text{Sen}\alpha_{rL}} = \frac{C_{T1}}{C_{L2}} \end{array} \right\} \alpha_{rL} > \alpha_{rT}$

Tabla 3.2, FÓRMULAS DE REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DE UNA ONDA CON INCIDENCIA OBLICUA SOBRE LA SUPERFICIE LÍMITE ENTRE DOS CUERPOS SÓLIDOS.

3.2 MÉTODOS Y TÉCNICAS ULTRASÓNICAS.

Examen de las uniones soldadas por Ultrasonidos.

Para el examen de las uniones soldadas, como ya se ha indicado anteriormente, se emplea, preferentemente, el método de impulso-eco, mediante la técnica de incidencia normal o angular, siendo esta última la de mayor aplicación, especialmente cuando es utilizada con la trayectoria en zig-zag. Además con la técnica de incidencia angular con trayectoria en zig-zag se puede también obtener mayor información sobre la calidad de la unión.

Espesor m m	Ángulo Entrada α°	Sen α	Cos α	Tg α	Distancia d m m
5 10 15	80	0.985	0.174	5.671	57 114 170
15 20 25 30	70	0.940	0.342	2.747	82 100 138 165
30 35 40 45 50 55 60	60	0.866	0.500	1.732	104 121 139 156 173 190 208
≥ 60	45	0.707	0.707	1.0	≥ 120

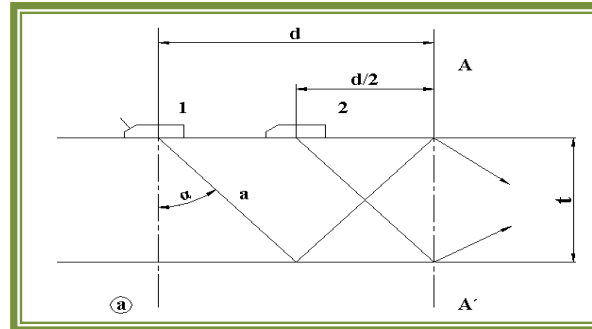
TABLA 3.3, ÁNGULOS DE ENTRADA Y DISTANCIAS DE EXPLORACIÓN RECOMENDADAS EN FUNCIÓN DEL ESPESOR.

En la tabla anterior se puede observar la relación entre distancia, espesor de placa y el ángulo de incidencia del haz ultrasónico, que permite tener una referencia de cuanto debe medir nuestra placa patrón para realizar nuestra inspección.

Como el equipo que se utiliza es de incidencia angular lo que se puede realizar es un estudio de cómo actúa el y recibe el palpador las señales que este emite a través de la placa inspeccionada.

Determinación geométrica del paso y medio paso

Método impulso - eco (E.N.D. - INTA)



$$d = 1 \text{ paso}$$

$$\frac{d}{2} = \frac{1}{2} \text{ paso}$$

$$\text{Sen} \alpha = \frac{\frac{d}{2}}{a}$$

$$\text{Cos} \alpha = \frac{t}{a}$$

$$\text{Tang} \alpha = \frac{\frac{d}{2}}{t} \Rightarrow \frac{d}{2} = t * \text{Tang} \alpha \Rightarrow d = 2 * t * \text{Tang} \alpha$$

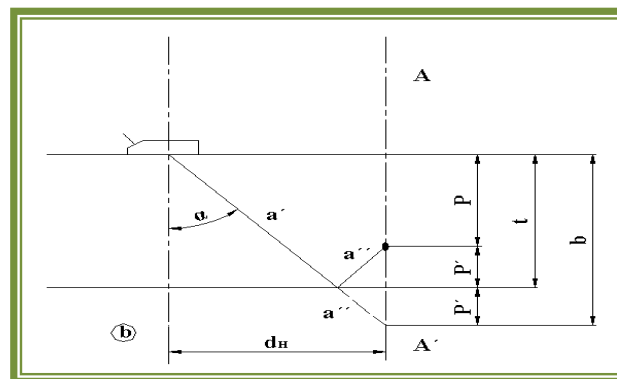


Fig. 3.5, Determinación de la posición de una heterogeneidad por la técnica de incidencia angular.

$$a = a' + a''$$

$$d_H = a * \text{Sen} \alpha$$

$$b = a * \text{Cos} \alpha$$

$$b = t + P'$$

$$P' = t - P$$

$$b = t + t - P \Rightarrow P = 2t - b \Rightarrow$$

$$P = 2t - a * \text{Cos} \alpha$$

3.3 INSPECCIÓN ULTRASÓNICA DE UNIONES SOLDADAS.

MANIPULACIÓN DEL EQUIPO DE ULTRASONIDO.

En este literal se describe el funcionamiento y calibración del equipo de ultrasonidos, se describe primero como utilizar el equipo y ponerlo a punto antes de realizar cualquier ensayo o inspección en uniones soldadas:

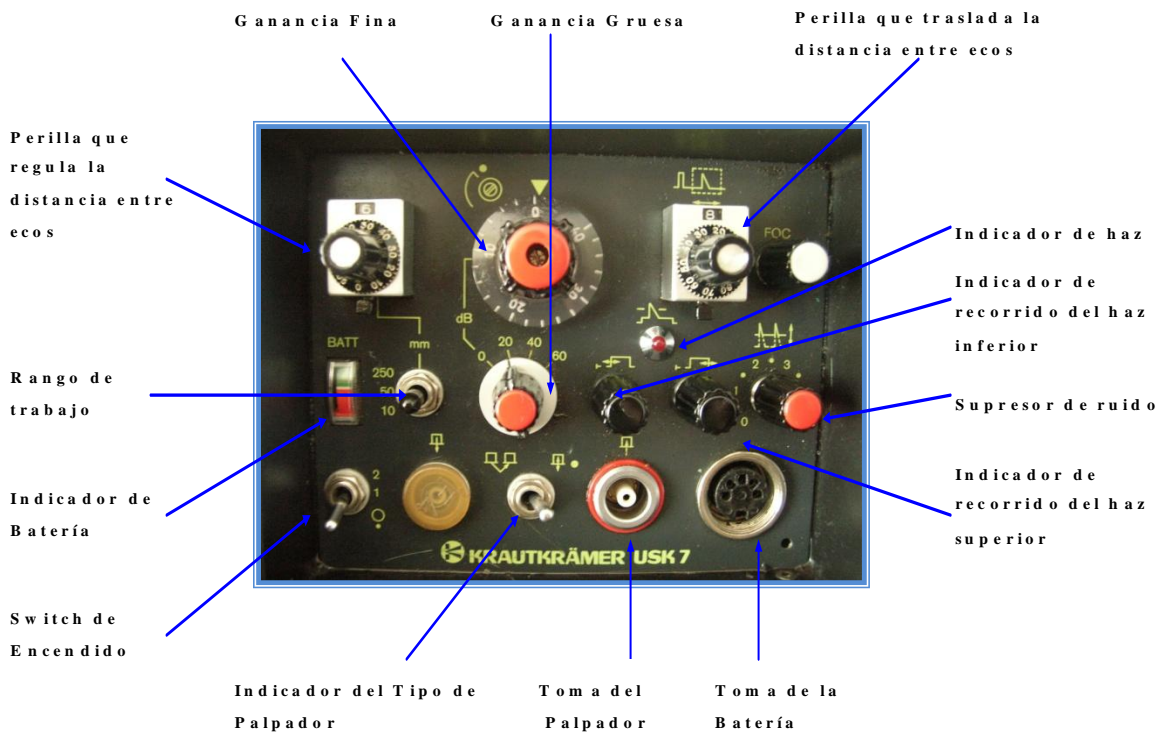


Fig. 3.6, Panel de control del equipo ultrasónico.



Fig. 3.7, Equipo de ultrasonidos.

La puesta a punto del equipo se la realiza de la siguiente manera:

a) Se determina el punto de salida del haz y el ángulo real del palpador. Se la localiza desplazando el palpador sobre el bloque de calibración, el pico más alto determina el punto de salida del haz verdadero, que es observado en pantalla. Ver Fig. 3.8, 3.9

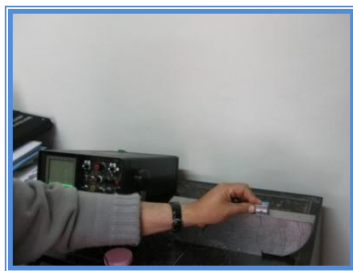
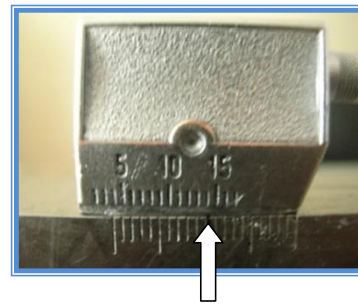


Fig. 3.8, Palpador sobre el bloque de calibración.



3.9, Salida del haz ultrasónico (14 mm).

Cuando se obtiene el pico más alto, se determina la escala del palpador, el valor en este caso es 14 mm el punto de salida del haz.

A continuación se debe tener en cuenta el ángulo de salida del haz del palpador, como el palpador a utilizarse en la inspección tiene un ángulo de 70° , para comprobar esto, con la salida verdadera del haz que es de 14 mm. Se procede a colocar sobre el bloque de calibración como se indica en la Fig. 3.10 y 3.11:

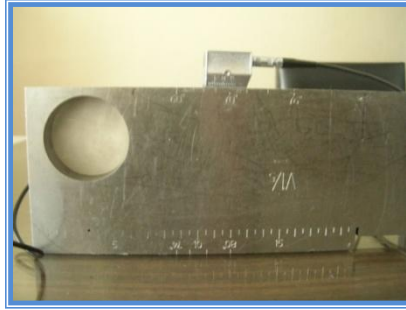


Fig. 3.10, Comprobación del ángulo de salida del haz ultrasónico.



Fig. 3.11, Indicación obtenida en el equipo ultrasónico.

b) Se procede a calcular el paso y medio paso sobre la placa que se desea inspeccionar

$$P = 2 * e * \text{Tang } \alpha \quad ; \quad P/2 = e * \text{Tang } \alpha$$

Donde:

e = Espesor de la placa de inspección. = 12 m m .

α = Ángulo del haz de salida del palpador. = 70°

P = Paso.

$P/2$ = Medio Paso.

Dando como consecuencia de esto:

$$P = 66 \text{ m m} \quad ; \quad P/2 = 33 \text{ m m}$$

c) Se procede a calibrar el rango en la pantalla del equipo.

Sabiendo que el paso es 66 m m . y el rango de pantalla esta entre 0 – 10, la escala que se toma; es, que cada 1 unidad de pantalla representará 10 m m .

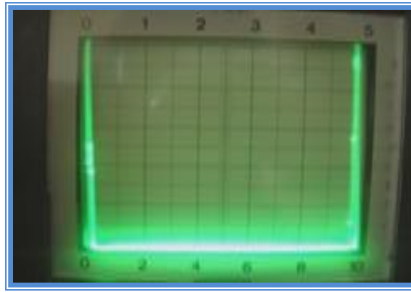


Fig. 3.12, En la figura se muestra la calibración de pantalla entre 0 - 100.

d) Se ubica en pantalla el recorrido del haz del palpador.

Para esto se debe calcular el recorrido del haz de la siguiente manera:

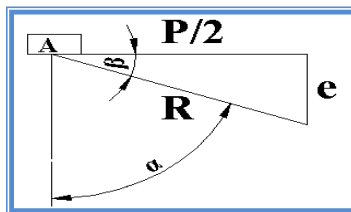


Fig. 3.13, Determinación de la distancia de recorrido.

donde:

A = Palpador.

P/2 = Medio Paso. 33 m m

e = Espesor del material. 12 m m .

α = Ángulo del haz del palpador. 70°.

β = Ángulo complementario. 20°

R = Recorrido del haz.

De ahí que:

$$R = \sqrt{e^2 + (p/2)^2}$$

$$R = \sqrt{12^2 + 33^2}$$

$$R \cong 35\text{mm}$$

En este paso se procede a elaborar una regleta que ayude a encontrar a que distancia con respecto a la superficie de la placa se encuentra el defecto. Esta regleta estará en función del recorrido del haz y el ángulo del palpador.

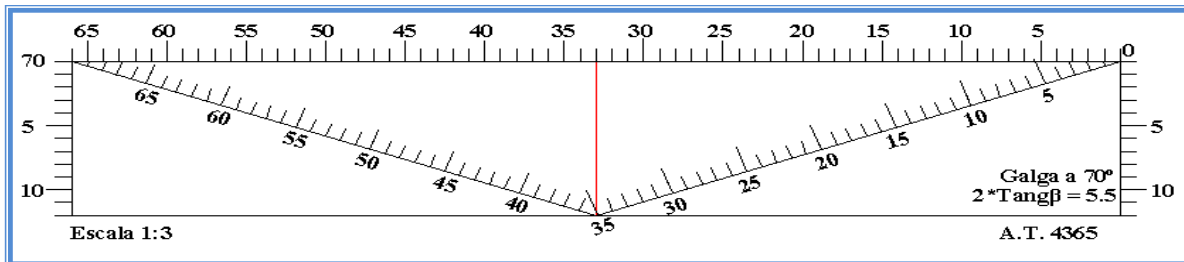


Fig. 3.14, Regleta Distancia de Recorrido - Profundidad.

Sobre esta regleta se desplazará otra, en la que se encuentra enmarcada una línea roja, cuyas divisiones son igual a la regleta principal (de 0 - 12 mm). Seguidamente se coloca el palpador en estas divisiones y se observará en pantalla que el recorrido del haz es de 35 mm. Que coincide con el medio paso como se ve en la Fig. 3.15, 3.16 y 3.17

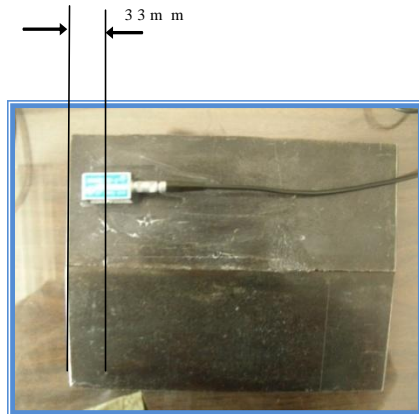


Fig. 3.15, Palpador ubicado a 1/2 paso



Fig. 3.16, Señal obtenida a 1/2 paso

Palpador ubicado en el medio paso y primer haz de recorrido ubicado en 35 mm. en la escala de la pantalla.

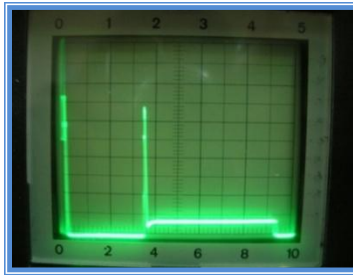


Fig. 3.17, Indicación del primer haz de salida. ($\frac{1}{2}$ paso)

Luego se coloca el palpador en la división del paso (66 mm) y se observa en pantalla que el recorrido del haz de 70 mm. coincide con éste, como se ve en la Fig. 3.18 y 3.19.

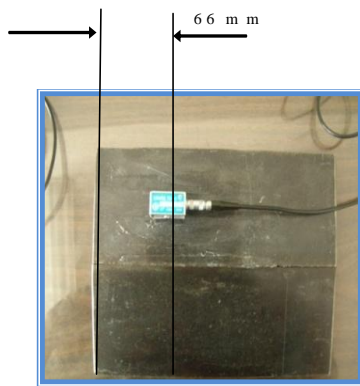


Fig. 3.18, Palpador situado a 1 paso

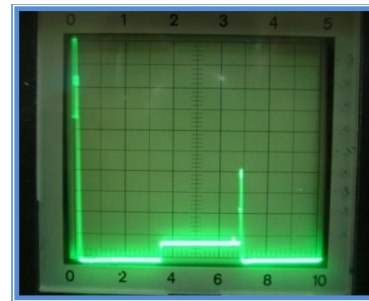


Fig. 3.19, Indicación producida a 1 paso.

e) Se ajusta la ganancia del equipo hasta que la señal del eco correspondiente al agujero previamente elaborado en la placa patrón (agujero de 1/16 in, 1.6mm aproximadamente, se escoge este diámetro de agujero ya que este permite tener un defecto referencial que se a tomado como lo recomienda la norma ASME – Sección V-Artículo 5) de una señal que deberá tener una altura de un 80% a 90% de altura de pantalla. Esto permite obtener una curva de referencia llamada curva DAC que es una curva que permite definir si la señal que se obtiene es o no un defecto. Ver Fig. 3.20, 3.21 y 3.22.

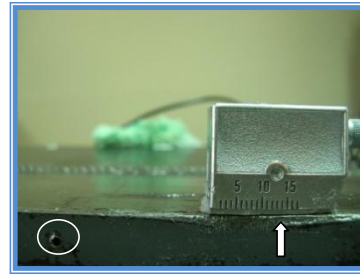
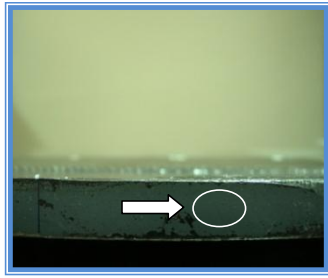


Fig. 3.20, Agujero de 1/16 in Fig. 3.21, Palpador situado a ½ paso del agujero.



Fig. 3.22 Señal producida por el agujero de 1/16.

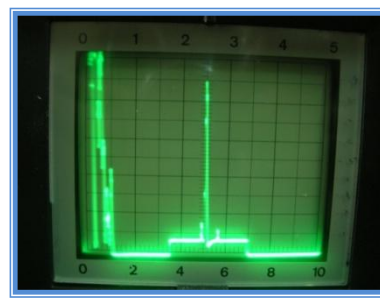
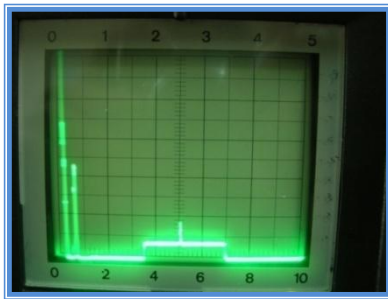


Fig. 3.23, Primera indicación de inicio. Fig. 3.24, Indicación de la señal hasta un 90% .

- f) Se mide el paso y medio paso a partir del eje de la soldadura y señala la zona dentro de la cual debe desplazarse el palpador durante la inspección.
- g) Se aplica gel de silicón en la zona de desplazamiento del palpador.
- h) Se realiza el barrido a ambos lados del cordón.
- i) Se observa en pantalla las características de cada curva y se toman fotografías para el posterior análisis de sus características.

CAPÍTULO IV

4. PARTE EXPERIMENTAL.

La parte experimental constará de varios pasos, los mismos que van desde la elaboración de la probeta, cordones de soldeo, inspección radiográfica y terminando con la inspección ultrasónica de cada probeta.

4.1 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS.

Para la preparación de las probetas se optó por un material fácil de soldar como lo es el acero dulce (bajo carbono), el espesor de las probetas será de 12 mm. (Se optó por este espesor ya que para realizar los ensayos de ultrasonidos, este espesor permitirá obtener una mejor reflexión del haz ultrasónico).

Para calcular el ancho de probeta adecuada que se va a necesitar, se usará la ecuación del paso y medio paso:

Paso:

$$d = P$$

$$P = 2 * e * \tan \alpha$$

donde:

e = Espesor de la placa. = 12 mm.

α = Ángulo de incidencia del palpador. = 70.5°

es de ahí que:

$$P = 2 * 12 * \tan 70.5^\circ$$

$$P = 68 \text{ mm.}$$

Esta será la medida de ancho de la probeta real.

Una vez calculado el tamaño apropiado de la probeta se procede a la elaboración de la junta, teniendo en cuenta que la junta que se va a necesitar debe tener las siguientes características (enmarcada en cuadro de púrpura):

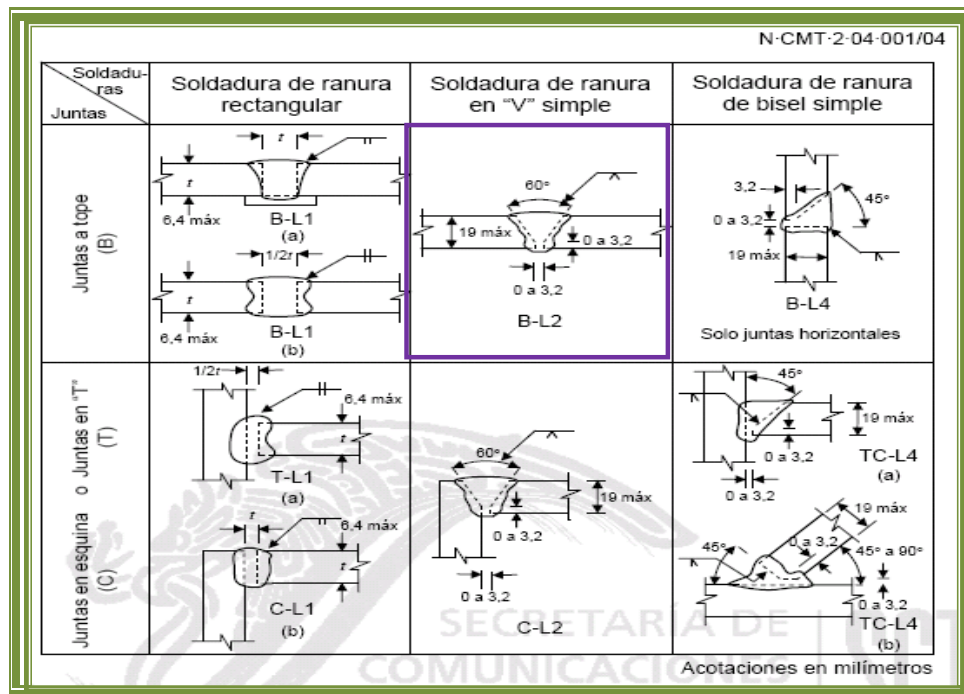


Fig. 4.1, Juntas precalificadas para soldadura de arco manual y material base con espesor limitado (L)⁷

D.3.1.2. La cara de la raíz de las juntas podrá ser de cero (0) a tres coma dos (3,2)

milímetros, a menos que el proyecto indique otra dimensión.

D.3.1.3. La separación en la raíz de las juntas será la mínima conveniente, pudiendo

variar entre cero (0) y tres coma dos (3,2) milímetros.

D.3.1.4. El ángulo de la ranura será el mínimo especificado, pudiendo aumentarse

en diez (10) grados como máximo.

⁷ CALDERÓN Y JULIA. Absorción de Gases. México: UNMSM, 2005. Págs. 11-21.

1. **Corte.-** para el corte se utilizó el equipo oxioacetilénico.
2. **Fresado.-** con ello se pretende dar un mejor desbaste de las huellas dejadas por el equipo oxioacetilénico y a la vez dejar listas las juntas.

Para obtener el ángulo de 30° que describe la placa, se procede a fijar dicho ángulo en el cabezal de la fresadora hasta obtener un ángulo deseado. Hay que recordar que en la base de la placa hay que dejar un espesor entre la cara y la raíz de 2.5mm (como lo recomienda la **Fig. 4.1** en la que indica que se debe escoger entre 0 y 3,2 mm), y se obtiene finalmente lo que se visualiza en la **Fig 4.2**

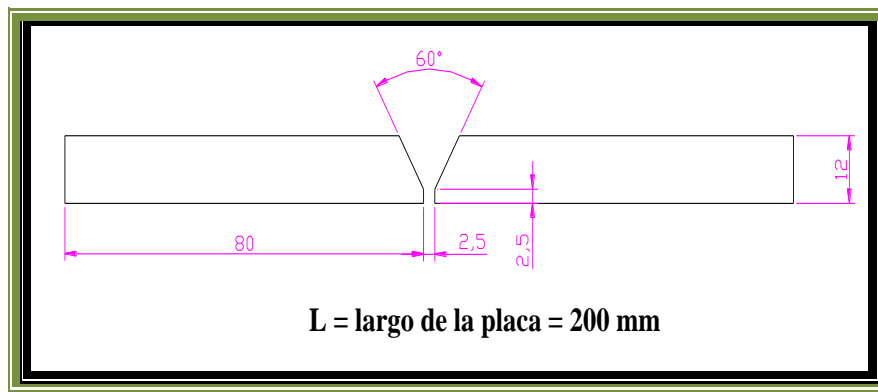


Fig. 4.2, Detalle de la junta patrón seleccionada.



Fig. 4.3, Desbaste de caras y raíz de la probeta.

4.2 MÉTODO PARA GENERAR DEFECTOS EN LA SOLDADURA

Para este método lo que se recomienda es utilizar la Norma AWS D 1.1/D 1.1M :2002, que es la que recomienda como realizar los procesos de soldadura para cada una de las probetas.

Una vez que se ha preparado correctamente cada una de las probetas, se procede a la unión de las mismas por soldadura manual, en cada una de ellas se procede a generar el defecto que se requiere, cuyo procedimiento es el siguiente:

- Preparación de filetes.
- Selección de electrodos.
- Posteriormente se procede al precalentamiento de la placa, esto cuando se trabaja con grandes espesores.

Ya en el proceso de soldadura se deberá tener en cuenta la realización de las siguientes fases:

- **Fusión de raíz.**



Fig. 4.4, Fase de raíz.

Posteriormente se procede a esmerilar este cordón para eliminar las escorias atrapadas en primer proceso y dejar lista para la siguiente fase. (Ver Fig. 4.5 y 4.6)



Fig. 4.5, Pulida de la fase de raíz.



Fig. 4.6, Fase de raíz terminada.

Claramente se puede apreciar la uniformidad en el cordón que servirá de base para las posteriores fases.

- **Fase Caliente**



Fig. 4.7, Fase caliente.



Fig. 4.8, Pulida de fase caliente.

- **Fases de Relleno.**

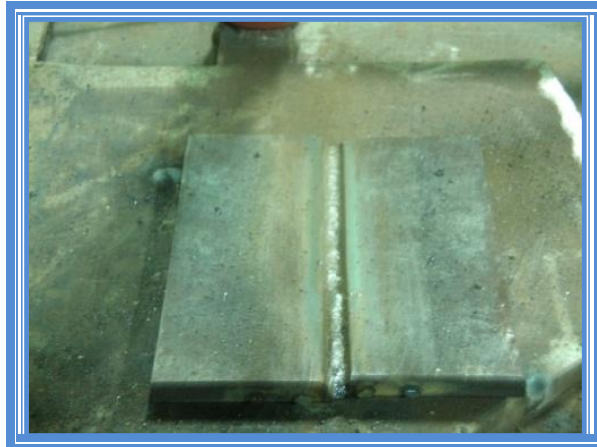


Fig. 4.9, Fases o cordones de relleno.

Para el último cordón se utilizará otro tipo de electrodo para tener un mejor acabado y uniformidad en la soldadura. Sin que afecte al defecto ya provocado, solo por cuestión de estética. Ver **Fig. 4.10**

Al igual que en las pasadas anteriores se recomienda limpiar la escoria del cordón de soldadura.



Fig. 4.10, Limpieza del último cordón de soldadura.

E S P E C I F I C A C I Ó N D E L P R O C E D I M I E N T O D E S O L D A D U R A (W P S) ⁸

PROCESO DE SOLDADURA: SMAW

Tipo - Manual Semiautomática

DISEÑO DE JUNTA:

Máquina Automática

Tipo: Tope (BU2)

POSICIÓN

Único: Doble:

Posición de Ranura 1G

Apoyo: Si No

CARACTERÍSTICAS

Abertura de Raíz: 1/8 Altura de Cara de Raíz: 1/8

ELÉCTRICAS

Corriente: AC DCEP

DCEN PULSOS

Ángulo de Ranura: 60° Radio (J - U): -----

TÉCNICA

METAL BASE

Hilera o Avance a gotas Hilera

Especificación del Material: ASTM 500

Multicapas o Una sola capa Multicapas

Tipo o Grado: Ninguno

Número de Electrodo 8

Espesor: Ranura: 1/2 in

Posición del Electrodo Longitudinal

METAL DE APORTE

Lateral

Especificación AWS: A5.1

Angular

Clasificación AWS: E6011 - E7018

Limpieza entre capas Remove Escorias

PRECALENTAMIENTO

TRATAMIENTO DE

Temperatura Mín. de

CALENTAMIENTO
Temperatura: N/A

Precaentamiento: No

Temp. Mín. de Entre capas: N/A Máx: N/A

POSTSOLDADURA
Tiempo: N/A

⁸ AMERICAN WELDING SOCIETY. AWS D1.1/D1.1M:2002. 18va.ed. E.E.U.U: Structural Welding Code Steel, 2001. Pág.377

Los datos registrados anteriormente se mantienen para todos los procesos de soldadura.

FALTA DE PENETRACIÓN

PROCESO DE SOLDADURA⁹

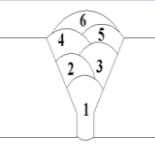
Pasos o Capas de Relleno	Procesos	Metal de Aporte		Corriente		Voltios	Velocidad de Avance	Detalle de la Junta
		Clase	Diámetro	Tipo y Polaridad	Amperios			
1	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	120 A m p	24 V .	8 ipm	
2	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	130 A m p	25 V .	9 ipm	
3	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	130 A m p	25 V .	9 ipm	
4	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	130 A m p	25 V .	9 ipm	
5	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	130 A m p	25 V .	9 ipm	
6	SM A W	E 7018	1/8 in	DC +	135 A m p	26 V .	8 ipm	

Tabla 4.1

MORDEDURAS.

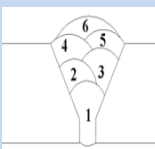
Pasos o Capas de Relleno	Procesos	Metal de Aporte		Corriente		Voltios	Velocidad de Avance	Detalle de la Junta
		Clase	Diámetro	Tipo y Polaridad	Amperios			
1	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	120 A m p	24 V .	8 ipm	
2	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	140 A m p	26 V .	9 ipm	
3	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	130 A m p	25 V .	9 ipm	
4	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	130 A m p	25 V .	9 ipm	
5	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	130 A m p	25 V .	9 ipm	
6	SM A W	E 7018	1/8 in	DC +	140 A m p	26 V .	10 ipm	

Tabla 4.2

⁹ AMERICAN WELDING SOCIETY. AWS D 1.1/D 1.1M :2002. 18va.ed. E.E.U.U. Structural Welding Code Steel, 2001. Pág. 377.

FISURA TRANSVERSAL

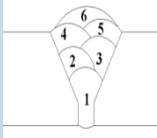
Pasos o Capas de Relleno	Procesos	Metal de Aporte		Corriente		Voltios	Velocidad de Avance	Detalle de la Junta
		Clase	Diámetro	Tipo y Polaridad	Amperios			
1	SM A W	E 6 0 1 1	1/8 in	D C +	120 A m p	24 V .	8 ipm	
2	SM A W	E 6 0 1 1	1/8 in	D C +	130 A m p	25 V .	9 ipm	
3	SM A W	E 6 0 1 1	1/8 in	D C +	130 A m p	25 V .	9 ipm	
4	SM A W	E 6 0 1 1	1/8 in	D C +	130 A m p	25 V .	9 ipm	
5	SM A W	E 7 0 1 8	1/8 in	D C +	140 A m p	26 V .	8 ipm	
6	SM A W	E 7 0 1 8	1/8 in	D C +	130 A m p	25 V .	10 ipm	

Tabla 4.3

ESCORIAS

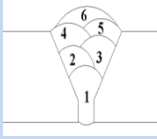
Pasos o Capas de Relleno	Procesos	Metal de Aporte		Corriente		Voltios	Velocidad de Avance	Detalle de la Junta
		Clase	Diámetro	Tipo y Polaridad	Amperios			
1	SM A W	E 6 0 1 1	1/8 in	D C +	120 A m p	24 V .	8 ipm	
2	SM A W	E 6 0 1 1	1/8 in	D C +	140 A m p	26 V .	9 ipm	
3	SM A W	E 6 0 1 1	1/8 in	D C +	130 A m p	25 V .	9 ipm	
4	SM A W	E 6 0 1 1	1/8 in	D C +	130 A m p	25 V .	9 ipm	
5	SM A W	E 6 0 1 1	1/8 in	D C +	130 A m p	25 V .	9 ipm	
6	SM A W	E 7 0 1 8	1/8 in	D C +	130 A m p	25 V .	9 ipm	

Tabla 4.4

PENETRACIÓN EXCESIVA

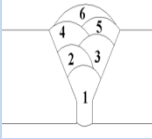
Pasos o Capas de Relleno	Procesos	Metal de Aporte		Corriente		Voltios	Velocidad de Avance	Detalle de la Junta
		Clase	Diámetro	Tipo y Polaridad	Amperios			
1	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	150 A m p	26.5 V .	7 ipm	
2	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	160 A m p	27 V .	8 ipm	
3	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	130 A m p	25 V .	9 ipm	
4	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	130 A m p	25 V .	9 ipm	
5	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	130 A m p	25 V .	9 ipm	
6	SM A W	E 7018	1/8 in	DC +	140 A m p	26 V .	9 ipm	

Tabla 4.5

POROS

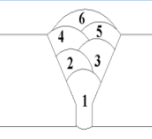
Pasos o Capas de Relleno	Procesos	Metal de Aporte		Corriente		Voltios	Velocidad de Avance	Detalle de la Junta
		Clase	Diámetro	Tipo y Polaridad	Amperios			
1	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	120 A m p	24 V .	8 ipm	
2	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	140 A m p	26 V .	9 ipm	
3	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	130 A m p	25 V .	9 ipm	
4	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	130 A m p	25 V .	9 ipm	
5	SM A W	E 7018	1/8 in	DC +	140 A m p	26 V .	10 ipm	
6	SM A W	E 7018	1/8 in	DC +	130 A m p	26 V .	10 ipm	

Tabla 4.6

INCLUSIÓN

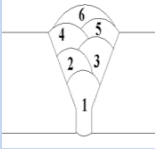
Pasos o Capas de Relleno	Procesos	Metal de Aporte		Corriente		Voltios	Velocidad de Avance	Detalle de la Junta
		Clase	Diámetro	Tipo y Polaridad	Amperios			
1	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	130 A m p	26 V .	9 ipm	
2	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	140 A m p	26 V .	9 ipm	
3	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	130 A m p	25 V .	9 ipm	
4	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	130 A m p	25 V .	9 ipm	
5	SM A W	E 7018	1/8 in	DC +	130 A m p	25 V .	10 ipm	
6	SM A W	E 7018	1/8 in	DC +	140 A m p	26 V .	8 ipm	

Tabla 4.7

FISURAS

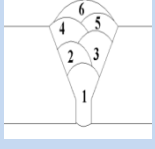
Pasos o Capas de Relleno	Procesos	Metal de Aporte		Corriente		Voltios	Velocidad de Avance	Detalle de la Junta
		Clase	Diámetro	Tipo y Polaridad	Amperios			
1	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	130 A m p	25 V .	8 ipm	
2	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	160 A m p	27 V .	9 ipm	
3	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	130 A m p	25 V .	9 ipm	
4	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	130 A m p	25 V .	9 ipm	
5	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	130 A m p	25 V .	10 ipm	
6	SM A W	E 7018	1/8 in	DC +	150 A m p	26.5 V .	9 ipm	

Tabla 4.8

FALTA DE FUSIÓN.

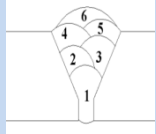
Pasos o Capas de Relleno	Procesos	Metal de Aporte		Corriente		Voltios	Velocidad de Avance	Detalle de la Junta
		Clase	Diámetro	Tipo y Polaridad	Amperios			
1	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	120 A m p	24 V .	9 ipm	
2	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	140 A m p	26 V .	9 ipm	
3	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	130 A m p	25 V .	9 ipm	
4	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	130 A m p	25 V .	9 ipm	
5	SM A W	E 7018	1/8 in	DC +	130 A m p	25 V .	8 ipm	
6	SM A W	E 7018	1/8 in	DC +	100 A m p	23 V .	10 ipm	

Tabla 4.9

QUEMÓN

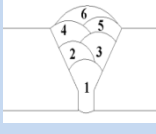
Pasos o Capas de Relleno	Procesos	Metal de Aporte		Corriente		Voltios	Velocidad de Avance	Detalle de la Junta
		Clase	Diámetro	Tipo y Polaridad	Amperios			
1	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	120 A m p	24 V .	8 ipm	
2	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	160 A m p	27 V .	10 ipm	
3	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	130 A m p	25 V .	9 ipm	
4	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	130 A m p	25 V .	9 ipm	
5	SM A W	E 6011	1/8 in	DC +	130 A m p	25 V .	9 ipm	
6	SM A W	E 7018	1/8 in	DC +	130 A m p	25 V .	9 ipm	

Tabla 4.10

4.3 EXAMEN RADIOGRÁFICO DE LAS PROBETAS.

Una vez que se ha realizado los correspondientes cordones de soldadura en cada una de las probetas y en consecuencia los defectos que se ha provocado en cada una de ellas, el siguiente paso es realizar la toma radiográfica, para determinar la naturaleza de los defectos que se pretende caracterizar por ultrasonidos. Cabe indicar que la radiografía es una herramienta muy útil ya que con su ayuda se puede ubicar e identificar más fácilmente los defectos, en especial si son defectos internos que no son visibles a simple vista; y que se pretende caracterizar por el método de ultrasonidos.

PROCEDIMIENTO RADIOGRÁFICO.

1. **Medición del espesor total de exposición.**- En este paso se procede a tomar la medida entre el espesor de material y el espesor de la sobremonta así:

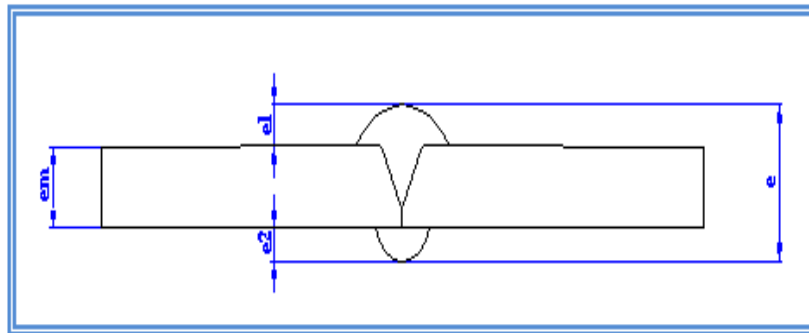


Fig. 4.11, Espesor total de exposición.

$$e = e_m + e_s$$

e_m = Espesor del material.

e_s = Espesor de la sobremonta.

Donde:

$$e_s = e_1 + e_2$$

Este procedimiento se emplea para todas las placas que van a ser sometidas al proceso radiográfico. Ver Fig. 4.12.



Fig. 4.12, Medición del espesor total de la placa probeta patrón.

2. Una vez conocido el espesor a radiografiarse, se procede a determinar el tiempo de exposición a la que va a estar sometida cada una de las películas conjuntamente con su placa, para esto se toma en cuenta los parámetros del equipo como son:

- Intensidad de Exposición, máximo hasta 5 – 10 mA
- Nivel de energía hasta 200 KV
- Ángulo máximo de apertura del haz de rayos X hasta 20°.
- Tiempo máximo de exposición hasta 5 min.
- Distancia placa lente de rayo X = 50 cm .

Para luego calcular el tiempo de exposición, con la siguiente ecuación:

$$t_{\text{expos}} = t_c * f_n * f_p * f_D * f_v$$

donde:

t_{expos} = Tiempo de exposición.

t_c = Tiempo del diagrama de exposición.

f_n = Factor de corrección por densidad.

f_p = Factor de corrección por película.

f_D = Factor de corrección por distancia.

f_v = Factor de corrección por varios (mA, KV, material, etc).

Debe indicarse que los valores de f_n , f_p , f_D , f_v permanecerán constantes (ver **Tabla 4.11**), el único valor que variará será el valor de t_e , ya que este valor depende del espesor total de exposición que en cada caso variará de acuerdo al espesor de la sobremonta que en ella se encuentre.

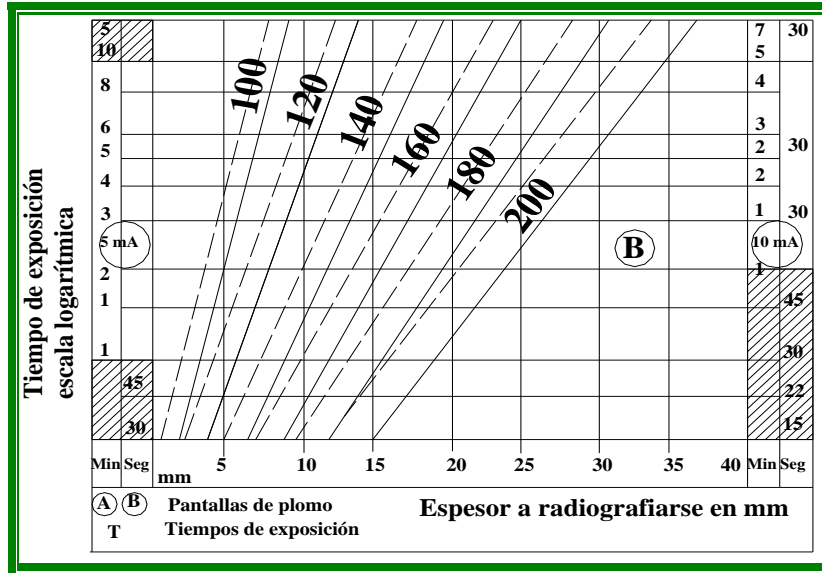


Tabla 4.11, CURVAS DE EXPOSICIÓN RADIOGRÁFICA¹⁰

DATOS DE PELÍCULA:					
TIPO :	FUJI 80				
FACTOR DE PELÍCULA:	1.4				
DENSIDAD (N) :	2				
DENSIDAD		PELÍCULA		DISTANCIA	
N = 1	T * 1.6	Gevaert	Structurix	35 cm (14")	T * 0.25
N = 1.5	T * 1.6	D10 T * 1	D7 T * 1	50 cm (20")	T * 0.5
N = 2	T * 2.2	D7 T * 4	D4 T * 3.7	70 cm (27.5")	T * 0.1
N = 2.5	T * 3	D4 T * 15	D2 T * 15	100 cm (40")	T * 2
		A	B	140 cm (55")	T * 4
				200 cm (50")	T * 8.8

Tabla 4.12, DATOS DE PELÍCULA¹¹

3. Una vez que se ha calculado el tiempo de exposición se procede a colocar la película sobre la placa, en este paso se uso galgas para señalar tanto los límites de

¹⁰ ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA NACIONAL. Guía de Laboratorio de Ensayos No Destructivos 2005.

¹¹

referencia de la radiografía (ver Fig. 4.13), así como también la calidad de la radiografía, ver Fig. 4.14, que es determinada por el espesor total a radiografiarse, como se muestra en la Tabla 4.13. La calidad es medida en parámetros ICI que es el índice de calidad de la imagen.

Espesor de Placa soldada Versus Espesor de Penetración				
Espesor de Soldadura y Placa		Espesor Máximo de Penetración		Número de calidad ICI
Pulgadas	Milímetros	Pulgadas	Milímetros	
0-1/4	0-6.35	0,005	0,127	5
>1/4-3/8	>6.35-9.52	0,0075	0,19	7
>3/8-1/2	>9.52-12.7	0,01	0,254	10
>1/2-5/8	>12.7-15.88	0,0125	0,317	12
>5/8-3/4	>15.88-19.05	0,015	0,381	15
>3/4-7/8	>19.05-22.22	0,0175	0,444	17
>7/8-1	>22.22-25.40	0,02	0,508	20
>1-1 1/4	>25.40-37.75	0,025	0,635	25
>1 1/4-1 1/2	>31.75-38.10	0,03	0,762	30
>1 1/2-2	>38.10-50.80	0,035	0,889	35

TABLA 4.13, TABLA ESTÁNDAR API 1104

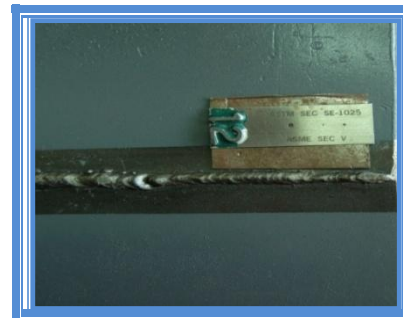


Fig. 4.13, Colocación de la placa radiográfica.

Fig. 4.14, Placa de calidad ICI.

Seguidamente se procede a realizar la toma radiográfica de cada una de las probetas y como ejemplo se indica el cálculo del tiempo de exposición para la toma radiográfica de la probeta que tiene falta de penetración.

FALTA DE PENETRACIÓN.

$$e = e_m + e_s$$

Donde:

e_m = Espesor del material

e_s = Espesor de la sobremonta

$e = 12 \text{ mm} + 2 \text{ mm}$

$e = 14 \text{ mm}$

De ahí que:

Espesor Total a Radiografiar mm	Fuente de Energía KV
14	160

Con estos valores se procede a observar en la **Tabla 4.14** el tiempo de exposición del diagrama t_c para luego determinar el tiempo de exposición $t_{\text{exposición}}$, como sigue a continuación.

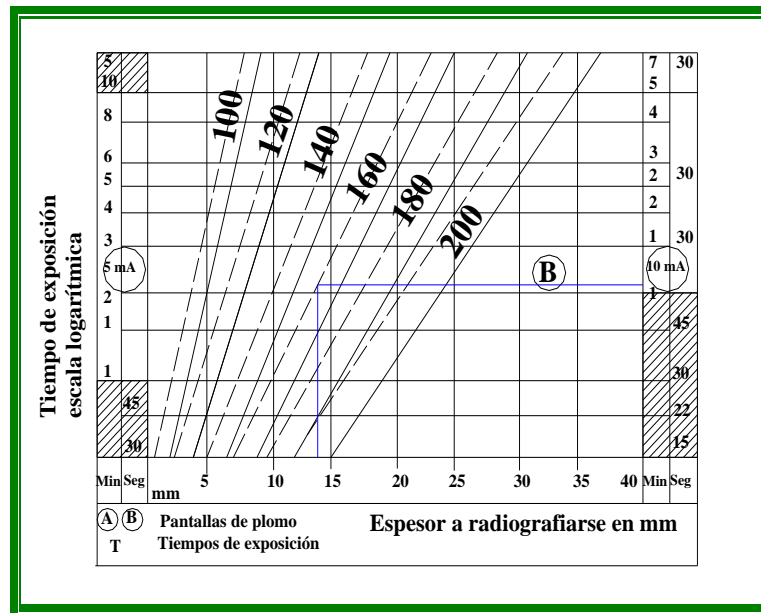


TABLA 4.14, OBTENCIÓN DEL TIEMPO DE EXPOSICIÓN DE UNA FALTA DE PENETRACIÓN.

Como se puede ver en la **Tabla 4.14** el tiempo de exposición del diagrama es:

$t_c = 1 \text{ min } 30 \text{ seg.}$ como la escala de segundos es logarítmica se procede a sacar el Log

30, entonces el tiempo real t_c será:

$t_c = 1 \text{ min } 5 \text{ seg.}$

$t_c = 1.5$

Entonces el tiempo de exposición $t_{\text{exposición}}$ será para el caso de **Falta de Penetración**:

$$t_{\text{expos}} = t_c * f_n * f_p * f_D * f_v$$

$$t_{\text{expos}} = 1.5 * 2.2 * 1.4 * 0.5 * 1$$

$$t_{\text{expos}} = 2.31 \text{ min.}$$

Pero 0.31 min transformamos a segundos multiplicando por 60

$$0.31 * 60 = 19 \text{ seg.}$$

$$t_{\text{expos}} = 2.19$$

Ahora se procede a elegir la calidad de película ICI

La calidad es medida en parámetros ICI que es el índice de calidad de la imagen.

Para elegir el índice de calidad ICI se retomamos a la **Tabla 4.8** descrita anteriormente, y con

el valor de:

$$e = e_m + e_s$$

$$e = 14 \text{ mm}$$

Con este valor vamos a la **Tabla 4.15** y se elige la calidad ICI.

Espesor de Placa soldada Versus Espesor de Penetración				
Espesor de Soldadura y Placa		Espesor Máximo de Penetración		Número de calidad ICI
Pulgadas	Milímetros	Pulgadas	Milímetros	
0-1/4	0-6.35	0.005	0.127	5
>1/4-3/8	>6.35-9.52	0.0075	0.19	7
>3/8-1/2	>9.52-12.7	0.01	0.254	10
>1/2-5/8	>12.7-15.88	0.0125	0.317	12
>5/8-3/4	>15.88-19.05	0.015	0.381	15
>3/4-7/8	>19.05-22.22	0.0175	0.444	17
>7/8-1	>22.22-25.40	0.02	0.508	20
>1-1 1/4	>25.40-37.75	0.025	0.635	25
>1 1/4-1 1/2	>31.75-38.10	0.03	0.762	30
>1 1/2-2	>38.10-50.80	0.035	0.889	35

TABLA 4.15, OBTENCIÓN DE LA CALIDAD ICI DE LA FALTA DE PENETRACIÓN.

Como se ve en la tabla la calidad ICI para la **Falta de Penetración** viene dado por:

ICI N° 12

De esta forma se obtiene los diferentes tiempos así como la calidad ICI en cada una de las probetas los mismos que se indican a continuación:

Probeta	Espesor Total a Radiografiar	Fuente de Energía	Tiempo de Exposición	Calidad ICI
	(mm)	(Kv)	t exp. (min)	N°
Falta de Penetración	14	160	2,19	12
Mordeduras	15	160	2,42	12
Fisuras Transversales	16	160	3	15
Escorias	15,5	160	2,32	12
Penetración Excesiva	17	160	3,51	15
Poros.	15	160	2,42	12
Inclusión de Tungsteno	15	160	2,42	12
Fisuras con Cobre (Cu)	15	160	2,42	12
Falta de Fusión	14	160	2,19	12
Quemón	15	160	2,42	12

TABLA . 4.16, TIEMPO DE EXPOSICIÓN Y CALIDAD ICI DE CADA PROBETA .

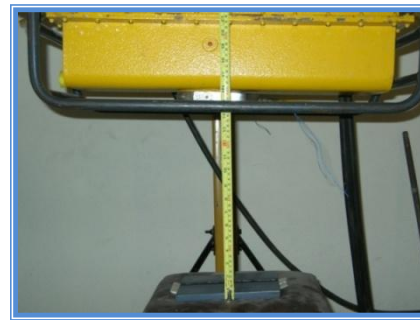


Fig. 4.15, Cuarto de Rayos X.

Fig. 4.16, Distancia Foco emisor - Película

- Se procede a fijar la distancia fuente película a 50cm y a centrar el cordón de soldadura con relación al foco del emisor. Ver Fig. 4.17.



Fig. 4.17, Centrado y alineamiento de la película.

5. Se realiza la exposición para las diferentes probetas con los tiempos indicados anteriormente. Esto se puede apreciar mejor en la siguiente figura:

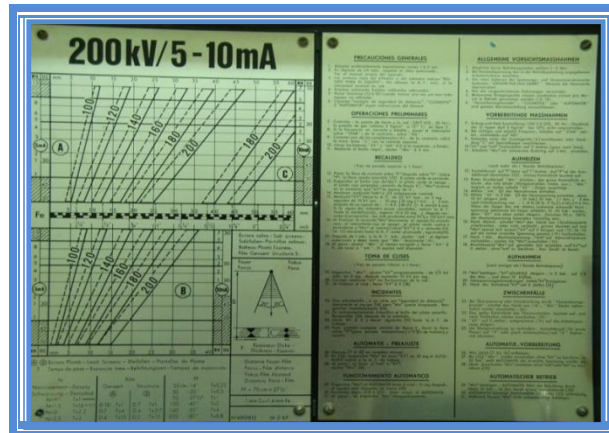


Fig. 4.18, Placa de Datos para la exposición.

6. Se procede al revelado, el mismo que consta de los siguientes pasos:

a.- Baño Revelador .- Se sumerge en un baño revelado a 20°C por un período de 5 min. En este paso se usó un revelador industrial tipo **R X - 1**, el porcentaje que se vertió es de 5 ml. en una tina llena con 3 lts. de agua.

b.- Baño de Parada 1 a 2 min.

En este paso se baña la radiografía como la solución de parada, para detener la acción del revelador.

c.- Baño Fijador. 10 min.

El fijador industrial que se emplea es **FX - 1 TIPO A**, conjuntamente con otro fijador **FX - 1 TIPO B**, con el único propósito de endurecer la película y eliminar los residuos del fijador.

d.- Baño Final 20 min.

e.- Baño Humectante. 1 min.

Nota.- En el último baño puede emplearse unos 5 ml de Shampoo para eliminar las partículas químicas que se han adherido a la película durante el proceso de revelado.

7. Una vez realizado el revelado se procede al **Secado de las radiografías**, en este paso se utilizó un secador durante 45 min. este permite el perfecto secado de las radiografías eliminando el agua contenida en ella.

Nota.- Tanto el revelado como el secado se hizo en dos grupos de 5 radiografías, ya que puede existir adherencia entre ellas y tener un revelado y secado deficiente lo que dificultaría el trabajo de interpretación de radiografías.

4.4 ANÁLISIS DE LAS PLACAS RADIOGRÁFICAS E IDENTIFICACIÓN DE LAS PROBETAS SEGÚN SUS DEFECTOS.

Probeta N° 01.- En la placa radiográfica se puede visualizar y observar una línea continua de color negro que se extiende a todo lo largo de la probeta y del cordón, esto se debe a que el arco eléctrico de la soldadura no llegó a fundir en este caso la raíz de la probeta es por ello no hubo soldadura de unión, así que se puede decir que el defecto que se encuentra presente en la probeta es “**Falta de Penetración**” que es el más predomina en esta probeta.



Fig. 4.19, Probeta N° 01: Falta de Penetración.

Probeta N° 02. En esta probeta se observa dos tipos de defectos: poros (esférulas de color negro) y también mordeduras que son las que tienen mayor presencia (A lo largo de los flancos de soldadura) se procede a caracterizarla como un defecto del tipo “**Mordedura**” ya que el arco eléctrico no ha llegado a fundir totalmente los flancos de la probeta.

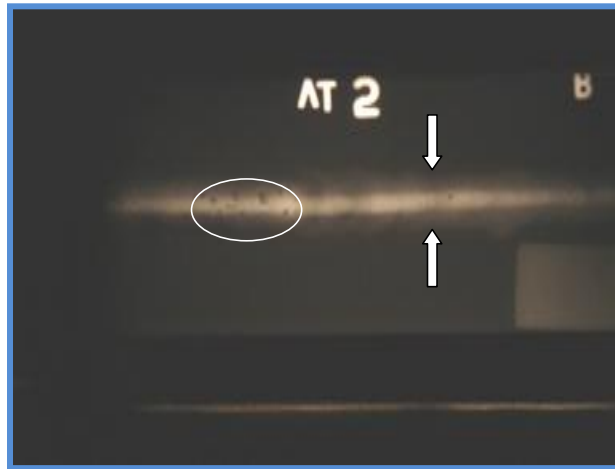


Fig. 4.20, Probeta N° 02: Mordeduras

Probeta N° 03.- Se puede observar claramente la presencia de dos tipos de defectos: poros (esférulas de color negro) presentes en todo el cordón y unas pequeñas líneas de color negro intenso que se las define como “**Fisuras Transversales**”, que seguramente se han producido debido a un método de enfriamiento brusco en el proceso de soldadura.

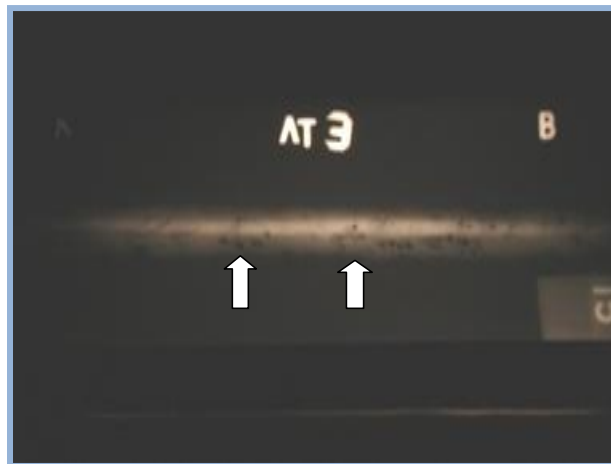


Fig. 4.21, Probeta N° 03: Fisuras Transversales.

Probeta N° 04.- Se observa la presencia de esférulas de color negro de forma irregular y de gran tamaño, y además una falta de continuidad del cordón de soldadura, pero que son los que mayor presencia tienen en la probeta, por esta característica de gran tamaño se descarta que puedan ser poros y se toma otro concepto el de “Escorias”.



Fig. 4.22, Probeta N° 04: Escorias

Probeta N° 05.- En esta probeta es claramente visible la presencia de un cordón muy abultado y de gran espesor de color blanco muy intenso, especialmente en la raíz de la probeta sin discusión se procede a caracterizarla como una “Penetración Excesiva”.



Fig. 4.23, Probeta N° 05: Penetración Excesiva.

Probeta N° 06.- Se puede observar claramente una especie de esférulas de color negro presentes en una zona del cordón de soldadura y de tamaño muy pequeño que se han formado durante un proceso de soldadura, es por ello que el defecto que se designa a esta probeta será con el nombre de “**Poros**” muy claramente visibles en la probeta.



Fig. 4.24, Probeta N° 06: Poros.

Probeta N° 07.- Se nota la presencia de especie de barra totalmente extraña al cordón de color blanquecino muy intenso y que es el que más interesa en esta probeta, sin duda alguna este defecto pertenece a una “**Inclusión**”.

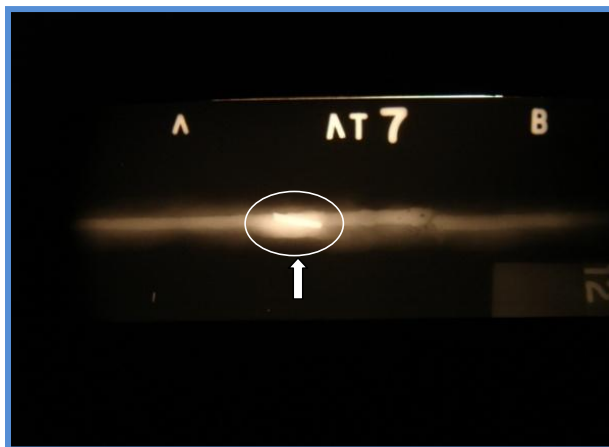


Fig. 4.25, Probeta N° 07: Inclusión.

Probeta N° 08.- Se puede observar que el cordón presenta una línea muy finísima en una zona casi no se la puede ver, pero que se encuentra presente que la define como una “**Fisura**” de muy baja intensidad.

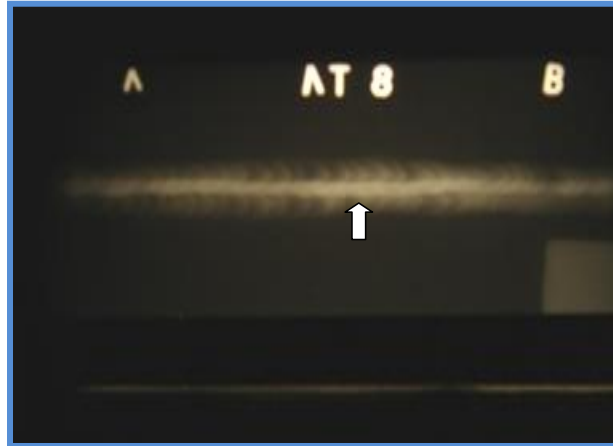


Fig. 4.26, Probeta N° 08: Fisuras.

Probeta N° 09.- Se puede apreciar en esta probeta que los bordes de la soldadura presentan una discontinuidad en toda su longitud, dejando visibles los bordes de la probeta casi sin llegarla a fundirla, seguramente debido a que el arco de soldadura no llegó a ser el deseado y formando el defecto de “**Falta de Fusión**” que en este caso se presenta en la cara superior de la probeta.

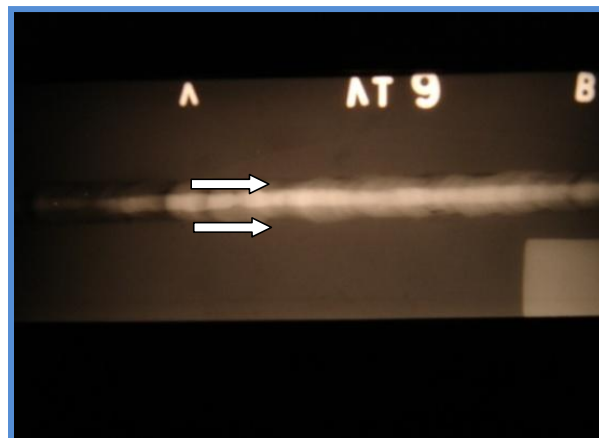


Fig. 4.27, Probeta N° 09: Falta de Fusión.

Probeta N° 10.- En la figura anterior se observa la presencia de dos esférulas de gran tamaño (color negro) que de paso descarta la posibilidad de que sean poros e inclusiones, y que dan una cercanía a que el defecto presente en este caso se trata de un “**Q u e m ó n**”.

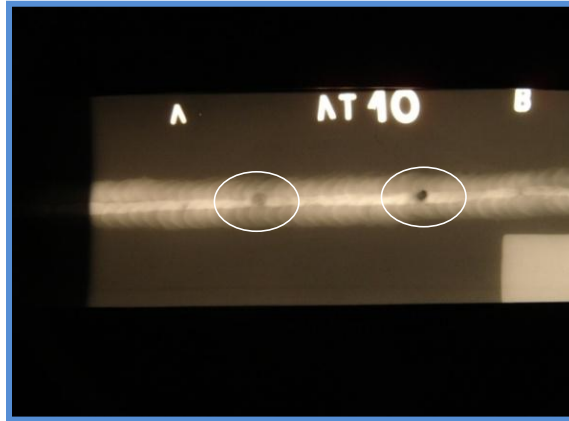


Fig. 4.28, Probeta N° 10: Quemones.

4.5 INSPECCIÓN ULTRASÓNICA DE LAS PROBETAS

Se ha llegado a la parte más importante del estudio que es la inspección ultrasónica de las probetas, la misma que permitirá obtener las indicaciones correspondientes que deberán ser caracterizadas para determinar la naturaleza de los defectos. Seguidamente se calibra el equipo con el haz de entrada y salida verdadero del palpador, y así obtener nuestra distancia de recorrido en pantalla, como se visualiza a continuación:

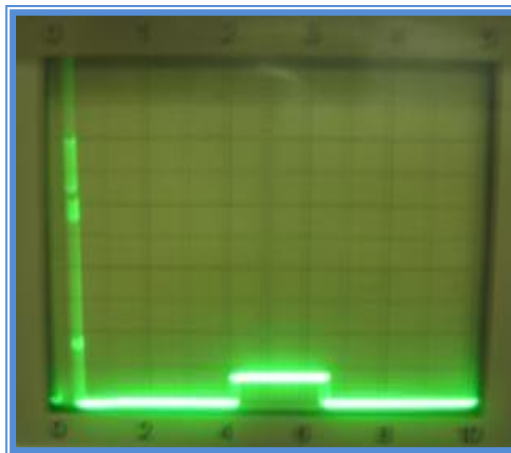


Fig. 4.29, Distancia de recorrido del haz ultrasónico.

4.5.1 OBTENCIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN AMPLITUD - DISTANCIA (DAC)

Para ello se procede a la obtención de las curvas **DAC** (Curvas de Amplitud Distancia), que sirven de mucha ayuda para conocer si la señal emitida por el equipo es verdaderamente una heterogeneidad o defecto, o tan solo una señal o indicación con relación a la señal emitida por un agujero previamente elaborado en la placa patrón (defecto).

Para la construcción de estas curvas se emplea para su trazado las respuestas obtenidas a partir de los taladros de referencia. Para ello se procede a construir un bloque patrón en el que se realiza pequeños agujeros ($1/16$ in recomendada por la Normas ASME) a determinadas distancia medidas desde el nivel superior de la placa; y, el barrido que realiza con el palpador se muestra en la siguiente figura:

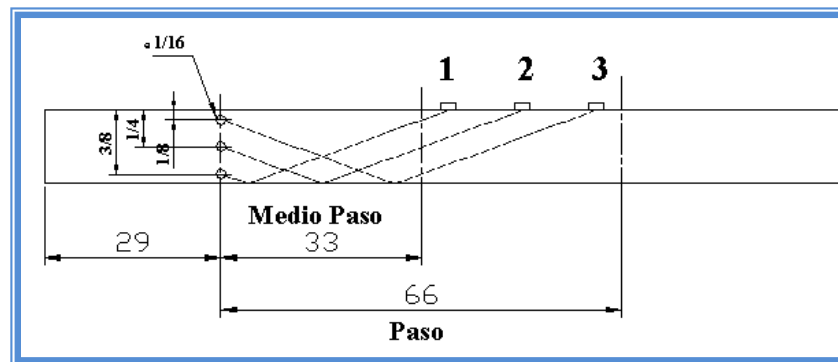


Fig. 4.30, Elaboración de agujeros de $1/16$ in en la placa patrón, medidos desde la parte superior de la placa.

A continuación se busca el eco máximo de los taladros de referencia y se lleva hasta una ganancia apropiada y visible en pantalla.

Con esta indicación se puede observar que el mayor pico obtenido en la calibración del equipo posee un número de decibeles de **46 dB**, mostrando una altura de pantalla lo bastante aceptable para la construcción de las curvas **DAC**.

Para efectos de estudio también se procede a trabajar con una ganancia de **50 dB** es decir mayor a obtenida en los agujeros de la placa patrón, y por ende, con una ganancia menor correspondiente a **40 dB**, es decir por debajo de la ganancia patrón.

Posteriormente se procede a elaborar las curvas DAC que se obtuvieron en el laboratorio de ultrasonidos, con los siguientes datos:

Diámetro de
agujero = 1/16
in

Profundidad de agujero (Medidos de la superficie superior de la placa patrón) (in)	Número de Decibels								
	40 dB			46 dB			50 dB		
	Punto de Barrido	Altura en Pantalla	Distancia de recorrido	Punto de Barrido	Altura en Pantalla	Distancia de recorrido	Punto de Barrido	Altura en Pantalla	Distancia de recorrido
	(in)	(%)	(mm)	(in)	(%)	(mm)	(in)	(%)	(mm)
3/8	1	26	44	1	80	47	1		
1/4	2	16	50	2	60	52	2	100	52
1/8	3	10	62	3	30	62	3	68	62

Tabla 4.17, Altura de señal en Pantalla obtenidas en la inspección, para la construcción de las Curvas DAC.

Con los datos de la tabla anterior se procede a crear las curvas DAC correspondientes:

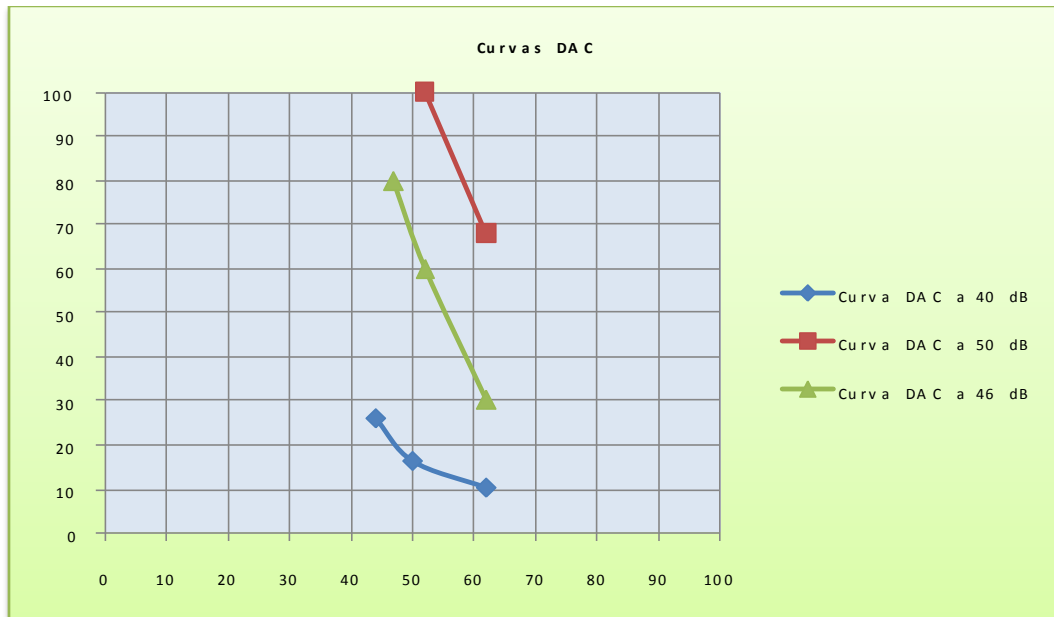


Fig. 4.31, CURVA DAC CARACTERÍSTICA

Con la construcción de las curvas DAC obtenidas se puede obtener el primer parámetro para caracterizar cada uno de los defectos, y consiste en comparar estas curvas con las curvas obtenidas en cada defecto; y, deducir si corresponde o no a un defecto, y si su tamaño es menor o mayor al tamaño del defecto patrón que es de 1/16 in.

4.5.2 INSPECCIÓN DE PROBETAS.

Para la inspección ultrasónica se toma en consideración la **Forma del Defecto** (forma plana, esférica y cilíndrica) y **Tres Movimientos** muy importantes:

- **Movimiento Transversal.**
- **Movimiento Lateral.**
- **Movimiento Rotacional.**

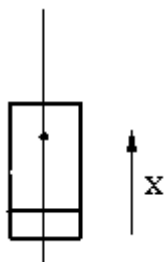


Fig. 4.32

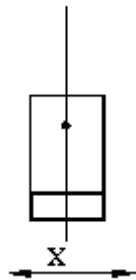


Fig. 4.33

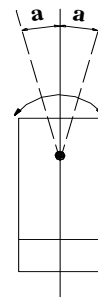


Fig. 4.34

4.5.2.1 Inspección ultrasónica de la probeta que presenta como defecto un QUEMÓN.

Una vez calibrado el equipo, según el procedimiento explicado, se procede al barrido, tomando como referencia la radiografía mostrada en la Fig. 4.28.

Y luego de ello seleccionar las zonas de inspección para cada una de las probetas como se indica a continuación. Ver Fig. 4.35.

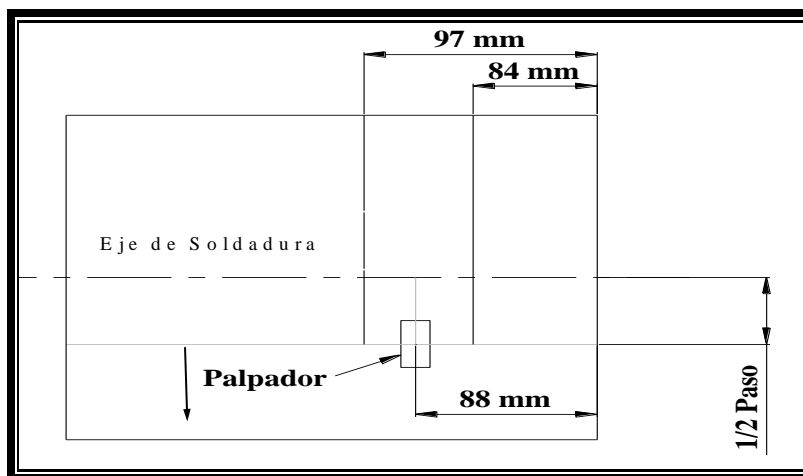


Fig. 4.35, Área de inspección de la probeta que contiene un Quemón (97 - 84 mm).

Desplazamiento Transversal.



Con el movimiento transversal se determina la profundidad a la que se halla el defecto que es de 12 mm, que indica que se encuentra en la raíz de la probeta.

Siguiendo el procedimiento ultrasónico se trabajará con en el equipo de ultrasonidos con **20 dB** (decibeles) de ganancia fina y **20 dB** de ganancia gruesa (Ganancia Total **40 dB**). Se parte desde el primer punto de referencia para luego describir que es lo que sucede en el desplazamiento transversal del palpador como se muestra a continuación:

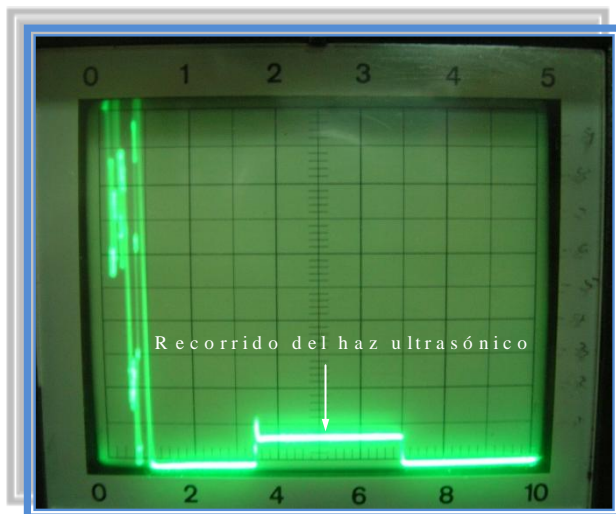


Fig. 4.36

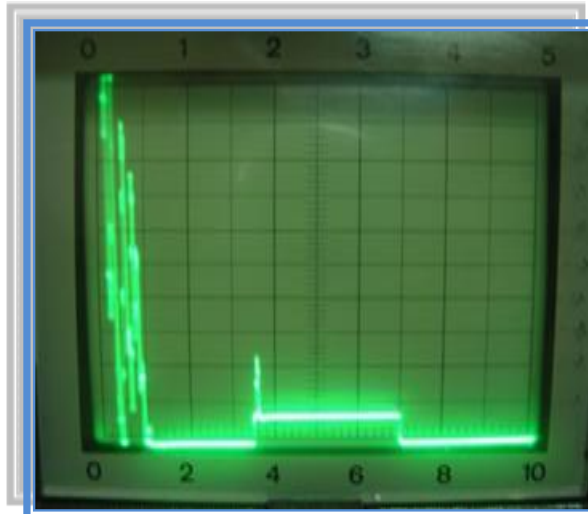


Fig. 4.37

1. En la Fig. 4.36, se muestra claramente un pico muy pequeño, el mismo que empieza en 35 m m . y aproximadamente 13 % de altura de pantalla.

Si esta medida de recorrido del haz de 35 m m . Se la traslada a la regleta descrita anteriormente, se observa que el quemón se encuentra a una profundidad de 12 m m . y a una distancia de 33 m m . (V er Fig. 4.38)

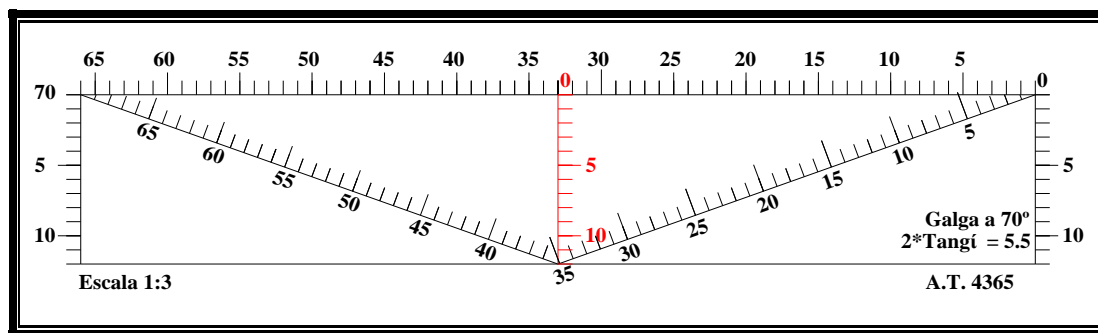


Fig. 4.38, Regleta indicando a que distancia se encuentra el defecto.

2. En la Fig. 4.37, se muestra el aumento de pico ahora ya en 36 m m . y 24 % de altura de pico. Si esta medida de recorrido del haz de 36 m m . Se la traslada a la regleta, se observa que el quemón se encuentra a una profundidad de 11.5 m m que indica que sigue en la raíz de la junta y a una distancia del frente del palpador de 34.1 m m .

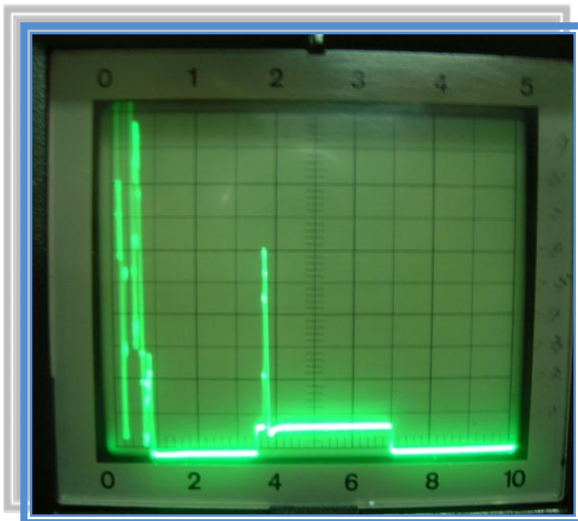


Fig. 4.39

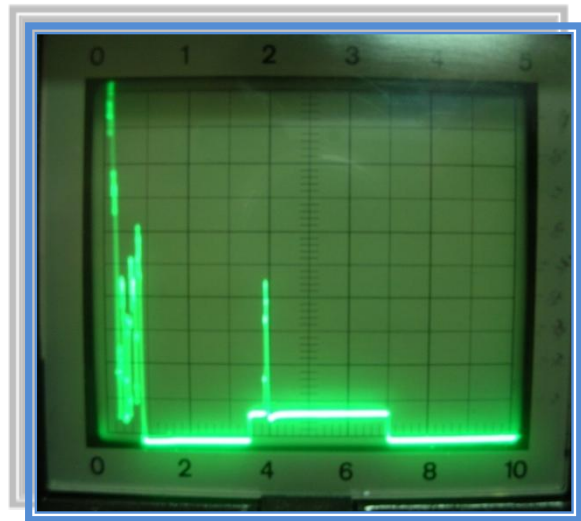


Fig. 4.40

3. En la Fig. 4.39, se muestra el aumento de pico en **38 m m .** y **60 %** de altura, y a la vez que indica la presencia de un pico máximo. Si esta medida de recorrido del haz de **38 m m .** se la traslada a la regleta, se observa que el quemón se encuentra a una profundidad de **10.8 m m** aproximadamente y localizada a una distancia de **36 m m .**
4. En la Fig. 4.40, se muestra la caída del pico en **40 m m** a un **45 %** de su altura. Si esta medida de recorrido del haz de **40 m m .** se la traslada a la regleta se observa que el quemón se encuentra a una profundidad de **10.2 m m** aproximadamente y el palpador localizado a una distancia de **37.8 m m .**

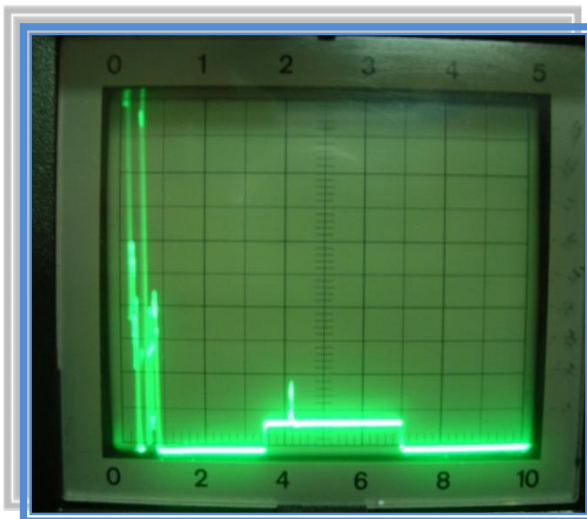


Fig. 4.41

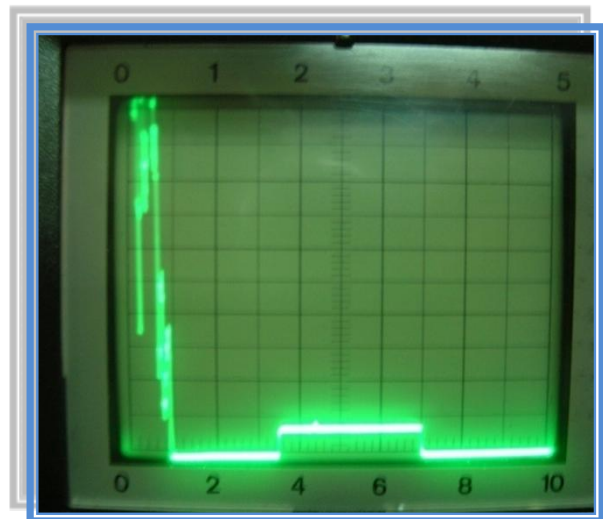


Fig. 4.42

5. En la Fig. 4.41, se sigue el palpador bajando y se observa que el pico desciende aun más, ahora este pico se encuentra en **42 m m .** y **18 %** de altura. Si esta medida de recorrido del haz de **42 m m .** se la traslada a la regleta, se observa que el quemón se encuentra a una profundidad de **9.5 m m** aproximadamente y el palpador localizado a una distancia de **39.9 m m .**
6. En la Fig. 4.42, se desplaza hacia abajo el palpador y se observa que el pico desciende casi hasta desaparecer. Se muestra la caída del pico hasta un nivel muy bajo en **44 m m .** y **9 %** de altura.

Desplazamiento Lateral. 

El recorrido que realiza el palpador se observa en la Fig. 4.35 cuyo desplazamiento tendrá comienzo a 88 m m desde el borde derecho de la probeta y se procede a **desplazar el palpador a la derecha** hasta llegar a 84 m m , ese es el recorrido lateral.

Es así que se observa una secuencia de fotografías que indican lo que se obtuvo en este movimiento, recordando siempre que el palpador debe desplazarse hacia la derecha:

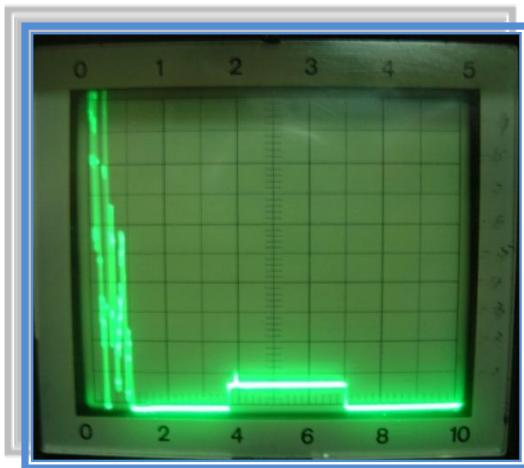


Fig. 4.43

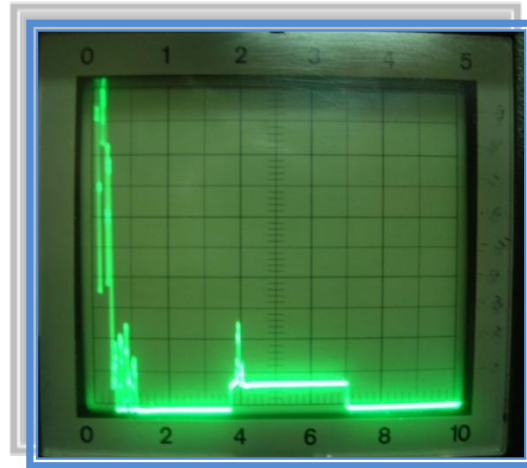


Fig. 4.44 a)

1. En la Fig. 4.43, se muestra el primer pico que aparece a **39 m m .** y **10 %** de altura de pantalla. Si esta medida de recorrido del haz de **39 m m .** se la traslada a la regleta, se

observa que el quemón se encuentra a una profundidad de **10.5 m m** aproximadamente y el palpador localizado a una distancia de **37 m m**.

- En la **Fig. 4.44 a)**, se muestra el segundo pico acompañado de otros alrededor de este y aparece a **40 m m** y **26%** de altura, además es el pico de mayor altura por lo que en la **Fig. 4.44 b)**, se ha aumentado la ganancia a **40 dB**. Si esta medida de recorrido del haz de **40 m m** se la traslada a la regleta, se observa que el quemón se encuentra a una profundidad de **10.2 m m** aproximadamente y el palpador localizado a una distancia de **37.8 m m**.

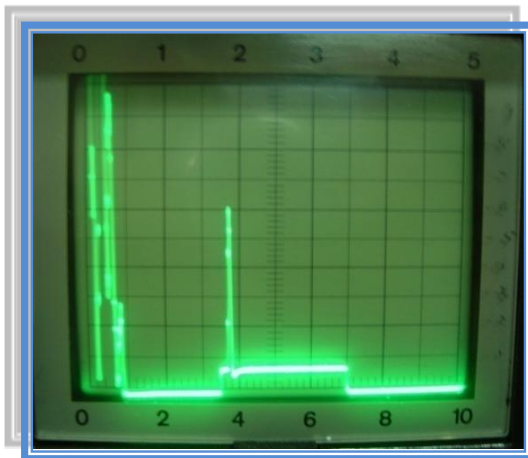


Fig. 4.44 b)

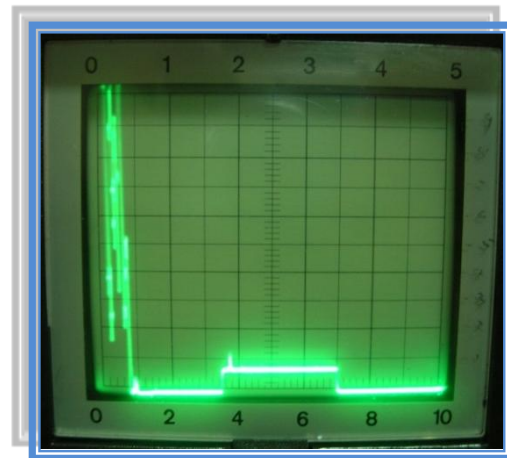


Fig. 4.45

- Se sigue avanzando a la derecha y se observa que el pico tiende a disminuir su tamaño casi hasta desaparecer. En la **Fig. 4.45**, se muestra el tercer pico que aparece a **41 m m** y **10%** de altura de pantalla. Si esta medida de recorrido del haz de **41 m m** se la traslada a la regleta, se observa que el quemón se encuentra a una profundidad de **10 m m** aproximadamente y el palpador localizado a una distancia de **38.9 m m**.

Desplazamiento Rotacional.



En el desplazamiento rotacional se puede verificar que el defecto es esférico. Esto se comprueba una vez que se observa el pico máximo en pantalla, luego se procede a girar el palpador a la derecha e izquierda respectivamente, donde se observa una secuencia de fotografías como se indica a continuación:

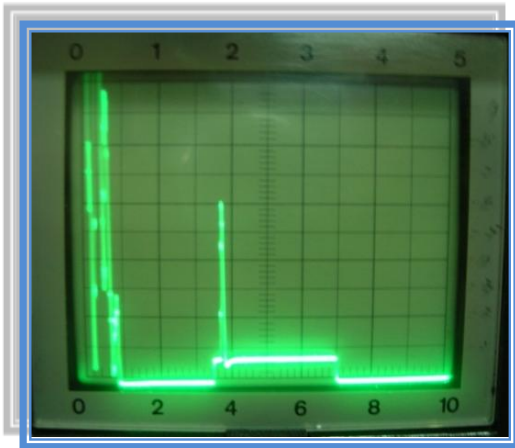


Fig. 4.46

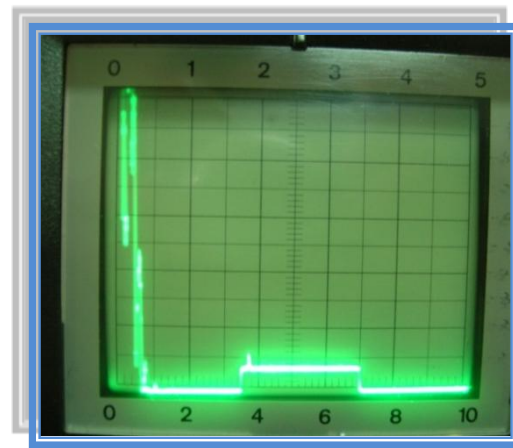


Fig. 4.47

1. En la Fig. 4.46 y Fig. 4.48, se muestra el mayor pico que aparece a **38 m m .** y **60 %** de altura de pantalla que es nuestro punto de referencia.
2. En la Fig. 4.47, se muestra el desplazamiento del palpador a lado izquierdo donde se ve claramente que el pico cae rápidamente en **37 m m .** y **12 %** de altura de pantalla. Si esta medida de recorrido del haz de **37 m m .** se la traslada a la regleta, se observa que el quemón se encuentra a una profundidad de **11.4 m m** aproximadamente y el palpador localizado a una distancia de **35 m m .**

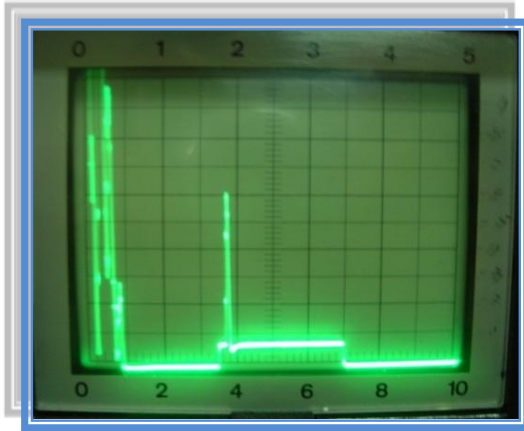


Fig. 4.48

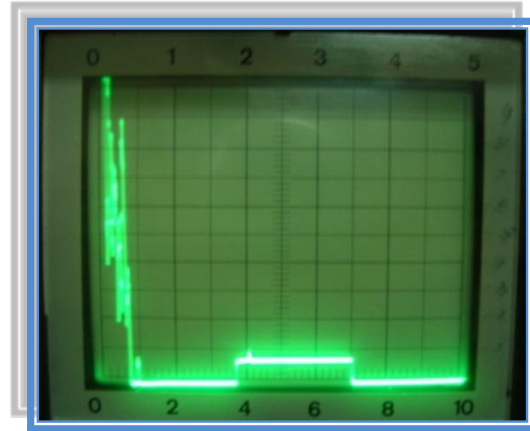


Fig. 4.49

3. En la Fig. 4.49, se muestra el desplazamiento del palpador a lado derecho donde se ve claramente que el pico cae rápidamente en **38.5 m m .** y **12 %** de altura.

Si esta medida de recorrido del haz de **38.5 m m .** se la traslada a la regleta, se observa que el quemón se encuentra a una profundidad de **11 m m** aproximadamente y el palpador localizado a una distancia de **36.2 m m**. El ángulo que se ha girado tanto a la derecha como a la izquierda se lo ha medido de la probeta. Ver Fig. 4.50

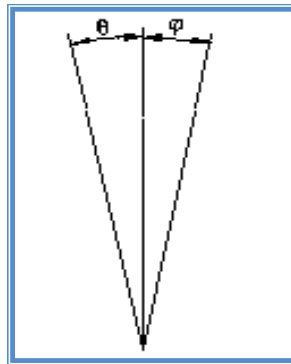


Fig. 4.50, Ángulo de rotación del palpador.

donde:

$$\varphi = 6^\circ$$

$$\theta = 11^\circ$$

Analizando las indicaciones que aparecen en la pantalla del equipo de ultrasonidos, se puede notar que no tiene picos muy altos a pesar de lo elevado de la ganancia, y; además descienden rápidamente.

Nota.- Para no volver el proceso de caracterización muy repetitivo en la visualización y toma fotográfica de imágenes, se procede a publicar solamente las imágenes que cambien en su forma de presentarse en pantalla y que sea diferente a la visualizada en el método anterior, con esto solo se ubica las fotografías más características de los diferentes tipos de defectos.

4.5.2.2 Inspección ultrasónica de la probeta que presenta como defecto una FALTA DE PENETRACIÓN.

Una vez que se ha seleccionado el número de decibeles (**48 dB**) del equipo ultrasónico, descrito anteriormente, se procede al barrido tomando como referencia la radiografía mostrada en la **Fig. 4.19**. Como la falta de penetración pertenece al tipo de **heterogeneidad plana**, para su caracterización se procede a efectuar los respectivos movimientos transversales, laterales y rotacionales. Ver **Fig. 4.51**

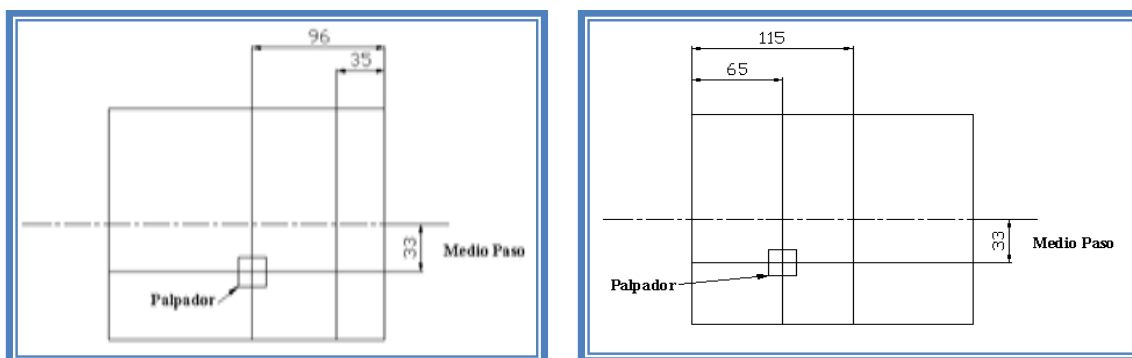


Fig. 4.51, Zona de desplazamiento del palpador en la Falta de Penetración.

Que luego de la inspección las curvas características que se obtienen son las siguientes:

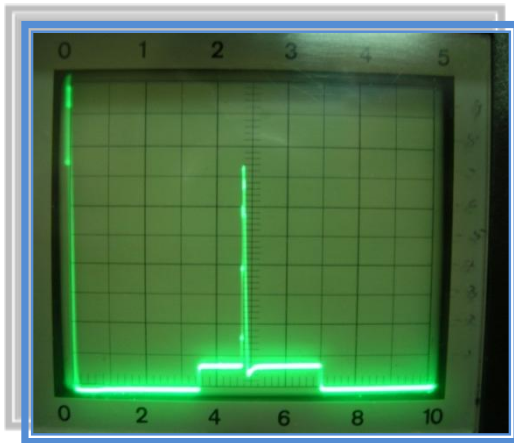


Fig. 4.52, Curva característica del Desplazamiento Transversal

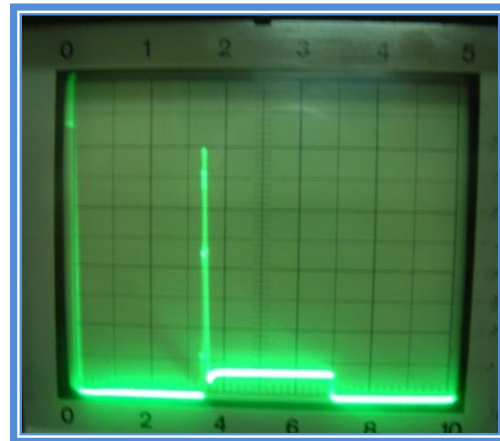


Fig. 4.53, Curva característica del Desplazamiento Lateral

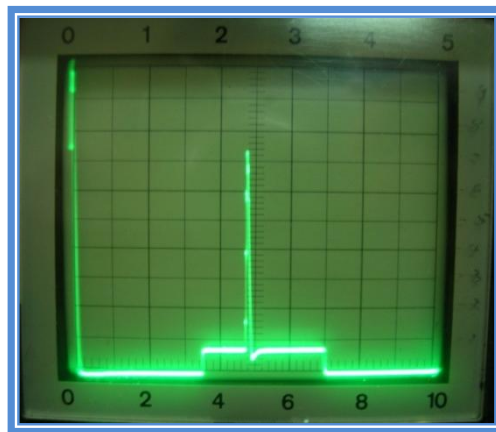


Fig. 4.54, Curva característica del Desplazamiento Rotacional

Se procede a elaborar una tabla en la que se aprecien todos los valores de recorrido del haz y altura de pantalla para cada uno de los desplazamientos:

FALTA DE PENETRACIÓN

Desplazamiento Transversal		Desplazamiento Lateral		Desplazamiento Rotacional	
Recorrido (mm)	Altura (%)	Recorrido (mm)	Altura (%)	Recorrido (mm)	Altura (%)
35	11	36	72	48	74
48	74	36	48	50	12
59	12	36	59	50	14

Tabla. 4.18, Señales más altas obtenidas en la Falta de Penetración.

El ángulo que se ha girado tanto a la derecha como a la izquierda se lo ha medido de la probeta. (Ver Fig. 4.55)

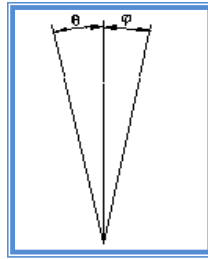


Fig. 4.55

donde:

$$\Phi = 7^\circ$$

$$\theta = 7^\circ$$

4.5.2.3 Inspección ultrasónica de la probeta que presenta como defecto un EXCESO DE PENETRACIÓN O PENETRACIÓN EXCESIVA.

Una vez que se ha seleccionado el número de decibeles (**40 dB**) del equipo ultrasónico, descrito anteriormente, se procede al barrido tomando como referencia la radiografía mostrada en la Fig. 4.23. Como el exceso de penetración pertenece al tipo de **heterogeneidad esférica**, para su caracterización se procede a efectuar los respectivos movimientos transversales, laterales y rotacionales. Ver Fig. 4.56

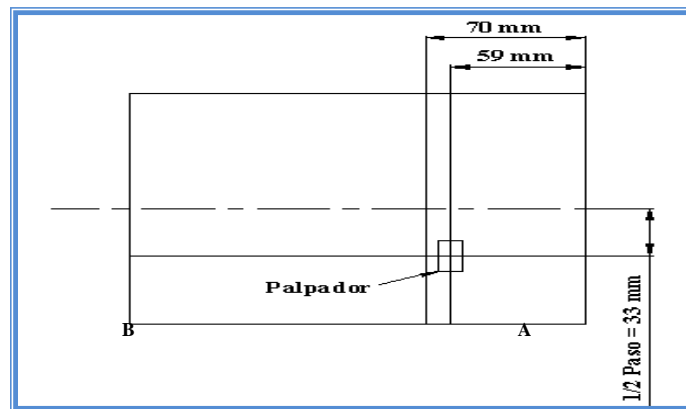


Fig. 4.56, Área a ser inspeccionada en la probeta con Penetración Excesiva (59 - 70 mm).

Para la inspección se toma un tramo del cordón y cuya posición de inicio del palpador se encuentra ubicada a una distancia, de 59 mm medido desde el borde derecho de la probeta.

Que luego de la inspección las curvas características que se obtienen son las siguientes:

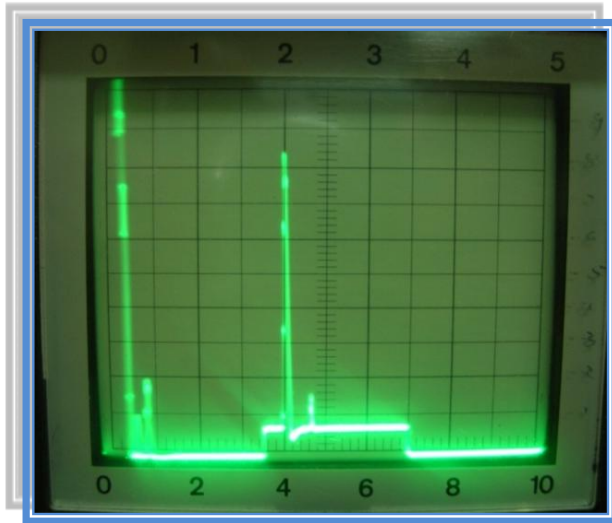


Fig. 4.57, Curva característica del Desplazamiento Transversal

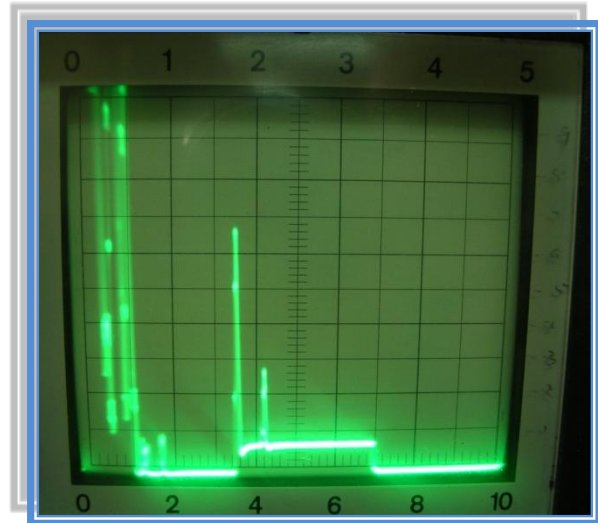


Fig. 4.58, Curva característica del Desplazamiento Lateral

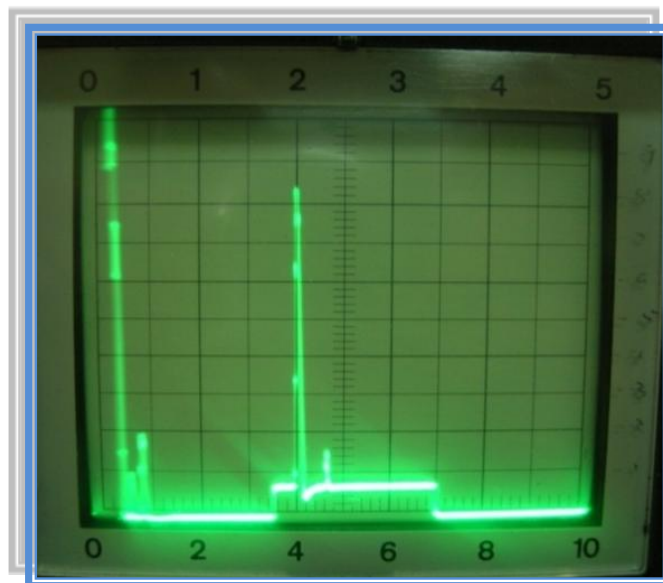


Fig. 4.59, Curva característica del Desplazamiento Rotacional

Se procede a elaborar una tabla en la que se aprecien todos los valores de recorrido del haz y altura de pantalla para cada uno de los desplazamientos:

PENETRACIÓN EXCESIVA

Desplazamiento				Desplazamiento				Desplazamiento			
Transversal				Lateral				Rotacional			
Recorrido (m m)		Altura (%)		Recorrido (m m)		Altura (%)		Recorrido (m m)		Altura (%)	
1ER. PICO	2DO. PICO	H1	H2	1ER. PICO	2DO. PICO	H1	H2	1ER. PICO	2DO. PICO	H1	H2
36	43	35	8	36	43	35	8	40	47	84	16
40	47	84	16	36	43	67	27	37	44	26	10
44	0	8	0	36	0	10	0	37	44	26	10

Tabla 4.19, Señales más altas obtenidas en la Penetración Excesiva.

El ángulo que se ha girado tanto a la derecha como a la izquierda se lo ha medido de la probeta. Ver Fig. 4.60

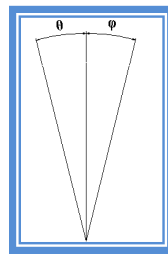


Fig. 4.60

Donde:

$$\varphi = 5.5^\circ \text{ y } \theta = 13^\circ$$

4.5.2.4 Inspección ultrasónica de la probeta que presenta como defecto una FALTA DE FUSIÓN

Una vez que se ha seleccionado el número de decibeles (46 dB) del equipo ultrasónico, descrito anteriormente, se procede al barrido tomando como referencia la radiografía mostrada en la Fig. 4.27. Como la falta de fusión pertenece al tipo de heterogeneidad plana, para su caracterización se procede a efectuar los respectivos movimientos transversales, laterales y rotacionales. Ver Fig. 4.61

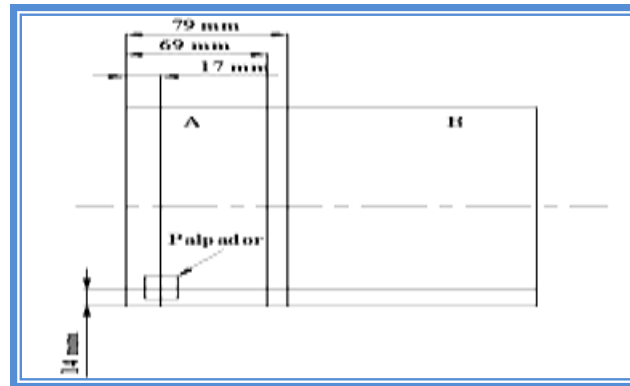


Fig. 4.61, Área a ser inspeccionada en la probeta con Falta de Fusión (17 - 79 mm).

Que luego de la inspección las curvas características que se obtienen son las siguientes:

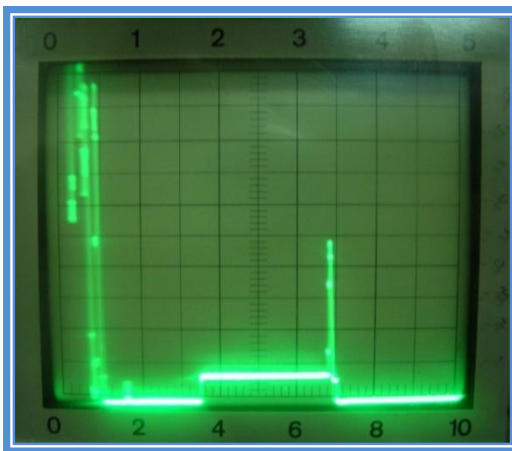


Fig. 4.62, Curva característica del Desplazamiento Transversal

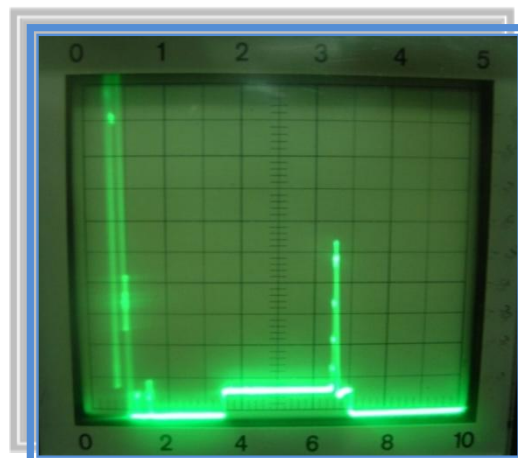


Fig. 4.63, Curva característica del Desplazamiento Lateral

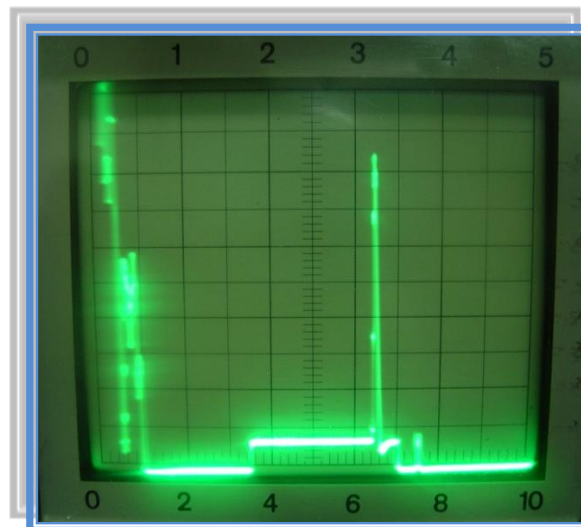


Fig. 4.64, Curva característica del Desplazamiento Rotacional

Se procede a elaborar una tabla en la que se aprecien todos los valores de recorrido del haz y altura de pantalla para cada uno de los desplazamientos:

FALTA DE FUSIÓN

Desplazamiento		Desplazamiento		Desplazamiento	
Transversal		Lateral		Rotacional	
Recorrido (m m)	Altura (%)	Recorrido (m m)	Altura (%)	Recorrido (m m)	Altura (%)
70	15	65	11	65	84
66	50	65	54	64	10
63	8	65	15	66	10

Tabla 4.20, Señales más altas obtenidas en la Falta de Fusión.

El ángulo que se ha girado tanto a la derecha como a la izquierda se lo ha medido de la probeta. Ver Fig. 4.65

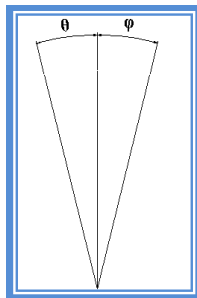


Fig. 4.65

Donde: $\varphi = 34^\circ$ y $\theta = 39^\circ$

4.5.2.5 Inspección ultrasónica de la probeta que presenta como defecto ESCORIAS.

Una vez que se ha seleccionado el número de decibeles (**40 dB**) del equipo ultrasónico, descrito anteriormente, se procede al barrido tomando como referencia la radiografía mostrada en la Fig. 4.22. Como las escorias pertenecen al tipo de **heterogeneidad esférico**, para su caracterización se procede a efectuar los respectivos movimientos transversales, laterales y rotacionales. Ver Fig. 4.66

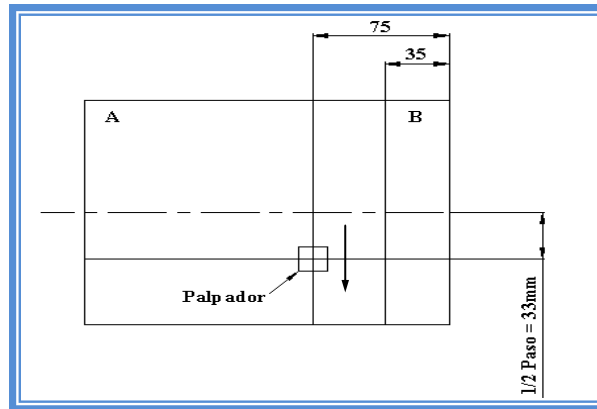


Fig. 4.66, Área a ser inspeccionada en la probeta con Escorias (75 - 35mm).

Que luego de la inspección las curvas características que se obtienen son las siguientes:

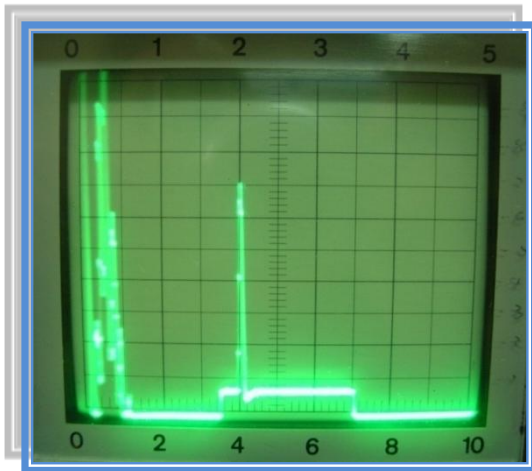


Fig. 4.67, Curva característica del Desplazamiento Transversal

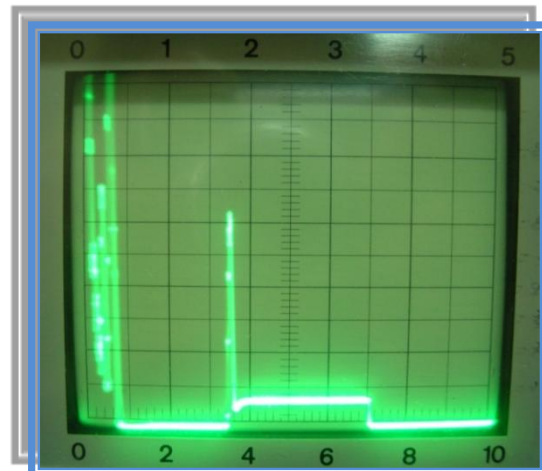


Fig. 4.68, Curva característica del Desplazamiento Lateral

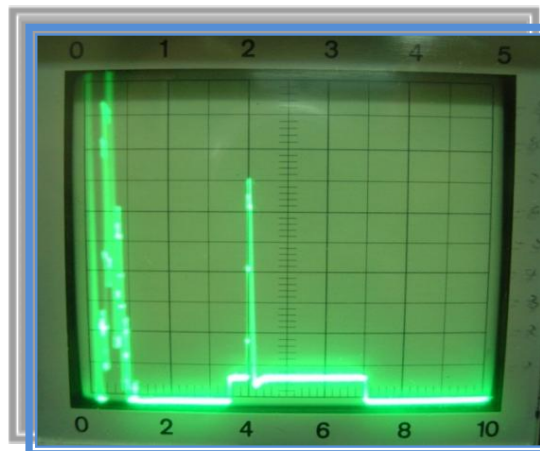


Fig. 4.69, Curva característica del Desplazamiento Rotacional

Se procede a elaborar una tabla en la que se aprecien todos los valores de recorrido del haz y altura de pantalla para cada uno de los desplazamientos:

ESCORIAS

Desplazamiento		Desplazamiento				Desplazamiento			
Transversal		Lateral				Rotacional			
Recorrido (m m)	Altura (%)	Recorrido (m m)		Altura (%)		Recorrido (m m)		Altura (%)	
		1ER. PICO	2DO. PICO	H 1	H 2	1ER. PICO	2DO. PICO	H 1	H 2
35	15								
40	70	38	36	12	6	40		70	
50	18	38	36	20	62	38	40	6	13
		38	36	6	13	38	40	25	21
						38	40	8	14

Tabla 4.21, Señales más altas obtenidas en la Escorias.

El ángulo que se ha girado tanto a la derecha como a la izquierda se lo ha medido de la probeta. Ver Fig. 4.70

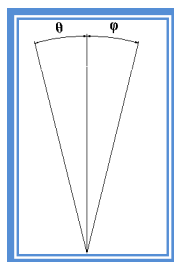


Fig. 4.70

Donde:

$$\varphi = 37^\circ$$

$$\theta = 37^\circ$$

4.5.2.6 Inspección ultrasónica de la probeta que presenta como defecto

MORDEDURAS

En la inspección de este defecto se tiene que realizar una pequeña comprobación en la medida que se pretende tomar como primer punto de referencia; ya que las diversas

señales que se observa en pantalla no permite definir cual de ellas es la correcta, para ello se realiza el siguiente análisis, Ver Fig. 4.71

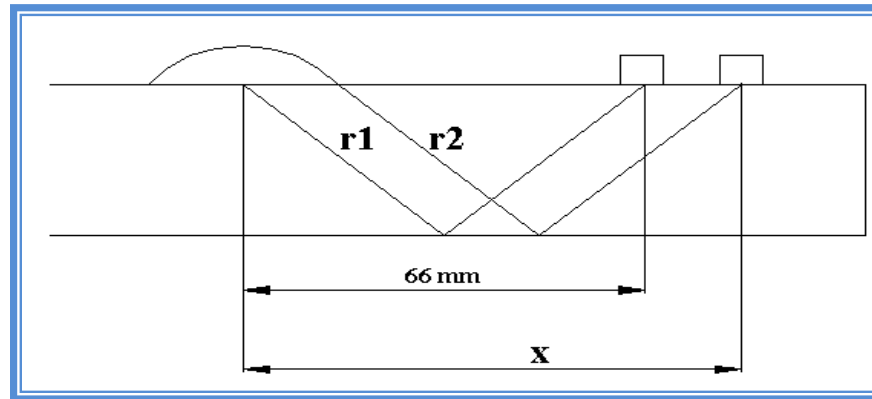


Fig. 4.71, Proyección del haz ultrasónico a lo largo del cordón de soldadura.

De ahí que:

r_1 = recorrido del haz correspondiente a 66 m m . (Paso) = 70 m m

r_2 = recorrido del haz visualizado en pantalla = 74 m m .

x_1 = medida aproximada a ser comparada con la obtenida en el cálculo. = 70 m m

$$\frac{70 \text{ m m}}{74 \text{ m m}} = \frac{66 \text{ m m}}{x}$$

$$x = \frac{74 * 66}{70} = 70 \text{ mm}$$

$$x = 70 \text{ m m .}$$

Esta medida del valor de x se la comprueba con la medida tomada directamente de la placa x_1 y se observa que efectivamente las dos medidas concuerdan, lo que indica que el palpador esta enfocando justamente en la posición del defecto que se pretende caracterizar.

A más de esto para realizar su caracterización se la define anticipadamente como una heterogeneidad plana, y se usará un número de **50 dB**.

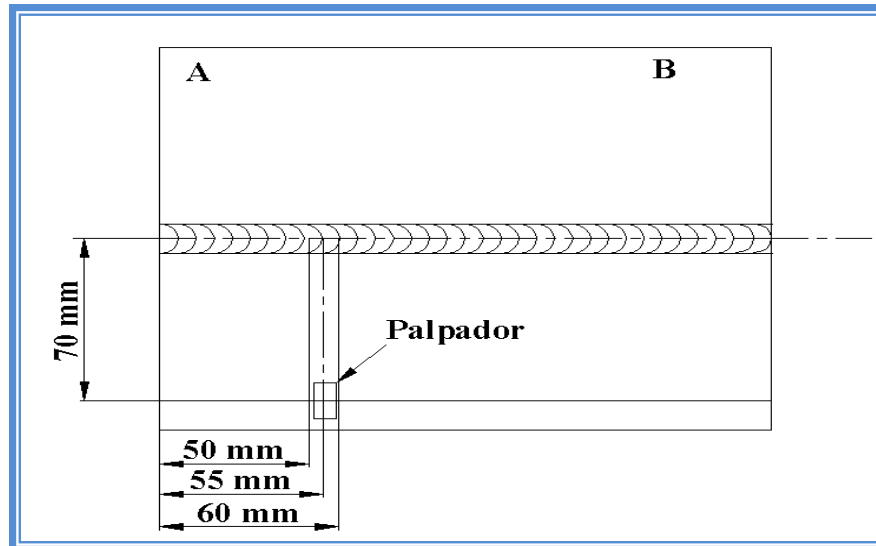


Fig. 4.72, Área de inspección de la probeta que contiene Mordeduras.

Se debe tener en cuenta que el primer punto de inicio del defecto muestra en el equipo el máximo pico (70 mm) mostrada en la figura anterior.

Que luego de la inspección las curvas características que se obtienen son las siguientes:

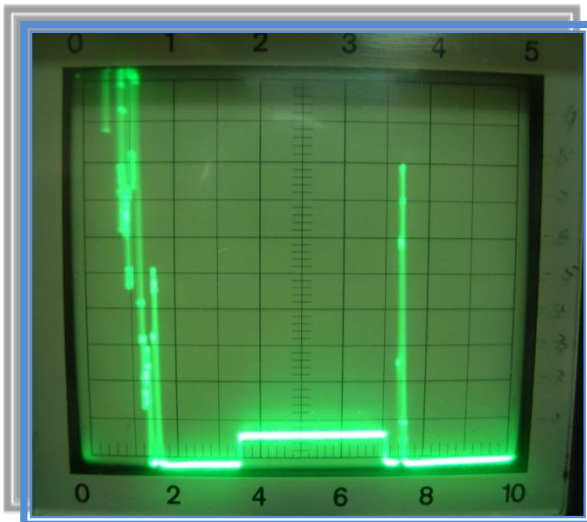


Fig. 4.73, Curva característica del Desplazamiento Transversal

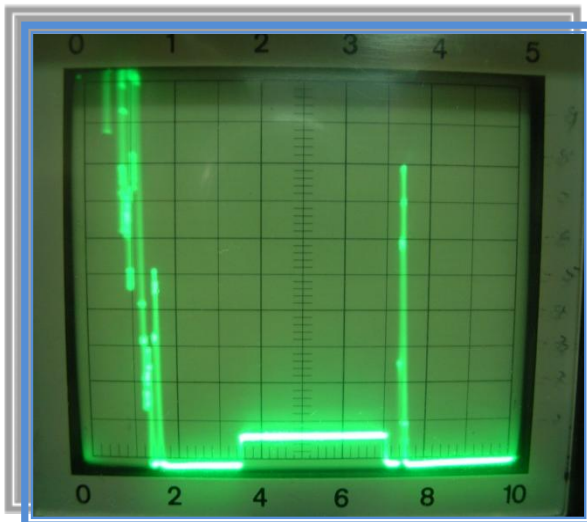


Fig. 4.74, Curva característica del Desplazamiento Lateral

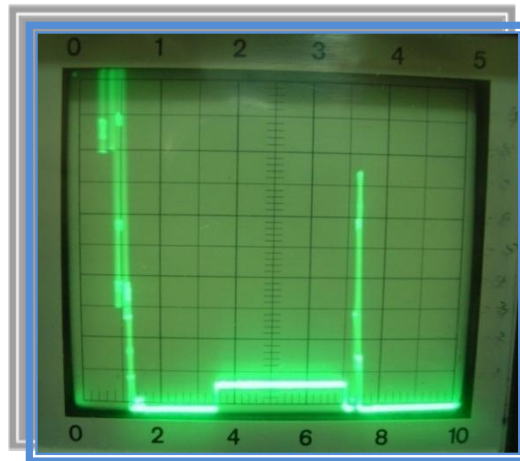


Fig. 4.75, Curva característica del Desplazamiento Rotacional

Se procede a elaborar una tabla en la que se aprecien todos los valores de recorrido del haz y altura de pantalla para cada uno de los desplazamientos:

MORDEDURAS

Desplazamiento Transversal		Desplazamiento Lateral		Desplazamiento Rotacional	
Recorrido (m m)	Altura (%)	Recorrido (m m)	Altura (%)	Recorrido (m m)	Altura (%)
75	80	74	14	74	80
73	4	74	80	74	6
74	34	75	10	74	9

Tabla 4.22, Señales más altas obtenidas en las Mordeduras.

El ángulo que se ha girado tanto a la derecha como a la izquierda se lo ha medido directamente de la probeta. Ver Fig. 4.76

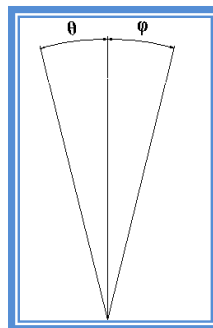


Fig. 4.76

Donde:

$$\varphi = 11^\circ \text{ y } \theta = 7^\circ$$

4.5.2.7 Inspección ultrasónica de la probeta que presenta como defecto P O R O S

Una vez que se ha seleccionado el número de decibeles (48 dB) del equipo ultrasónico, descrito anteriormente, se procede al barrido tomando como referencia la radiografía mostrada en la Fig. 4.24, como los poros pertenecen al tipo de **heterogeneidad esférico**, para su caracterización se procede a efectuar los respectivos movimientos transversales, laterales y rotacionales. Ver Fig. 4.77

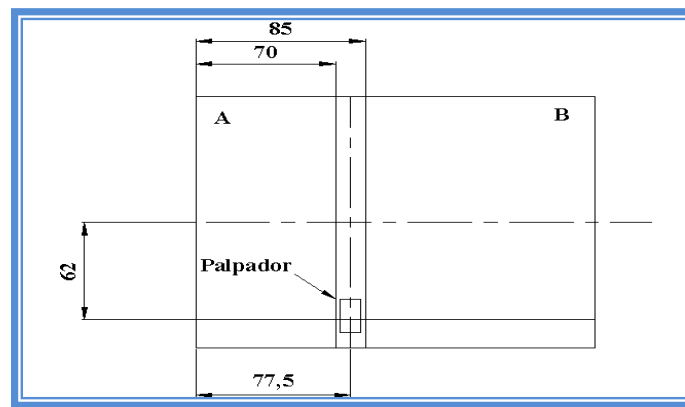


Fig. 4.77, Área de inspección de la probeta que contiene Poros.

Que luego de la inspección las curvas características que se obtienen son las siguientes:

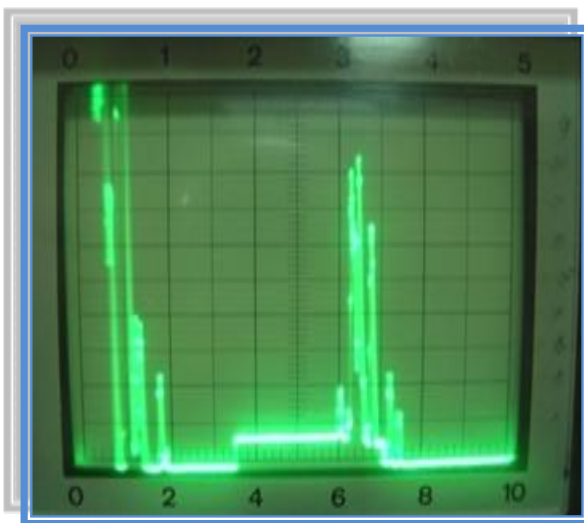


Fig. 4.78, Curva característica del Desplazamiento Transversal

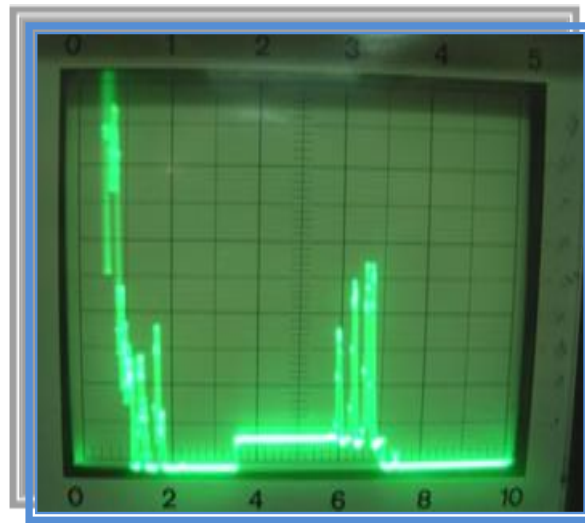
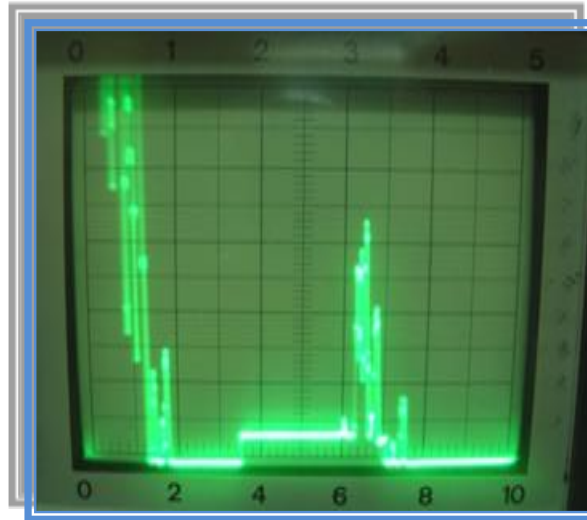


Fig. 4.79, Curva característica del Desplazamiento Lateral



**Fig. 4.80, Curva característica del
Desplazamiento Rotacional**

El ángulo que se ha girado tanto a la derecha como a la izquierda se lo ha medido directamente de la probeta. Ver Fig. 4.81

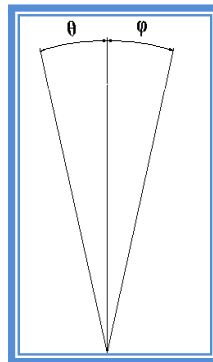


Fig. 4.81

Donde:

$$\varphi = 18^\circ$$

$$\theta = 32^\circ$$

4.5.2.8 Inspección ultrasónica de la probeta que presenta como defecto FISURAS.

Una vez que se ha seleccionado el número de decibeles (**50 dB**) del equipo ultrasónico, descrito anteriormente, se procede al barrido tomando como referencia la radiografía mostrada en la **Fig. 4.26**. Como las fisuras pertenecen al tipo de **heterogeneidad plana**,

para su caracterización se procede a efectuar los respectivos movimientos transversales, laterales y rotacionales. Ver Fig. 4.82

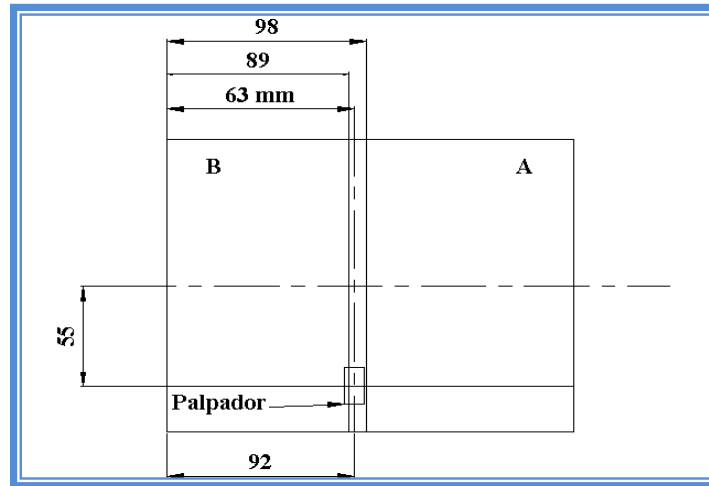


Fig. 4.82 Área de inspección de la probeta que contiene Fisuras.

Luego de la inspección las curvas características que se obtienen son las siguientes:

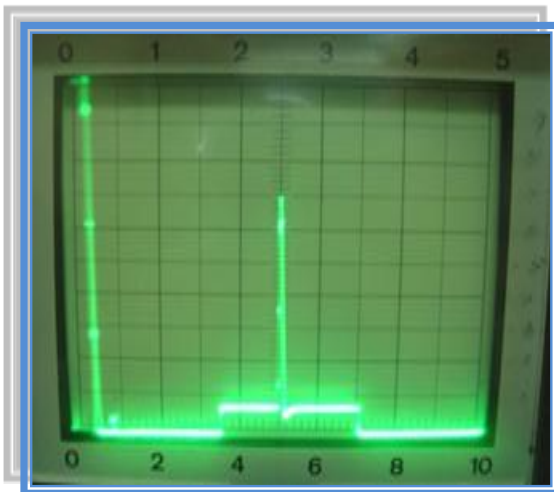


Fig. 4.83, Curva característica del Desplazamiento Transversal

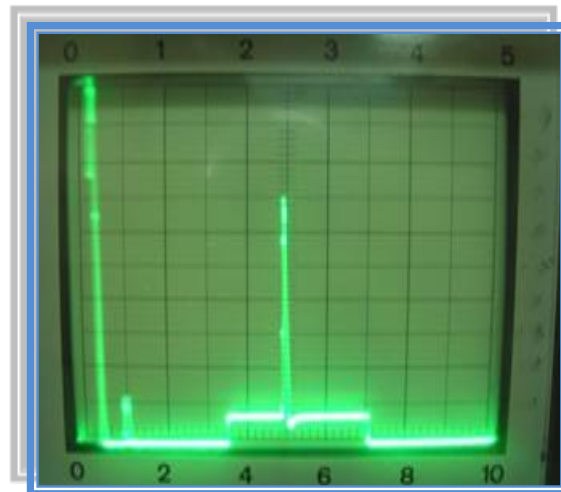


Fig. 4.84, Curva característica del Desplazamiento Lateral

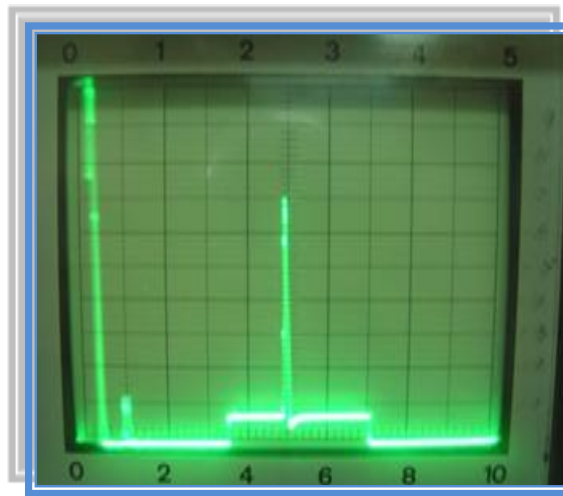


Fig. 4.85, Curva característica del Desplazamiento Rotacional

Se procede a elaborar una tabla en la que se aprecien todos los valores de recorrido del haz y altura de pantalla para cada uno de los desplazamientos:

FISURAS

Desplazamiento		Desplazamiento		Desplazamiento	
Transversal		Lateral		Rotacional	
Recorrido (mm)	Altura (%)	Recorrido (mm)	Altura (%)	Recorrido (mm)	Altura (%)
57	10	50	12	50	70
50	70	50	70	50	14
40	10	50	12	50	15

Tabla 4.23, Señales más altas obtenidas en la Fisuras.

El ángulo que se ha girado tanto a la derecha como a la izquierda se lo ha medido directamente de la probeta. Ver Fig. 4.86

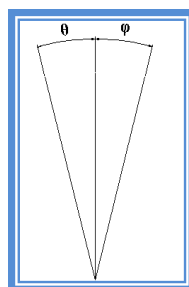


Fig. 4.86

Donde: $\varphi = 11^\circ$ y $\theta = 14^\circ$

4.5.2.9 Inspección ultrasónica de la probeta que presenta como defecto las FISURAS TRANVERSALES.

Una vez que se ha seleccionado el número de decibeles (**50 dB**) del equipo ultrasónico, descrito anteriormente, se procede al barrido tomando como referencia la radiografía mostrada en la **Fig. 4.21**. Como las fisuras pertenecen al tipo de **heterogeneidad plana**, para su caracterización se procede a efectuar los respectivos movimientos transversales, laterales y rotacionales. Ver **Fig. 4.87**

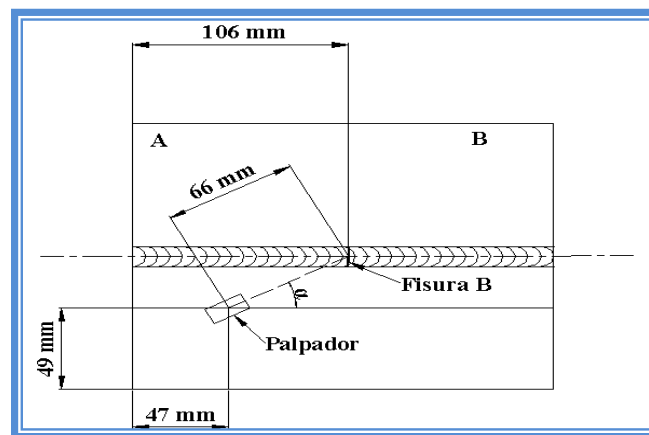


Fig. 4.87 (ángulo $\alpha = 26^\circ$)

Esquema de posición del palpador con respecto a la fisura transversal.

En la **Fig. 4.87**, se puede observar la posición del palpador y punto de inicio respecto a la fisura que anteriormente ha sido seleccionada (**fisura transversal B**), de ahí que se debe tomar en cuenta que el recorrido que realiza el haz ultrasónico debe proyectarse más allá del recorrido, es decir; **70 mm** ya que se debe tomar en cuenta el espesor de soldadura y el espesor de placa, el defecto se presenta en pantalla fuera del recorrido que en ella se muestra.

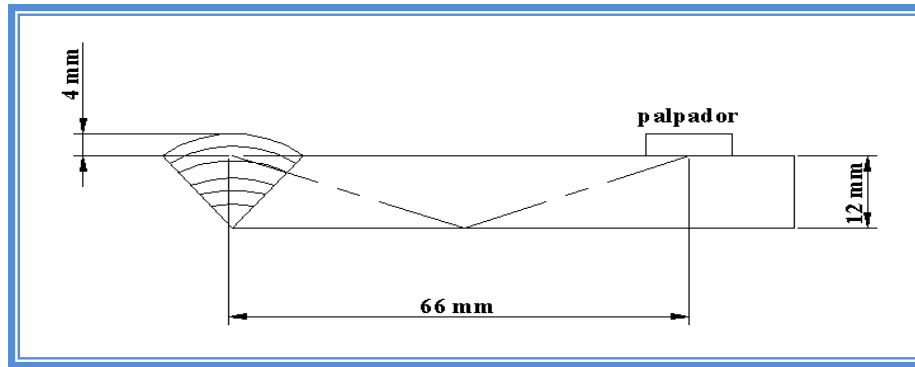


Fig. 4.88 Proyección del haz ultrasónico.

Como se puede observar en la figura el haz tiene un recorrido mucho mayor al usual que se ha estado ocupando en pantalla (70 mm), se debe agregar a este el espesor del cordón de soldadura que tomado directamente de la placa corresponde a 4 mm.

A continuación se presenta un mejor detalle de la proyección que se pretende realizar:

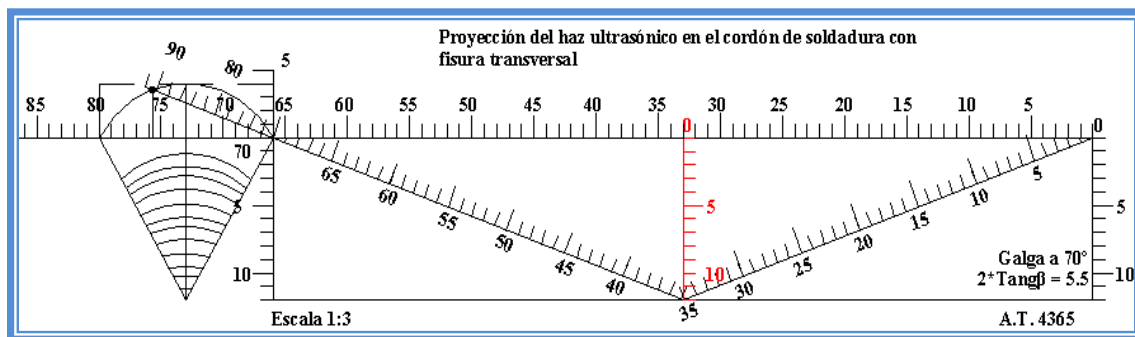


Fig. 4.89 Esquema de proyección del haz ultrasónico.

En la figura 4.89, se procede a proyectar el recorrido del haz ultrasónico a través del cordón de soldadura y poder posicionarlo bien sobre el defecto en estudio, además se debe tomar en cuenta tanto la altura como el ancho del cordón de soldadura.

Luego de la inspección las curvas características que se obtienen son las siguientes:

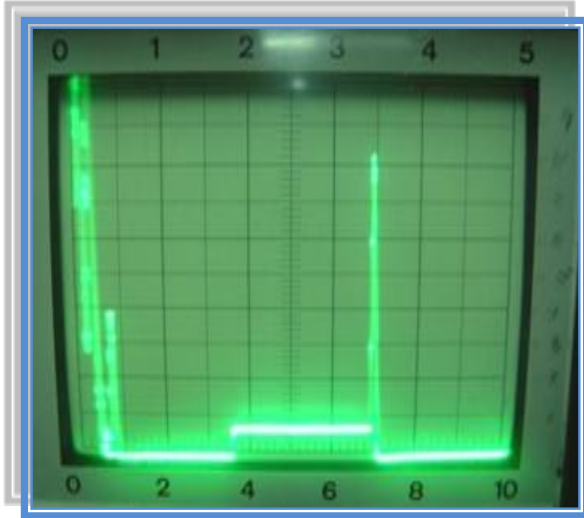


Fig. 4.90, Curva característica del Desplazamiento Transversal

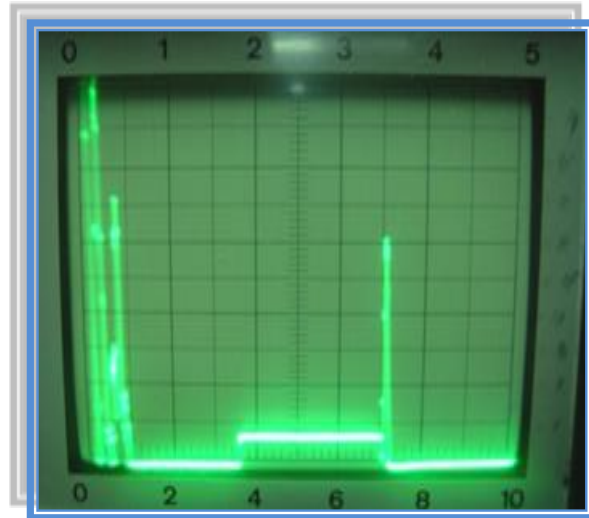


Fig. 4.91, Curva característica del Desplazamiento Lateral

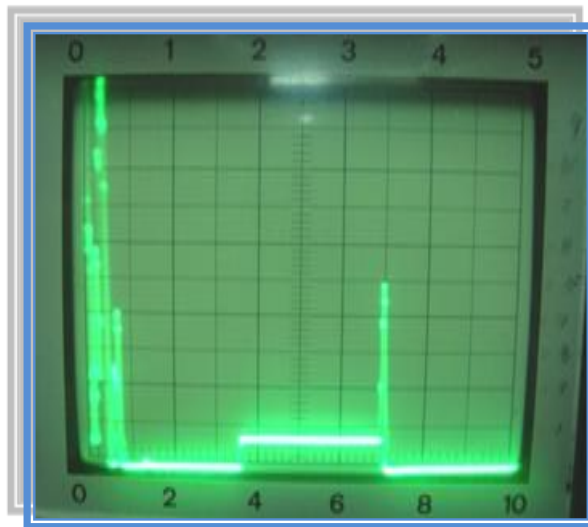


Fig. 4.92, Curva característica del Desplazamiento Rotacional

Se procede a elaborar una tabla en la que se aprecien todos los valores de recorrido del haz y altura de pantalla para cada uno de los desplazamientos:

FISURAS TRANSVERSALES

Desplazamiento		Desplazamiento		Desplazamiento	
Transversal		Lateral		Rotacional	
Recorrido (m m)	Altura (%)	Recorrido (m m)	Altura (%)	Recorrido (m m)	Altura (%)
60	18	70	18	70	83
70	83	70	61	70	12
91	2	70	16	70	16

Tabla 4.24, Señales más altas obtenidas en la Fisuras Transversales.

El ángulo que se ha girado tanto a la derecha como a la izquierda se lo ha medido directamente de la probeta. Ver Fig. 4.93

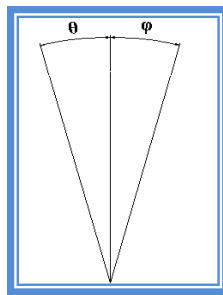


Fig. 4.93

Donde:

$$\varphi = 9^\circ$$

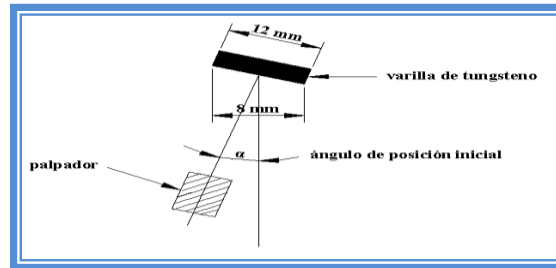
$$\theta = 11^\circ$$

4.5.2.10 Inspección ultrasónica de la probeta que presenta como defecto una INCLUSIÓN

Una vez que se ha seleccionado el número de decibeles (50 dB) del equipo ultrasónico, descrito anteriormente, se procede al barrido tomando como referencia la radiografía mostrada en la Fig. 4.25, como la inclusión pertenece al tipo de **heterogeneidad plana**, para su caracterización se procede a efectuar los respectivos movimientos transversales, laterales y rotacionales. Ver Fig. 4.94

Con la ayuda de radiografía se puede posicionar la inclusión presente en la probeta. Para ello se procede a trazar una perpendicular a la inclusión, que es la posición inicial que

tendrá el palpador, luego se mide el ángulo de incidencia que tiene el palpador respecto a la placa base como se muestra a continuación:



Como se observa el ángulo de incidencia que tiene el palpador respecto a la inclusión es de útil importancia para realizar el estudio.

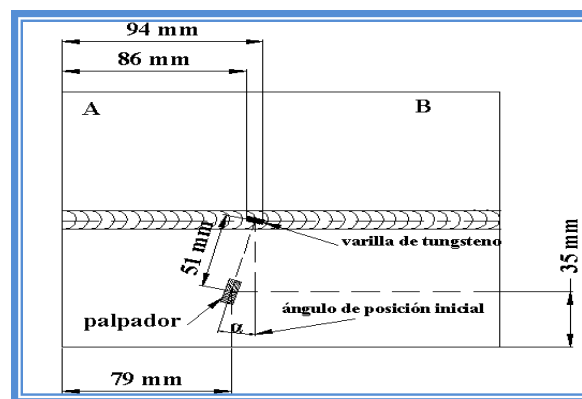


Fig. 4.94, posición inicial del palpador respecto a la Inclusión.

En la **fig. 4.94**, se observa la posición inicial que ocupará el palpador para iniciar la caracterización, donde para determinar el ángulo de desplazamiento o desfase que ha tomado el palpador es la siguiente:

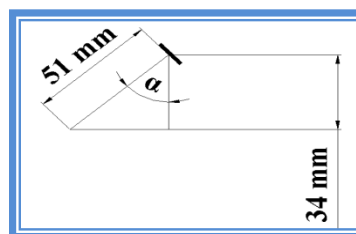


Fig. 4.95 Ángulo de desfase.

Los datos que se muestra en al **Fig. 4.95**, han sido tomado directamente de la probeta, con los que se procede a calcular el ángulo de desfase:

$$\text{Cos}\alpha = \frac{34\text{mm}}{51\text{mm}} = 0.6666$$

$$\alpha = 48.18^\circ$$

Entonces:

El ángulo de desfase es:

$$\alpha = 48.18^\circ$$

Luego de la inspección las curvas características que se obtienen son las siguientes:

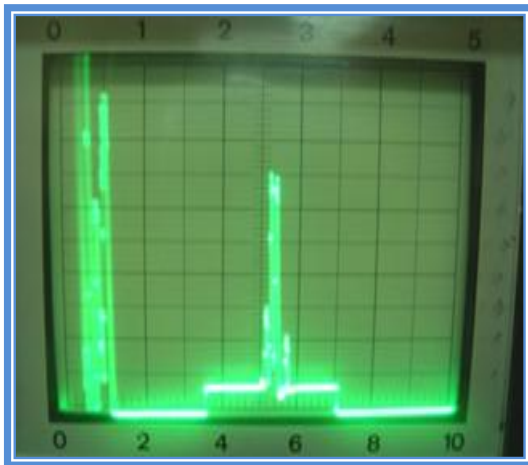


Fig. 4.96, Curva característica del Desplazamiento Transversal

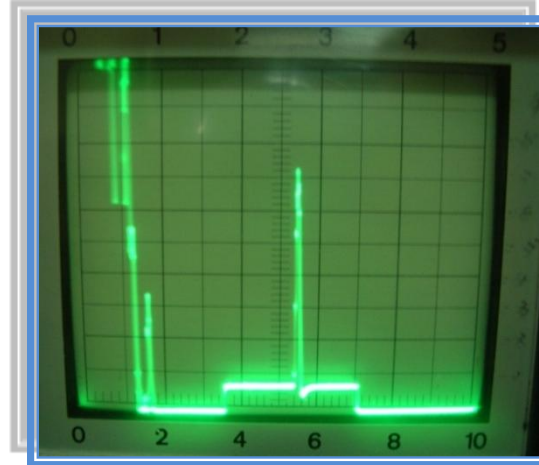


Fig. 4.97, Curva característica del Desplazamiento Lateral

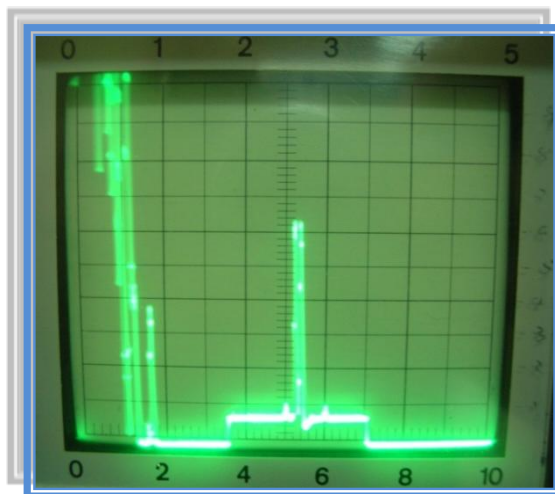


Fig. 4.98, Curva característica del Desplazamiento Rotacional

Se procede a elaborar una tabla en la que se aprecien todos los valores de recorrido del haz y altura de pantalla para cada uno de los desplazamientos:

INCLUSIONES

Desplazamiento				Desplazamiento				Desplazamiento			
Transversal				Lateral				Rotacional			
Recorrido (m m)		Altura (%)		Recorrido (m m)		Altura (%)		Recorrido (m m)		Altura (%)	
1ER. PICO	2DO. PICO	H 1	H 2	1ER. PICO	2DO. PICO	H 1	H 2	1ER. PICO	2DO. PICO	H 1	H 2
54		12		53		13		53	55	70	70
53	53	33	33	53	55	59	62	53	55	12	13
47	49	56	8		55		6		55		16

Tabla 4.25, Señales más altas obtenidas en la Inclusiones.

El ángulo que se ha girado tanto a la derecha como a la izquierda se lo ha medido directamente de la probeta. Ver Fig. 4.99

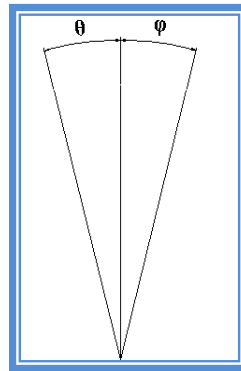


Fig. 4.99

Donde:

$$\varphi = 6^\circ$$

$$\theta = 6^\circ$$

CAPÍTULO V

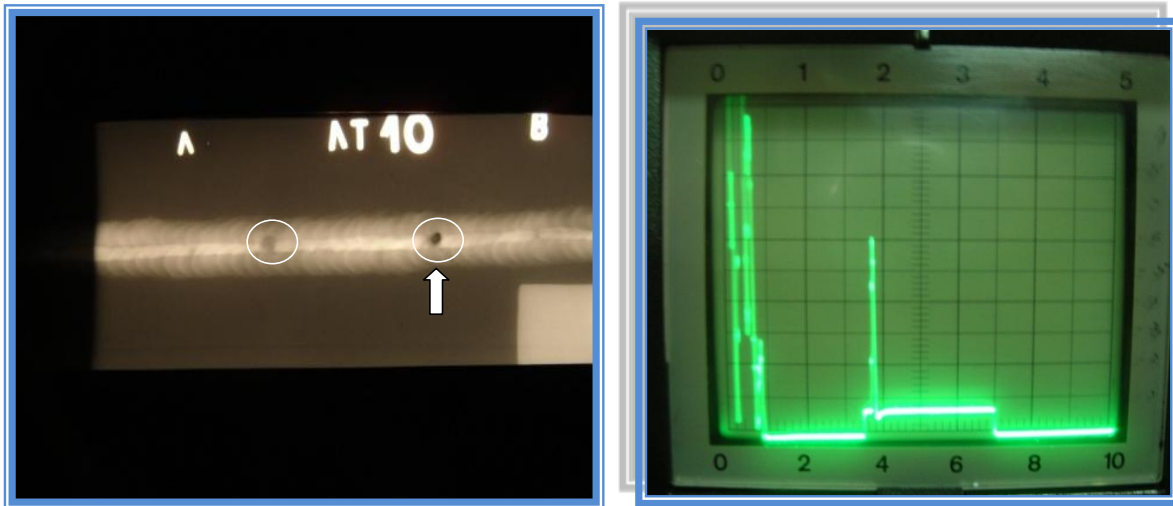
5. ANÁLISIS Y RESULTADOS.

5.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS INDICACIONES.

Una vez que se ha realizado la inspección de las probetas, y observado las indicaciones presentes en la pantalla del equipo de ultrasonidos, se procede a realizar el análisis de cada una de las señales que se obtuvieron en los ensayos descritos en el CAPÍTULO V.

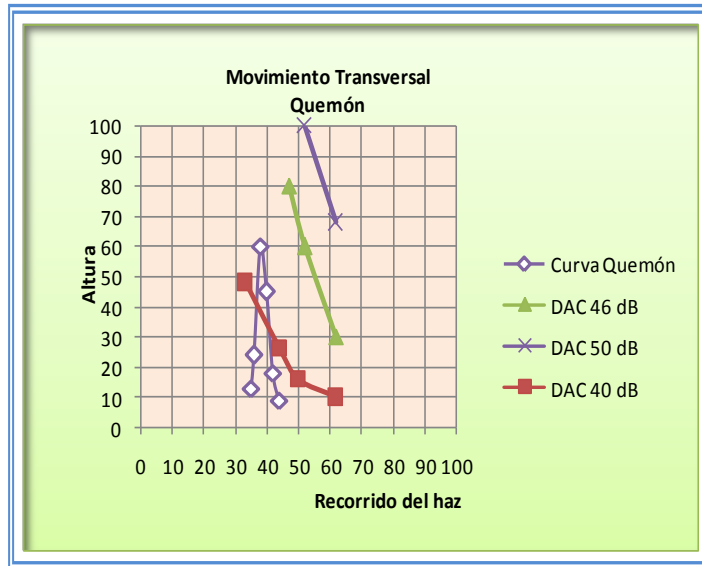
Para ello se ha determinado una tabla que indica el Recorrido del Haz Vs Altura de señal (o pico), y luego se procede a obtener la curva envolvente, que permita tener una idea previa del defecto que se esta analizando.

QUEMÓN



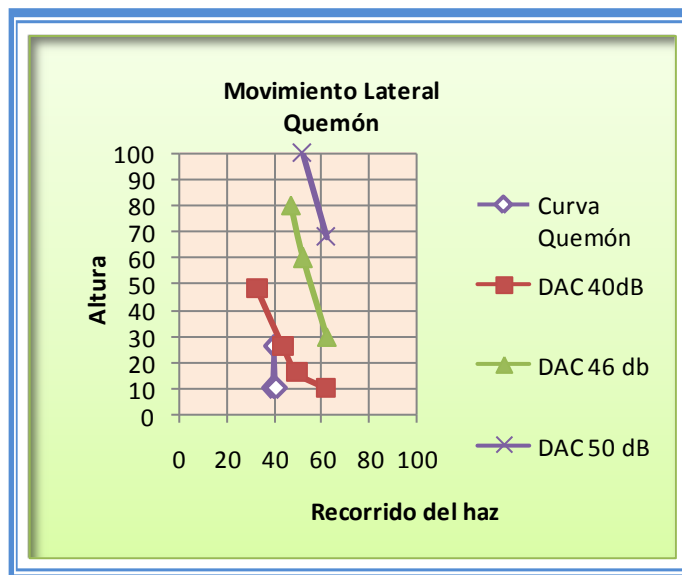
Como se observa, la radiografía se presenta acompañada de su toma característica de su señal, que debe ser comparada con las curvas DAC que se obtuvieron en los ensayos descritos en el CAPÍTULO V.

DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL	
Recorrido del Haz Vs Altura	
Recorrido (mm)	Altura (%)
35	13
36	24
38	60
40	45
42	18
44	9



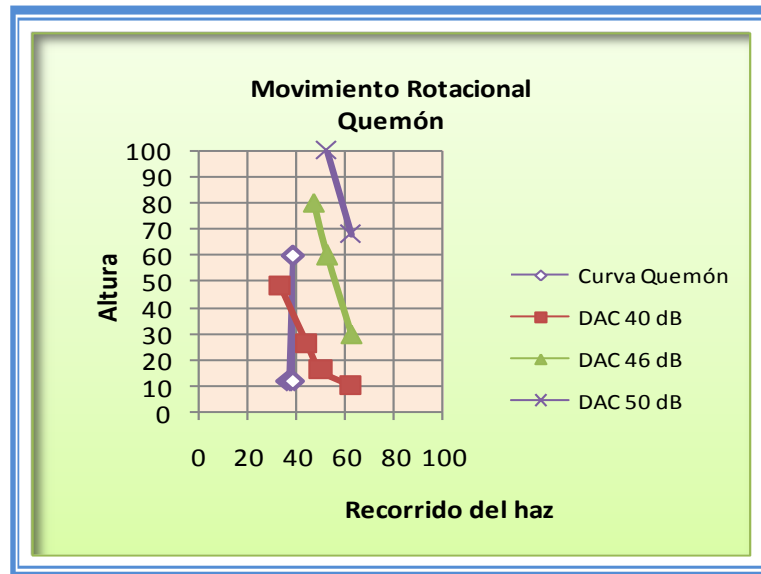
Como se puede observar la mayor señal obtenida por el defecto llamado **Q u e m ó n** con una ganancia de **40 d B**, es mayor a la curva DAC que posee la misma ganancia, con ello se puede concluir que el defecto es de mayor tamaño al de 1/16 in perteneciente a la Curva DAC; por consiguiente se trata efectivamente de un defecto, cuya distancia de recorrido muestra la profundidad a la que se encuentra.

DESPLAZAMIENTO LATERAL	
Recorrido del Haz Vs Altura	
Recorrido (mm)	Altura (%)
39	10
40	26
41	10



Con lo anteriormente observado se deduce que la señal producida por el quemón es de menor intensidad que la señal perteneciente a la curva DAC de 40dB, por ende pertenece a una indicación más no a un defecto.

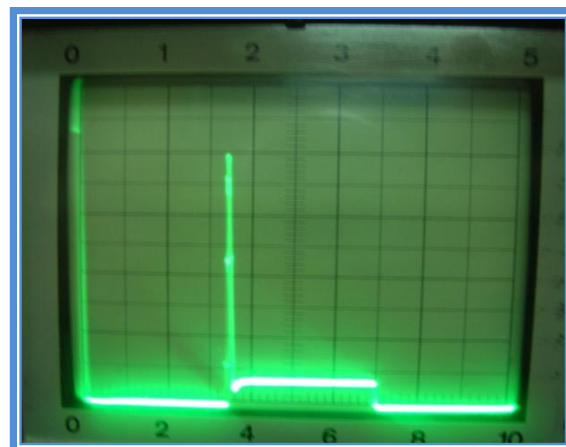
DESPLAZAMIENTO ROTACIONAL	
Recorrido del Haz Vs Altura	
Angulo (°)	Altura (%)
11	12
0	60
6	12



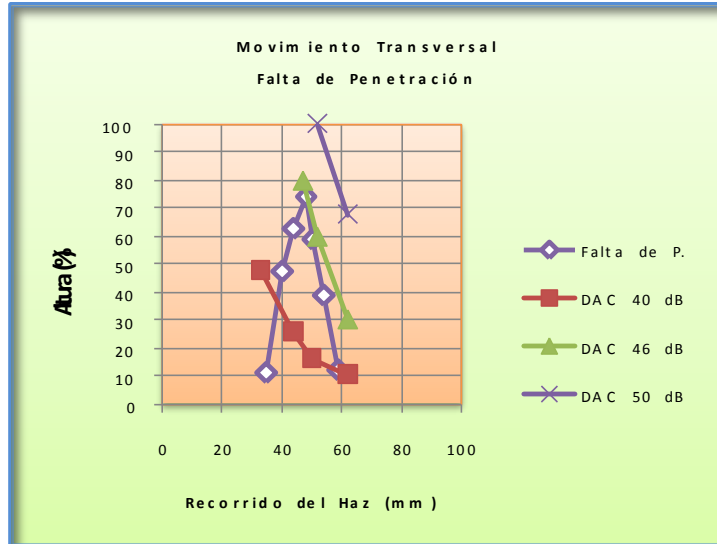
Como se observa la señal producida por el quemón es mayor que la curva DAC, las dos curvas mantienen la misma ganancia de 40 dB, de esto se concluye que la intensidad de la señal corresponde efectivamente a un defecto y cuyo tamaño es mayor a 1/16in correspondiente a la curva DAC.

Como cada inspección presenta una curva característica en cada uno de los movimientos, se procede a analizar la curva más propicia con cada una de las curvas DAC, y con ello decidir si pertenece o no a un defecto, para ello se escogerá la curva que represente la mayor intensidad en pantalla.

FALTA DE PENETRACIÓN.

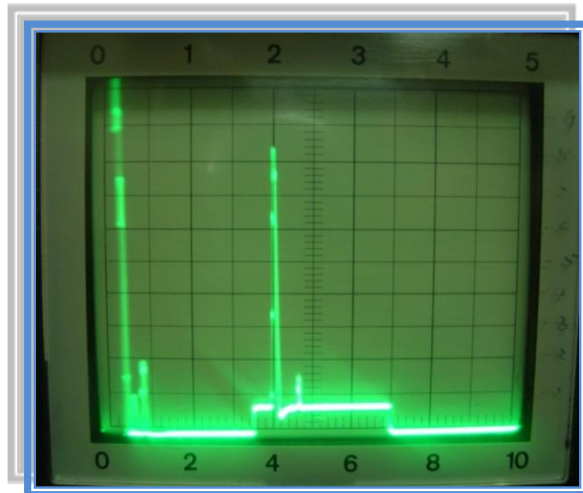
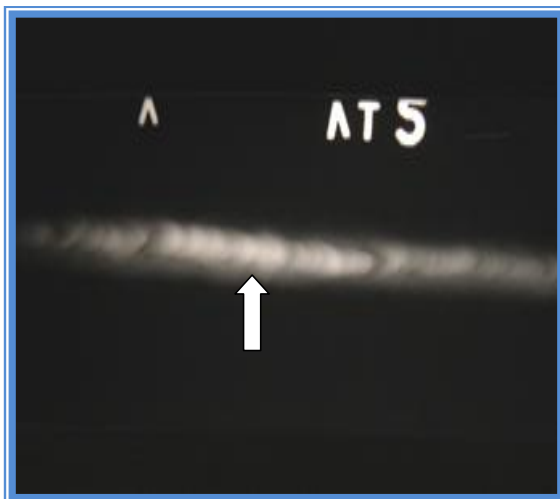


DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL	
Recorrido del Haz Vs Altura	
Recorrido (mm)	Altura (%)
35	11
40	48
44	63
48	74
50	59
54	39



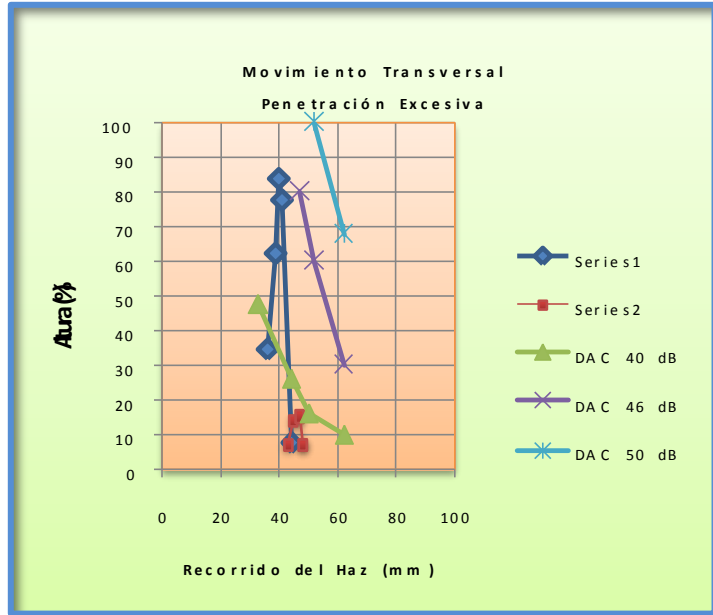
En la falta de penetración se puede apreciar claramente que la intensidad de la señal producida por este defecto y cuya ganancia pertenece a 48 dB, coincide con un punto de la Curva DAC de 46dB, por esta razón su tamaño se asemeja al 1/16in de la curva DAC, y esta intensidad indica que es un defecto.

PENETRACIÓN EXCESIVA .



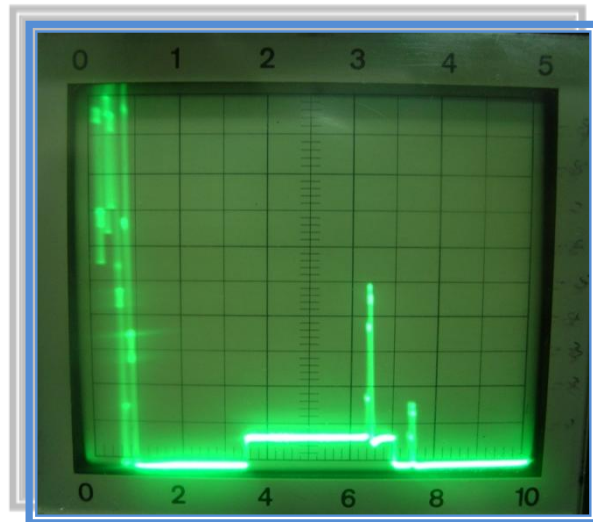
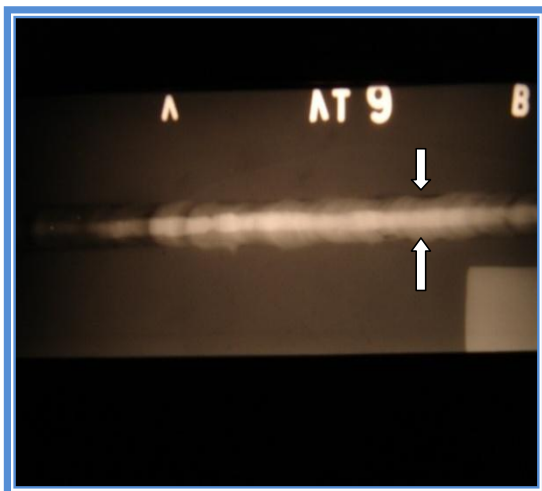
Como se puede observar la radiografía presenta su indicación característica, con gran porcentaje de altura que sirve para identificar si pertenece o no a un defecto, esto al compararla con las curvas DAC correspondientes.

DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL			
Recorrido del Haz Vs Altura			
Recorrido (mm)		Altura (%)	
1er. Pico	2do. Pico	H1	H2
36	43	35	8
39	45	62	15
40	47	84	16
41	48	78	8
44	48	8	0



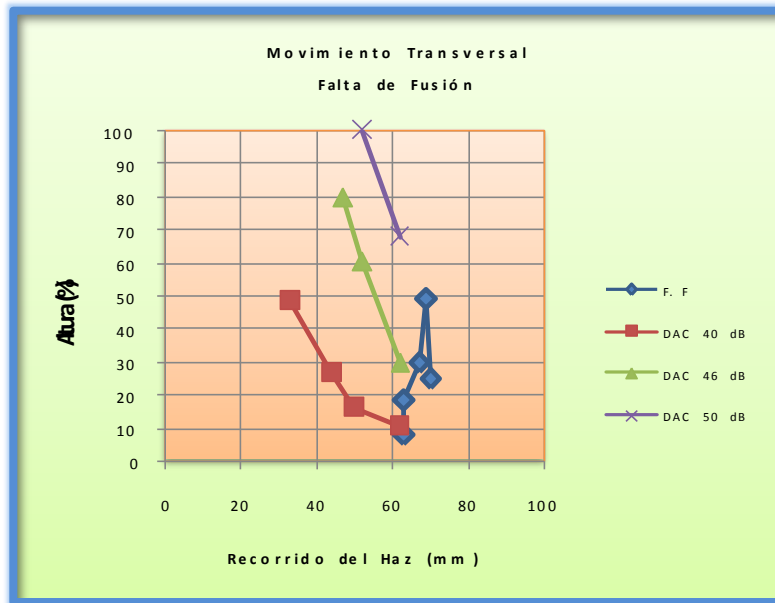
En la penetración excesiva se observa que su mayor indicación se presenta a con una ganancia de 40db; y, al compararla con la curva DAC de 40dB, se concluye que la intensidad de la señal esta muy por encima de la curva DAC, con ello se deduce primero que el defecto es de gran tamaño y que efectivamente es un defecto.

FALTA DE FUSIÓN.



En las figuras anteriores se muestran tanto la radiografía como su correspondiente curva característica presente en esta discontinuidad.

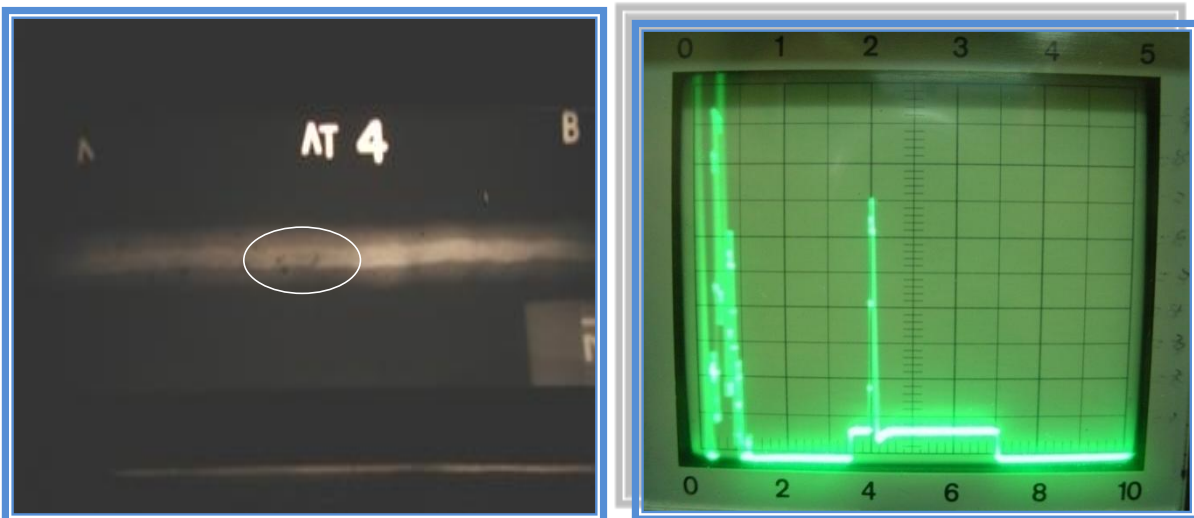
DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL	
Recorrido del Haz Vs Altura	
Recorrido (mm)	Altura (%)
70	25
69	49
67	30
63	18



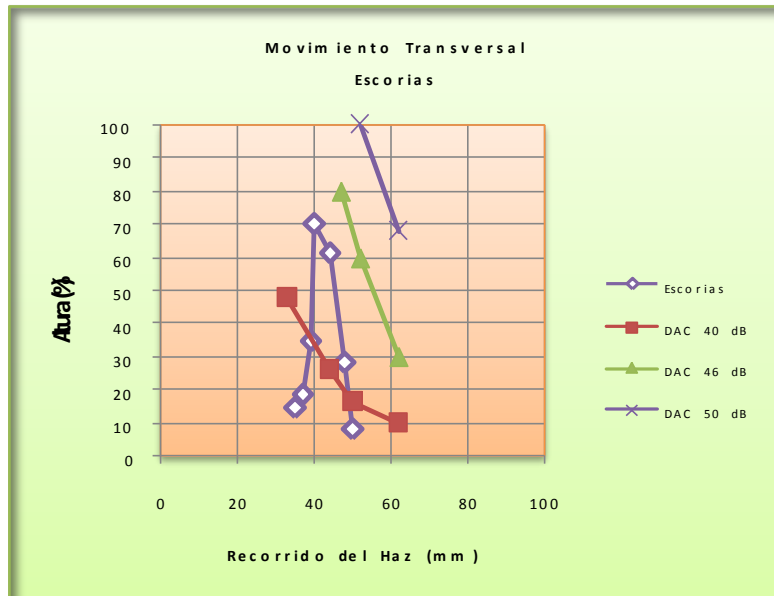
La falta de fusión con una ganancia de 46 dB muestra una indicación mucho mayor que la curva DAC de la misma ganancia, de esta manera pertenece a un defecto cuyo tamaño es mucho mayor al tamaño de nuestra curva patrón (1/16in).

ESCORIAS.

A continuación se muestra la curva característica obtenida en este ensayo:

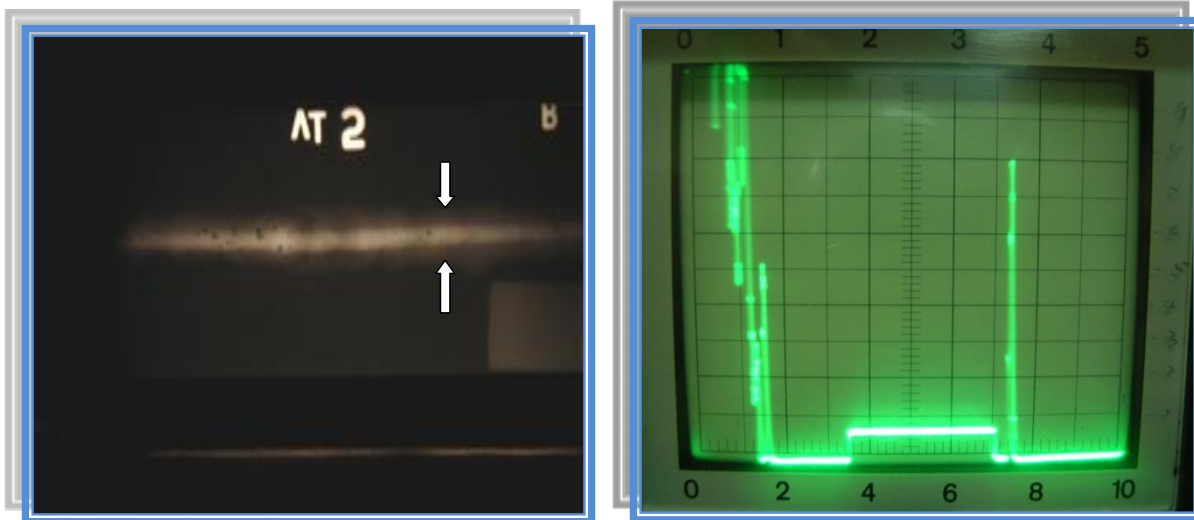


DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL	
Recorrido del Haz Vs Altura	
Recorrido (mm)	Altura (%)
35	15
37	19
39	35
40	70
44	61
48	28
50	8



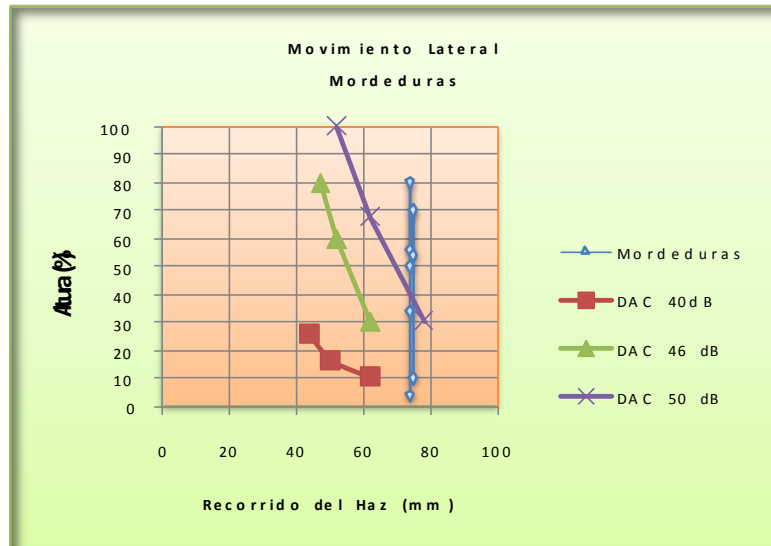
Como se puede observar que la intensidad de la curva perteneciente a las escorias es mucho mayor a la curva DAC de 40 dB, es así, que pertenece a un defecto y cuyo tamaño es mayor al tamaño de nuestra curva patrón, es decir, 1/16in, debido a su gran intensidad.

MORDEDURAS.



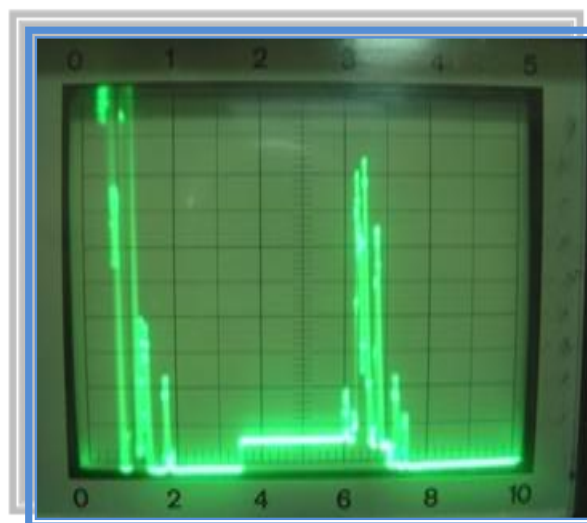
En la anterior toma fotográfica se puede observar la curva característica de la discontinuidad en estudio, la cual posee una gran intensidad y altura.

DESPLAZAMIENTO LATERAL	
Recorrido del Haz Vs Altura	
Recorrido (mm)	Altura (%)
74	4
74	34
74	50
74	80
74	56
75	70
75	54



Para poder apreciar la intensidad producida por las mordeduras se ha procedido a extrapolar la curva DAC perteneciente a los 50 dB, que a su vez es la misma ganancia con la que se obtuvo la curva del defecto, con esto se visualiza que la señal es mucho mayor a la señal de la curva DAC, es decir; corresponde a un defecto y cuyo tamaño es mayor a 1/16 in pertenecientes a nuestra curva patrón DAC.

POROS.

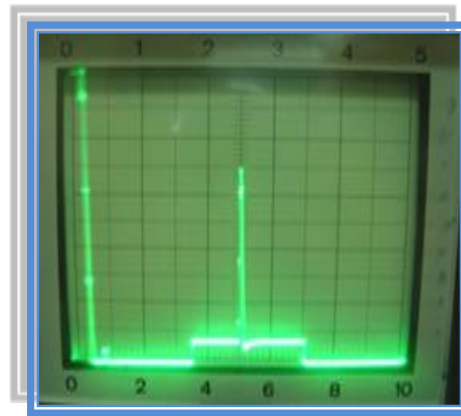
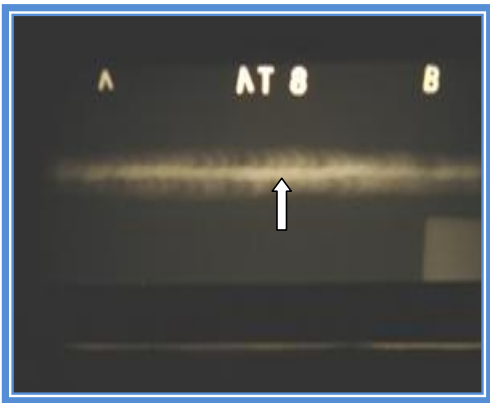


Curva característica de los poros.

Por lo difícil de las indicaciones que se obtuvieron en la inspección y lo difícil de caracterizar un solo poro lo que se optó es decir que a simple vista por la cantidad de

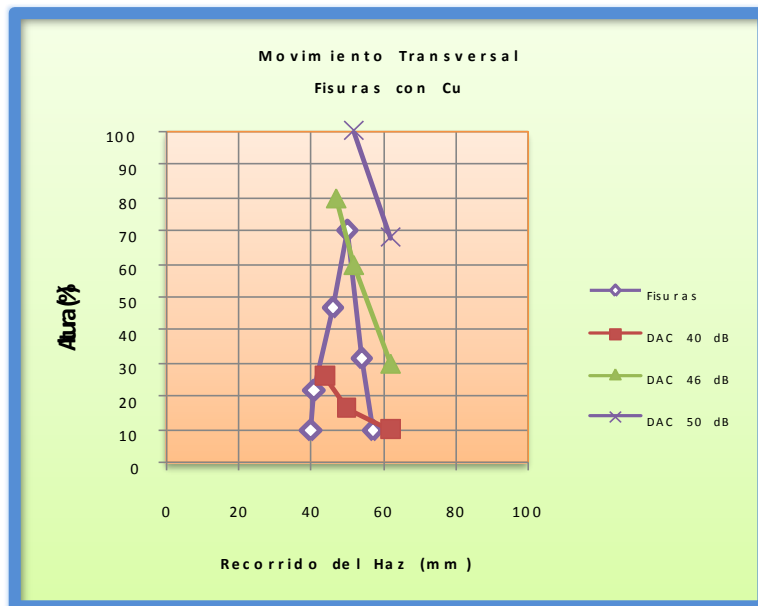
indicaciones o señales presentes la heterogeneidad es un nido de poros, que posiblemente se encuentran presentes en el último cordón de soldadura ya que la mayoría de ellos se concentran a una distancia de recorrido de 70 mm.

FISURAS LONGITUDINALES.



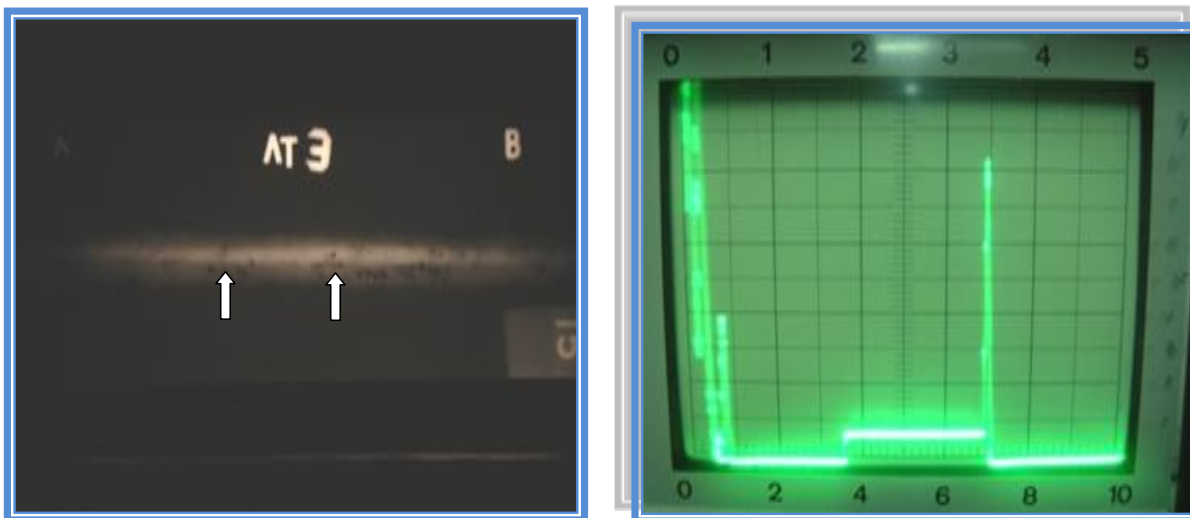
Curva característica de las fisuras longitudinales.

DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL	
Recorrido del Haz Vs Altura	
Recorrido (mm)	Altura (%)
57	10
54	32
50	70
46	47
41	22
40	10



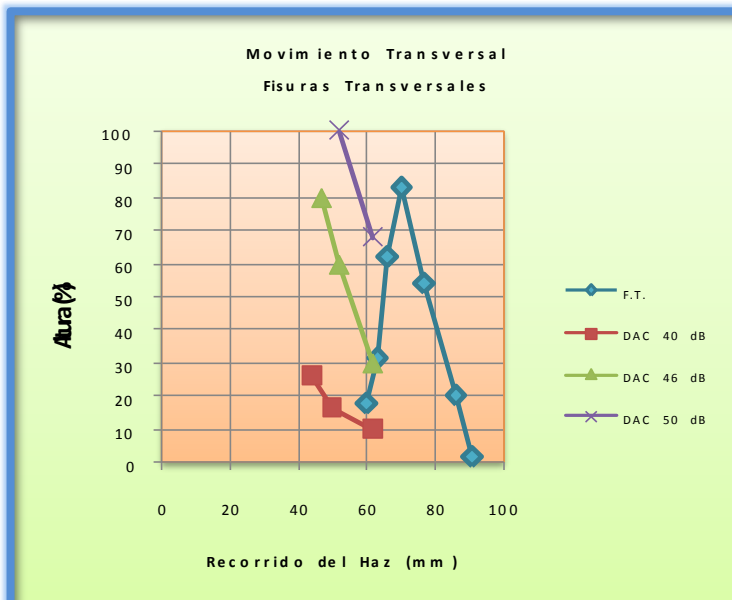
Como la ganancia dada en la inspección para las fisuras es de 50dB, se puede avizorar claramente que la intensidad de la indicación es mucho menor a la Curva DAC correspondiente, es por esta razón que se las considera como indicaciones mas no como un defecto y cuyo tamaño es mucho pero mucho menor a 1/16in.

FISURAS TRANSVERSALES.



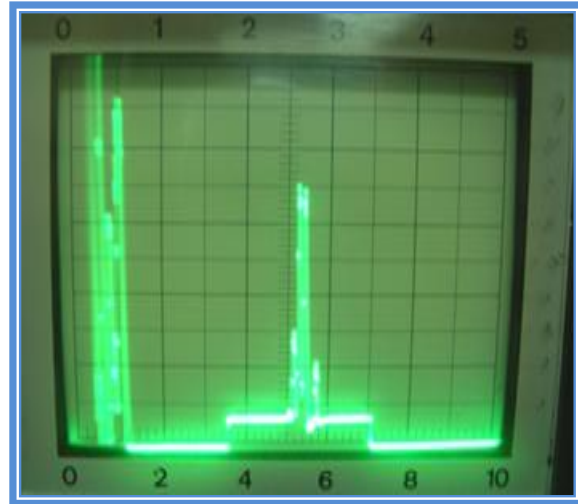
En la anterior toma fotográfica se puede notar la forma de la señal característica que se obtuvo al inspeccionar esta discontinuidad.

DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL	
Recorrido del Haz Vs Altura	
Recorrido (mm)	Altura (%)
60	18
63	32
66	62
70	83
77	54
86	20
91	2



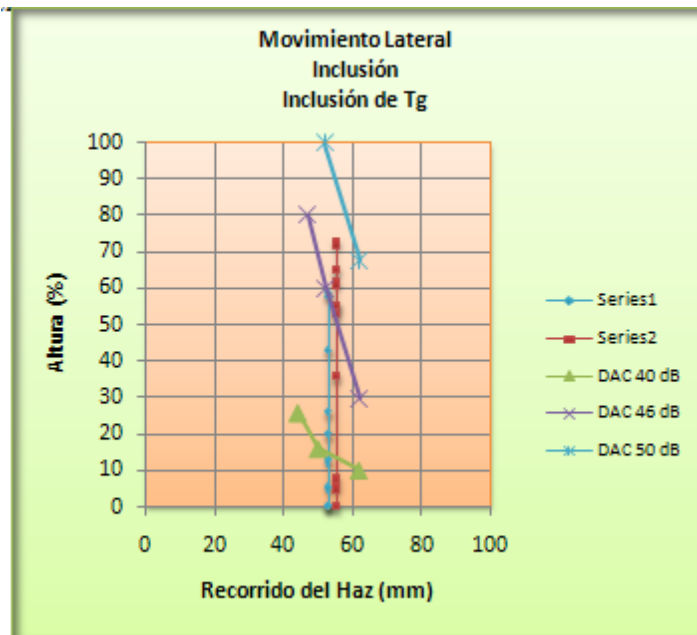
Es claramente visible que el mayor pico de la curva correspondiente a las fisuras transversales sobrepasa la curva DAC correspondiente a los 50dB (mismos decibeles de la inspección de la probeta) con lo cual se puede decir que efectivamente es un defecto y su tamaño es mayor a 1/16in.

INCLUSIÓN.



Con la curva característica anterior obtenida al realizar la inspección de la inclusión se procede a compararla con las curvas DAC correspondientes y observar que conclusiones podemos sacar de ello.

DESPLAZAMIENTO LATERAL			
Recorrido del Haz Vs Altura			
Recorrido (mm)		Altura (%)	
1er. Pico	2do. Pico	H1	H2
53	55	13	0
53	55	26	8
53	55	58	53
53	55	59	62
53	55	43	55
53	55	20	55
53	55	6	65
53	55	0	73
53	55	0	36
53	55	0	6



Con la ganancia de 50 dB que se ha dado para la inclusión comparamos su indicación con la curva DAC correspondiente, y, se determina que la señal corresponde a una indicación mucho tanto en indicación como en tamaño respecto al defecto patrón.

5.2 IDENTIFICACIÓN DE LA NATURALEZA DE LAS INDICACIONES.

QUEMÓN

- **La forma:** el quemón presenta una forma esférica, ya que la curva que se observa en los tres movimientos del palpador, posee picos altos y muy bajos, cuya anchura es muy pequeña que es comprobado gracias a una caída rápida de los picos.
- **El tamaño:** se aproxima a unos 3.7mm que comparado con el medido directamente en la placa de inspección (3.5mm), las curvas para determinar el tamaño del defecto llamado “Quemón” serán las correspondientes al movimiento lateral y transversal y que gracias a la regleta (recorrido del haz – profundidad) se puede usar para determinar a que distancia se encuentra y la anchura o diámetro del defecto.
- **La distancia:** se concluye que este defecto tiene mayor presencia a una distancia de 12 mm de profundidad es decir se encuentra presente en la raíz de la soldadura, y esto se observa gracias al movimiento lateral que toma el mayor pico, y es reforzada con la representada en la curva de movimiento transversal.
- **La orientación:** se observa que presenta una orientación perpendicular al cordón de soldadura, claramente en el movimiento transversal, debido a que cada vez que el palpador avanza el defecto aumenta su profundidad con respecto a la raíz de la junta soldada.
- **La naturaleza:** previamente se establece que el origen de este defecto se debe a un mal proceso de soldadura y un alto amperaje en la raíz, a esto se puede agregar que intencionalmente se realiza dejando de lado las normas que indica como evitar la formación de este defecto, pero que a su vez indica la forma de como producirlos.

FALTA DE PENETRACIÓN

- **La forma:** falta de penetración presenta una forma plana de acuerdo a la gráfica obtenida en el movimiento lateral, que es su principal característica; donde los picos que se observa, casi mantienen su altura (en forma de línea recta) y no presentan caídas considerables.
- **El tamaño:** de acuerdo a lo anterior se puede establecer que el tamaño de la falta de penetración ocurre a todo lo largo del cordón de soldadura; ya que en ningún momento se pierde la señal de los picos vistos en pantalla, al contrario los picos suben y bajan pero nunca desaparecen.
- **La distancia:** a la que se encuentra el defecto se observa de acuerdo al mayor pico representada en la curva de movimiento transversal.
- **La orientación:** que presenta el defecto es paralela al cordón de soldadura, que se observa claramente en el movimiento lateral, y también se observa directamente en la placa de muestra
- **La naturaleza:** que provoca este defecto esta definida por un mal proceso de soldadura o un bajo amperaje en la raíz, que son condiciones en las que este defecto se presenta, además es lo que intencionalmente se realiza dejando de lado las normas que indican como evitar la formación de este defecto, pero que a su vez indica la forma de producirlo.

PENETRACIÓN EXCESIVA

- **La forma:** Se puede presumir que el defecto podría ser esférico, ya que se muestra la presencia de dos picos muy importantes, que muestra los dos bordes del defecto por su excesiva penetración en la junta.

- **El tamaño:** se lo relaciona de acuerdo a la profundidad que se lo encuentra, de esta forma se puede establecer también su espesor indirectamente de acuerdo a la curva obtenida lateralmente (**entre 6 mm y 7 mm**), que medido directamente de la placa es casi cercano a este valor.
- **La distancia:** será determinada en base a la ubicación del palpador que muestre el mayor pico especialmente en el movimiento transversal, ya que este indica la posición exacta del defecto y que con ayuda de la regleta ubicar este parámetro (**aproximadamente 38 mm**).
- **La orientación:** este parámetro fue apreciado de la mejor manera en el movimiento lateral donde se presencia una continuidad del haz por un instante, misma que permite decir que el defecto es paralelo al cordón de soldadura y de gran profundidad y a la vez presenta irregularidades en todo el largo del cordón.
- **La naturaleza:** esta determinada por las causas que la han provocado, como el alto amperaje usado en la fase de raíz del cordón de soldadura, mal procedimiento de soldadura, o un lento avance de la soldadura, esto de acuerdo a lo que intencionalmente se realiza dejando a un lado las normas que indica como evitar la formación de este defecto, pero que a su vez dan indicios de cómo producirlos y estudiarlos.

FALTA DE FUSIÓN.

En resumen para caracterizar las curvas obtenidas en este defecto se toma en cuenta:

- **La forma:** Se puede presumir que el defecto puede pertenecer a una forma plana ya que se ha mostrado la presencia de dos picos muy importantes, que muestra los dos bordes del defecto por su falta de fusión en la cara de la junta. A más de ello el

desplazamiento lateral muestra una constante en la posición del pico que se acerca a esta apreciación (plana).

- **El tamaño:** como el defecto se presenta en casi toda la cara de la junta se puede decir que en cuanto al tamaño el defecto es grande y su posición esta claramente localizada en los bordes de la cara superior de la placa base.
- **La distancia:** esta determinada en base a la ubicación del palpador que muestra el mayor pico especialmente en el movimiento rotacional, ya indica la posición exacta del defecto y que con ayuda de la regleta se puede decir a que distancia este se encuentra.
- **La orientación:** este parámetro fue apreciado de la mejor manera en el movimiento lateral donde se presencia una continuidad del haz por un determinada instante, misma que permite decir que el defecto es paralelo al cordón de soldadura y de gran profundidad cuyas irregularidades están en todo el largo del cordón.
- **La naturaleza:** esta determinada por parámetros como el bajo amperaje usado en la fase de relleno entre la cara de la junta y el cordón de soldadura, además el mal procedimiento de soldadura, o un rápido movimiento en el avance de la soldadura, que intencionalmente se realiza dejando un lado las normas que indica como evitar la formación de este defecto, pero que a su vez dan indicios de cómo se puede producir y estudiar.

ESCORIAS.

- **La forma:** Se puede dar una primera aproximación que el defecto pertenece al tipo de carácter esférico ya que se observa la presencia de dos picos muy importantes

que muestra un rango en los que se puede presumir se encuentra el nido de escorias visto en pantalla, uno a continuación de otro.

- **El tamaño:** se lo relaciona de acuerdo a la profundidad que se lo encuentra, de esta forma se puede establecer también su tamaño indirectamente de acuerdo a la curva obtenida lateralmente en la raíz de la junta, además presenta un tamaño muy pequeño ya que la acumulación de escorias así lo determina.
- **La distancia:** es determinada en base a la ubicación del palpador que muestra el mayor pico especialmente en el movimiento transversal, ya que este indica la posición exacta del defecto y que con ayuda de la regleta poder ubicar este parámetro.
- **La orientación:** es casi imposible determinar la orientación ya que sería necesario escoger una escoria y caracterizarla, por lo que se la define como una orientación independientemente aislada.
- **La naturaleza:** provocada de seguro por la falta de limpieza entre pasada y pasada, es decir, entre cordón y cordón, que se realiza especialmente entre la fase caliente y la primera fase de, además del mal procedimiento de soldadura.

M O R D E D U R A S .

- **La forma:** Se puede presumir que el defecto corresponde a una forma plana ya que se observa la presencia de un solo pico muy importante representado en el movimiento rotacional y una cercana aproximación con el movimiento lateral.
- **El tamaño:** es notorio que en el movimiento lateral se puede dar un acercamiento del tamaño del defecto, una primera aproximación indica que el defecto se extiende

a lo largo de todo el cordón, ya que las indicaciones en el equipo de ultrasonidos se mantiene a la misma distancia que es de 74mm. Es cierto que cada vez que se avanza lateralmente se tiene caídas de picos, pero se entiende que lo obtenido en el movimiento transversal ayuda a dar una apreciación, de que se trata verdaderamente de un defecto del tipo plano, el cual existe en la cara superior de la placa base.

- **La distancia:** es importante destacar que para ubicar el punto de inicio se realiza una semejanza entre las distancias y recorrido del haz, y la distancia (calculada) que se obtuvo se ha comparado con la obtenida tanto con la ayuda de las radiografías, fotos y equipo de ultrasonidos que las dos distancias son cercanamente iguales lo que da indicios de que es la posición correcta. Además hay que tener en cuenta que el defecto se encuentra a lo largo de todo el cordón como lo demuestra el movimiento rotacional.
- **La orientación:** se puede decir que la orientación de este defecto es longitudinal, es decir a todo lo largo del cordón de soldadura, siendo una orientación de forma plana.
- **La naturaleza:** la principal causa de formación de este defecto se debe ya sea al rápido avance del electrodo acompañada de una alta temperatura debido al amperaje de soldeo, que en ciertos casos no llega a fundir ciertos tramos de la cara del metal base, dejando vacíos o socavados en las mismas; por otro lado la falta de fusión sería otro factor incidente en este defecto.

POROS

- **La forma:** Se puede realizar un pequeño acercamiento y decir que este defecto tiende mas bien a ser esférico, ya que se muestra la presencia de varios picos muy

importantes en un rango en los que se puede presumir se encuentra el nido de poros visto en pantalla, que por su pequeño tamaño pertenecen posiblemente a pequeñas granos de escoria.

- **El tamaño:** dado que por la sensibilidad del equipo, es casi complicado determinar el tamaño de un solo poro, ya que en el defecto en cuestión presenta varios poros unos muy pegados a otros complicando e incluso desviando el haz del equipo presenciando otra lectura y no la que se necesita. Pero se puede decir que son de tamaño muy pequeño pero que se encuentran presentes en la soldadura. Para poder determinar el tamaño del defecto es necesario seguir las distintas reglas que dicta las normas correspondiente a este defecto, razón por la cual al ser un defecto provocado adrede no se la ha tomado en cuenta pero esto no quiere decir que no hay que seguirlas.
- **La distancia:** es importante destacar que para ubicar el punto de inicio y posicionamiento de la ubicación correcta del defecto se acude al desplazamiento transversal ya que en base a este se encuentra el máximo pico y la ubicación aproximada y que esta a **2 m m** por debajo de la línea de referencia que es la cara superior de la placa a más de una distancia de **62 m m** del cordón de soldadura a lo largo de su eje principal.
- **La orientación:** es casi imposible determinar la orientación del nido de poros, ya que es necesario tener un conocimiento mucho más avanzado para decir que orientación toma y a donde esta destinada a seguir creciendo.

- **La naturaleza:** la principal causa de formación de este defecto se debe a un electrodo húmedo acompañado de una alta temperatura debido al amperaje de soldeo.

FISURAS LONGITUDINALES

- **La forma:** Se puede decir que el defecto pertenece a una heterogeneidad de forma plana ya que presenta indicaciones que así lo ratifican, además esta se debe también a la profundidad que esta posea dentro del cordón de soldadura.
- **El tamaño:** se lo relaciona de acuerdo a la longitud que posiblemente puede tener la fisura, al relacionarla con el movimiento lateral, aunque de antemano se sabe que es de pequeño tamaño. (por no ser tan visible en pantalla)
- **La distancia:** esta determinada en base a la ubicación del palpador que muestra el mayor pico especialmente en el movimiento transversal, este indica la posición exacta del defecto y que con ayuda de la regleta poder ubicar este parámetro (aproximadamente 50 mm).
- **La orientación:** este parámetro fue apreciado de la mejor manera en los movimientos lateral y rotacional donde se tiene una continuidad en el haz, por un determinado instante, que permite decidir que el defecto es paralelo al cordón de soldadura y a la vez presenta irregularidades en todo el largo del cordón, es decir orientada de forma longitudinal.
- **La naturaleza:** determinada por la acción de agentes externos o ajenos al método de soldadura (como el usado en este ensayo el uso de Cu y su bajo punto de fusión) el alto amperaje y el mal procedimiento de soldadura, realiza fisuras no solo en una parte sino a todo lo largo del cordón de soldadura en el que el material ajeno como

el Cobre (Cu) se encuentre, además su naturaleza corresponde de que su forma se produzca este defecto (no solo por aporte de otro no metal Cobre Cu) sino como también por un enfriamiento rápido como se observa, además se deja a un lado las normas que indican como evitar la formación de este defecto, pero que a su vez dan pautas e indicios de como se puede producir y estudiar.

FISURAS TRANSVERSALES

- **La forma:** Se puede presumir que el defecto podría ser de forma plana ya que se muestra la presencia de un pico que mantiene su misma distancia de recorrido a pesar de ir cambiando la posición del palpador a lo largo de la placa base en estudio, además como se tiene la forma que sirve de ayuda se puede dar esta apreciación de que su forma es del tipo plana.
- **El tamaño:** se lo relaciona de acuerdo al movimiento transversal en la que se aprecia que conforme se sigue desplazando el palpador se encuentra su presencia en el exterior del cordón de soldadura y se puede presumir que corresponde a un gran tamaño a todo lo ancho del cordón de soldadura lo que es perjudicial en cualquier tipo de estructura o trabajo que se realice ya que será por este defecto que se proyecta una futura falla o rotura y el colapso de cualquier tipo de construcción.
- **La distancia:** esta determinada en base a la ubicación del palpador que muestre el mayor pico especialmente en el movimiento transversal, este indica la posición exacta del defecto y que con ayuda de la regleta se puede ubicar este parámetro, coincide con lo que se proyecta y de esta forma poder decir que el defecto esta dentro de lo que se predijo haciendo más valida que el estudio realizado es el correcto.

- **La orientación:** este parámetro es apreciado de la mejor manera en el movimiento lateral donde se observa una continuidad del haz por un determinado instante, que permite decir que el defecto es perpendicular al cordón de soldadura y de gran profundidad (casi en todo el último cordón de relleno) y a la vez presenta irregularidades acompañado de poros, presentes también en el cordón, como se puede apreciar el movimiento rotacional.
- **La naturaleza:** esta determinada por el proceso de soldadura, y un enfriamiento rápido; es decir; lo que se hizo es enfriar rápidamente una vez realizado el último cordón de relleno en la junta, de esta manera las fisuras se presentan de forma brusca queriendo resquebrajarse por todos lados y además el alto amperaje usado hace que obtener este tipo de defecto sea más fácil.

INCLUSIÓN

- **La forma:** Se puede presumir que el defecto posee una forma esférica ya que se muestra la presencia de dos picos muy importantes que mantiene su misma distancia de recorrido a pesar de ir cambiando la posición del palpador a lo largo de la placa base en estudio, además como se tiene la forma de heterogeneidad que sirve de ayuda se puede dar esta apreciación de que su forma es del tipo plana.
- **El tamaño:** se lo relaciona de acuerdo al movimiento transversal, en la que se aprecia que conforme se sigue desplazando el palpador se observa su presencia a una distancia de **5 mm** medido a partir del límite superior de la placa base, esto lo se puede comprobar gracias a la utilización de la regleta de recorrido, también se puede presumir que corresponde a un gran tamaño esto se aprecia claramente en el movimiento lateral respectivamente.

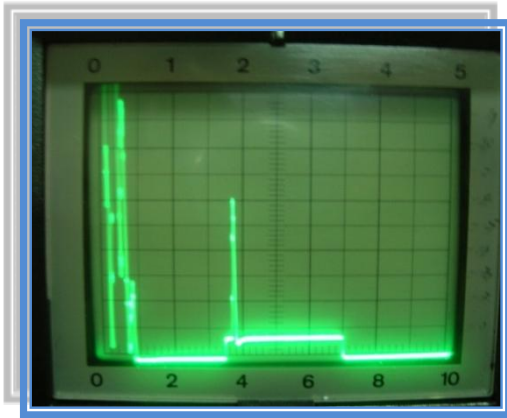
- **La distancia:** esta determinada en base a la ubicación del palpador que muestra el mayor pico especialmente en el movimiento transversal, aproximadamente a **5 mm** en el interior del cordón de soldadura, o sino comprobar con la ayuda de la regleta, ya que esta indica la posición exacta del defecto y poder ubicar este parámetro.
- **La orientación:** como es un defecto del tipo plana se puede dar una apreciación en cuanto a su orientación se dice que es longitudinal, como se presencia al visualizar una continuidad del haz.
- **La naturaleza:** determinada por el proceso de soldadura que se lleva a cabo en la placa base, es decir; como lo que se hizo es introducir una varilla de tungsteno (alto punto de fusión respecto al metal base) rápidamente una vez que se realiza los primeros cordones de relleno en la junta, y luego de ello la inclusión fue cubierta por los posteriores cordones y de ahí que su presencia es muy clara.

5.3 GUÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LAS INDICACIONES EN LA INSPECCIÓN ULTRASÓNICA.

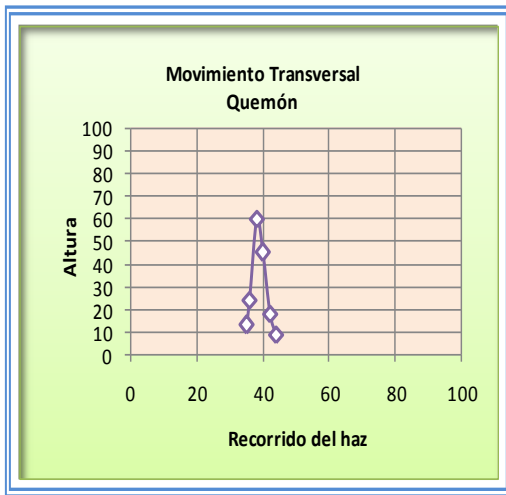
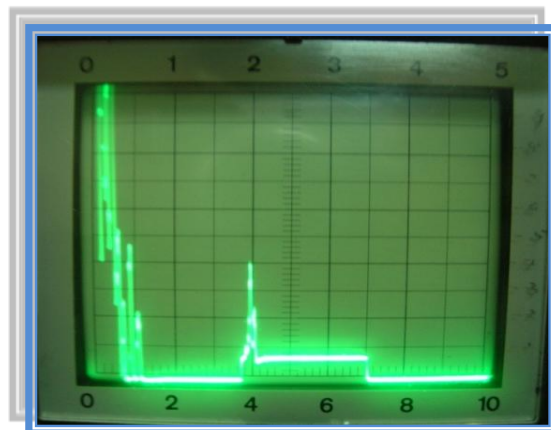
Es muy difícil decidir o elegir un tipo de señal y establecer a que tipo defecto pertenece, esto requiere de mucha experiencia, que con los años se la adquiere, es por eso que durante todo el estudio realizado en esta tesis se puede dar una pequeña pero importantísima aproximación, a que tipo de defecto se aproxima la señal obtenida en pantalla del equipo.

QUEMÓN

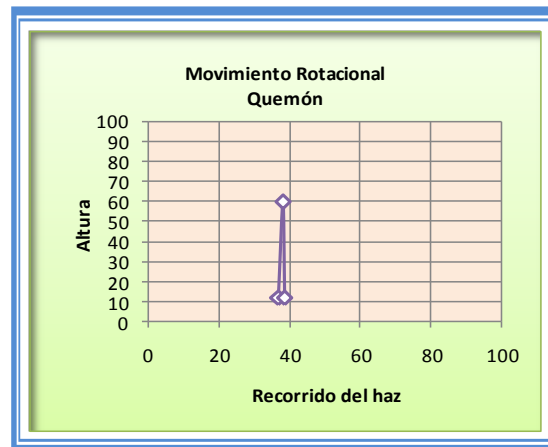
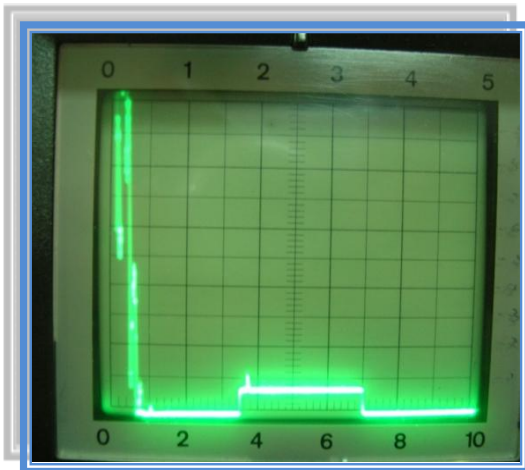
Desplazamiento Transversal



Desplazamiento Lateral

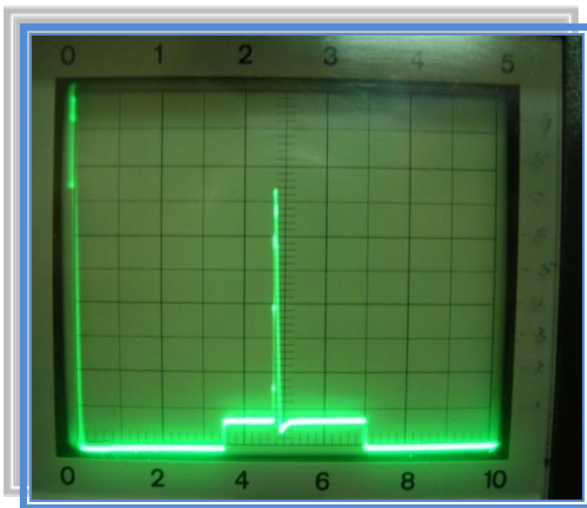


Desplazamiento Rotacional.

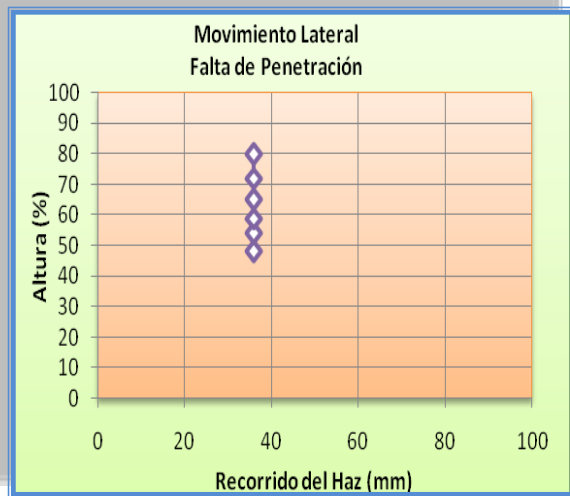
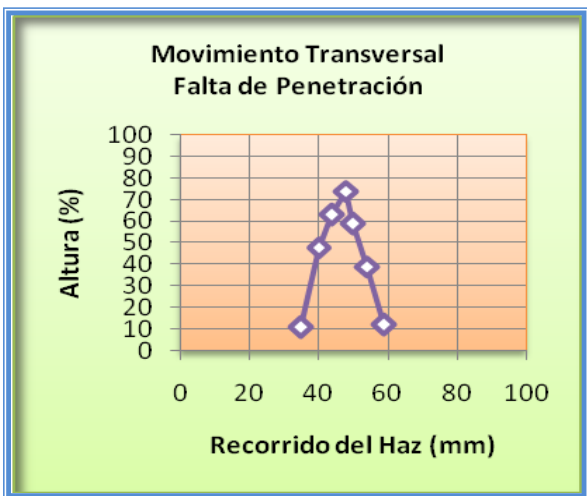
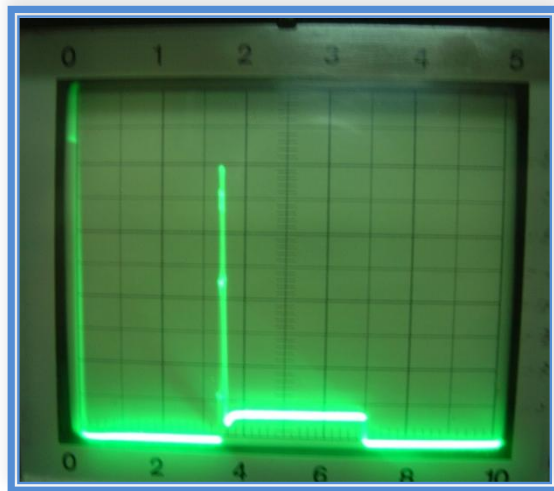


FALTA DE PENETRACIÓN

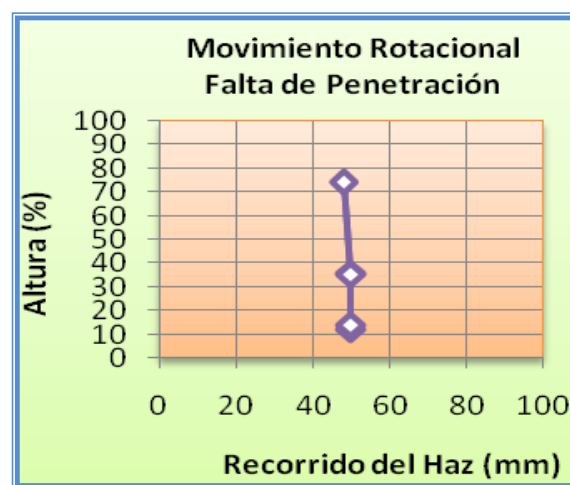
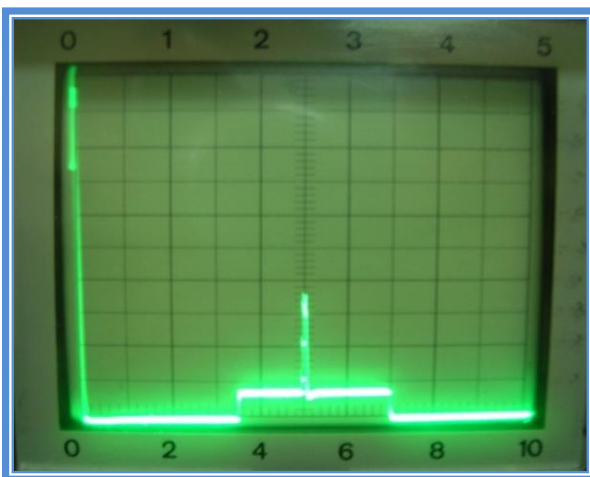
Desplazamiento Transversal



Desplazamiento Lateral

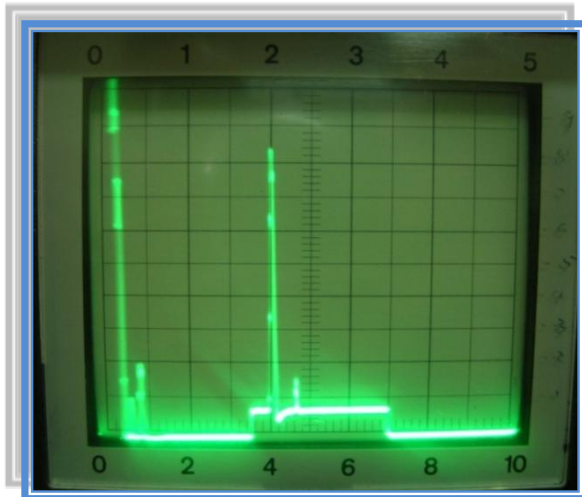


Desplazamiento Rotacional.

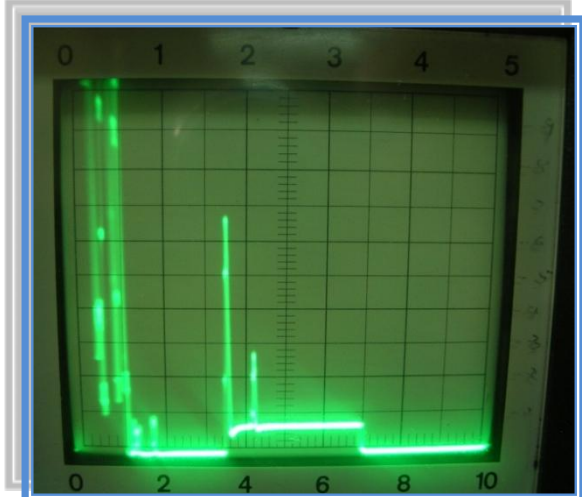


PENETRACIÓN EXCESIVA

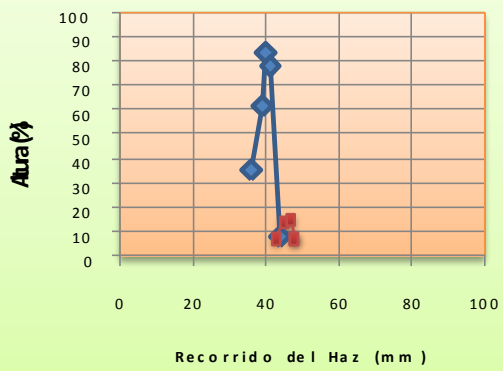
Desplazamiento Transversal



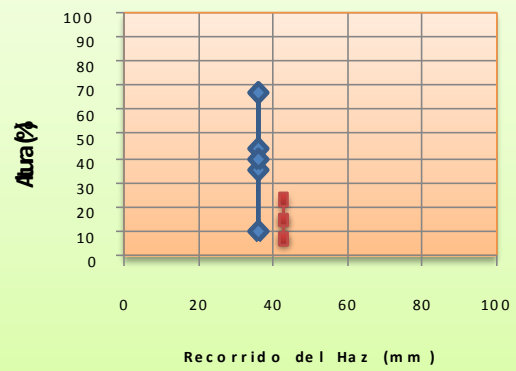
Desplazamiento Lateral



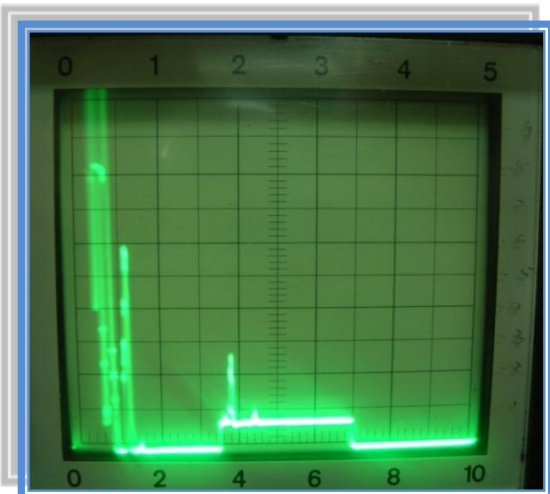
Movimiento Transversal
Penetración Excesiva



Movimiento Lateral
Penetración Excesiva



Desplazamiento Rotacional.

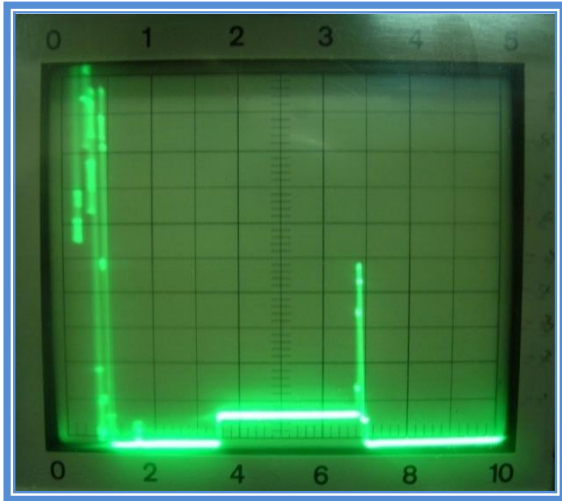


Movimiento Rotacional
Penetración Excesiva

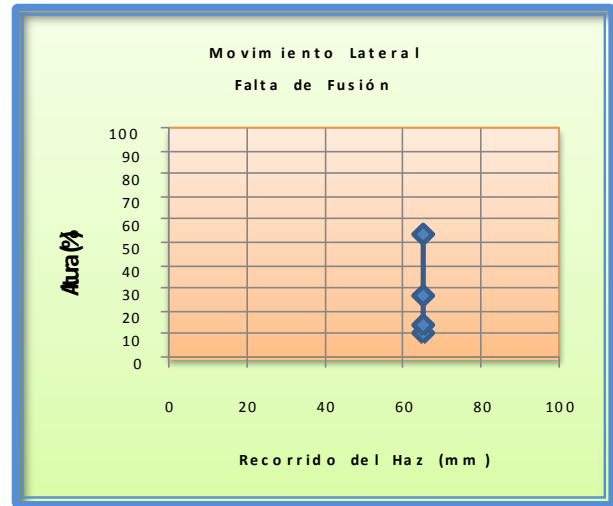
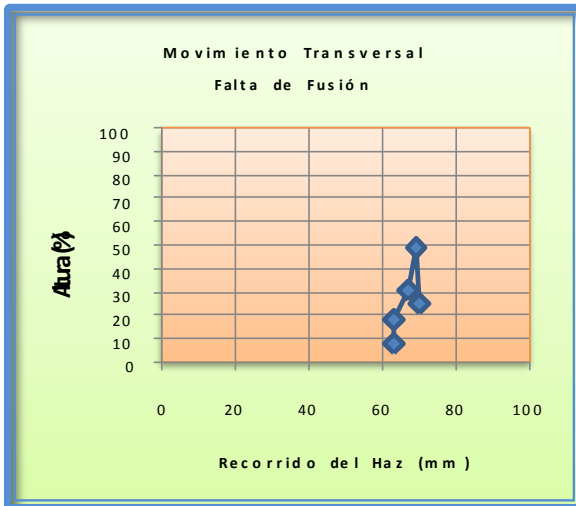
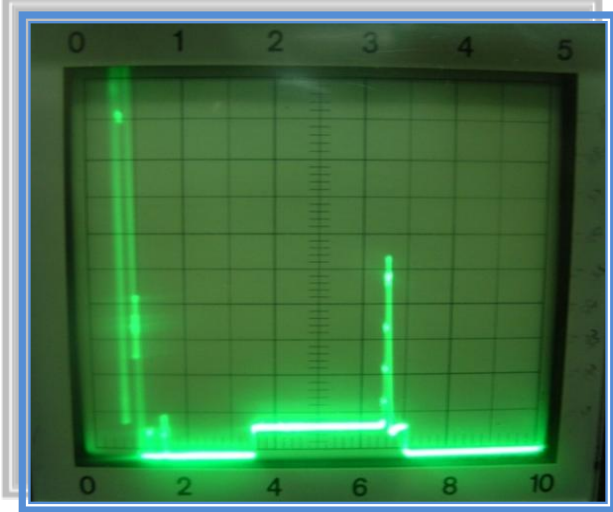


FALTA DE FUSIÓN

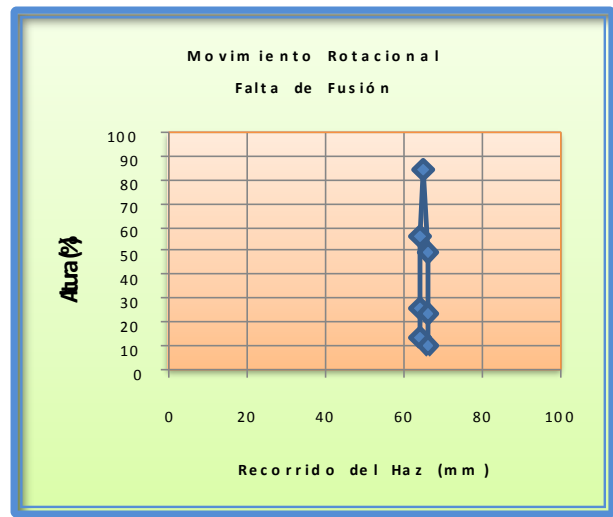
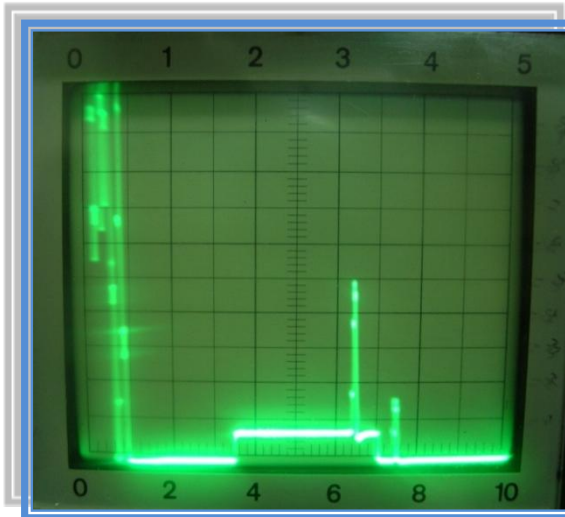
Desplazamiento Transversal



Desplazamiento Lateral

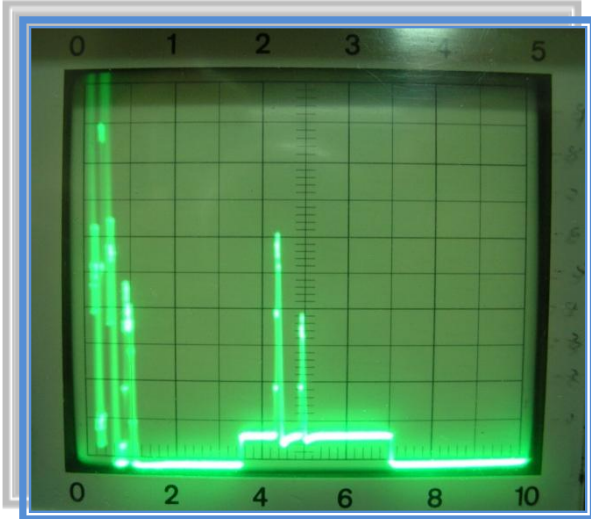


Desplazamiento Rotacional.

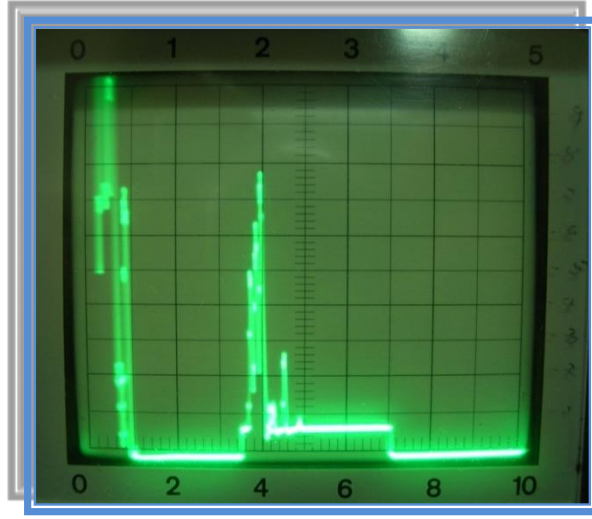


ESCORIAS

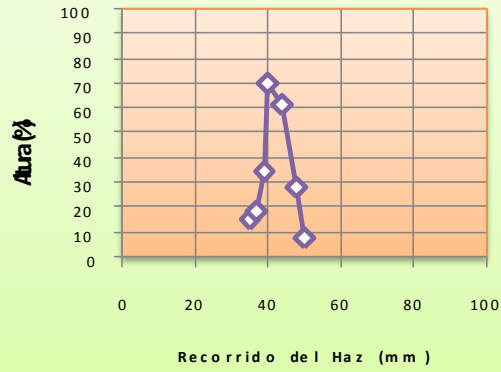
Desplazamiento Transversal



Desplazamiento Lateral



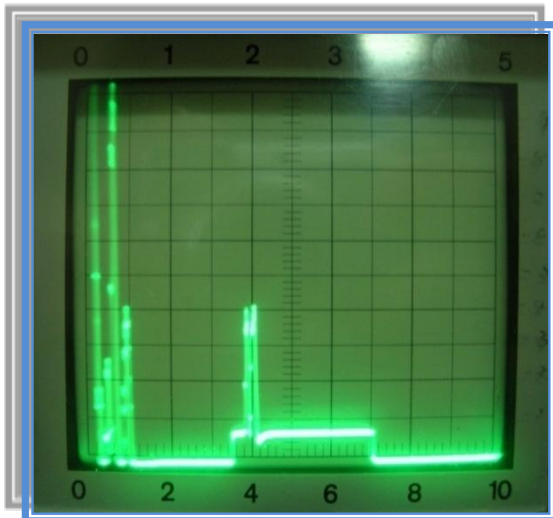
Movimiento Transversal Escorias



Movimiento Lateral Escorias



Desplazamiento Rotacional

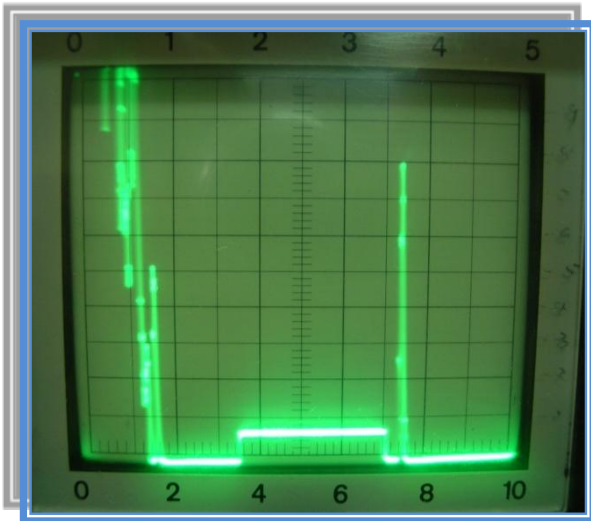


Movimiento Rotacional Escorias

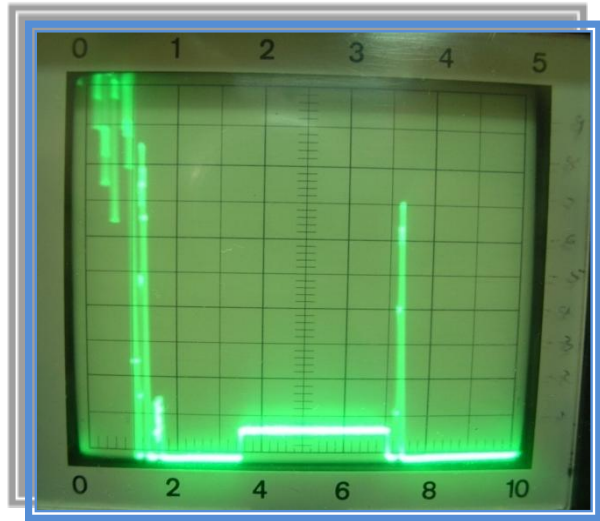


MORDEDURAS

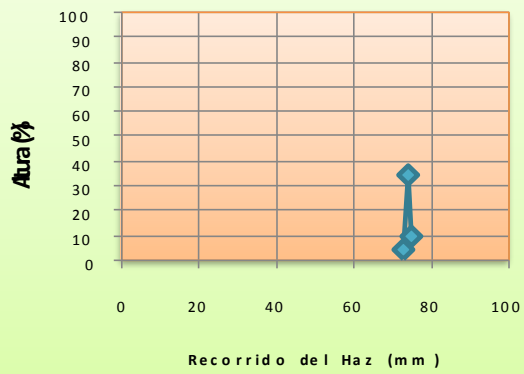
Desplazamiento Transversal



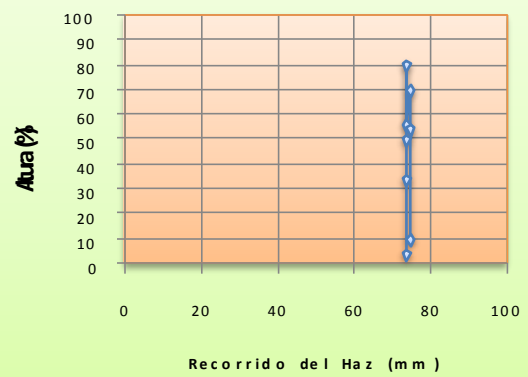
Desplazamiento Lateral



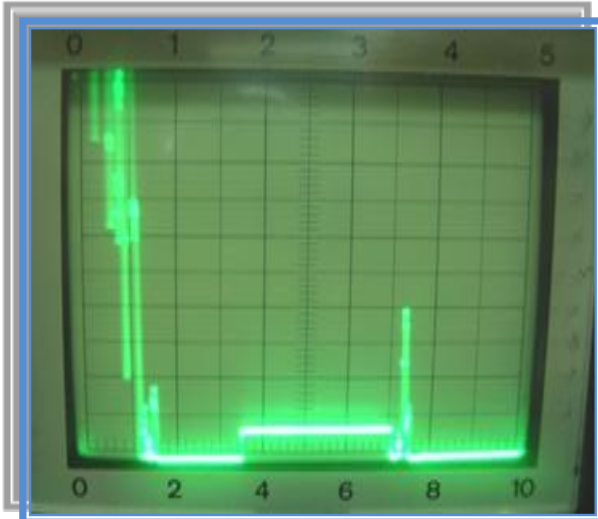
Movimiento Transversal
Mordeduras



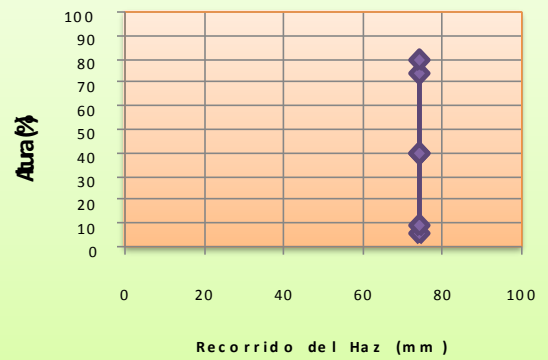
Movimiento Lateral
Mordeduras



Desplazamiento Rotacional

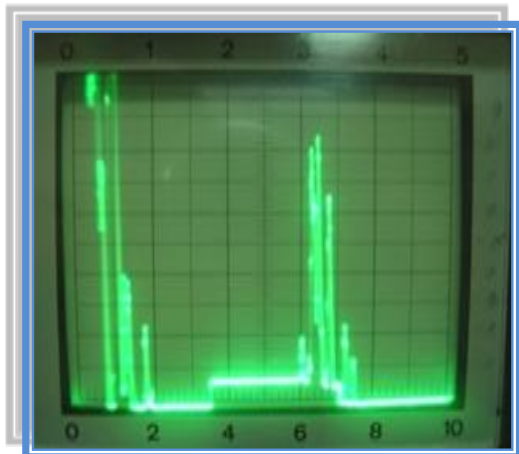


Movimiento Rotacional
Mordeduras

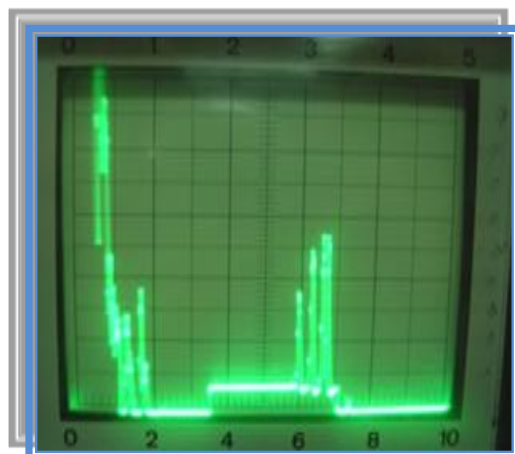


P O R O S

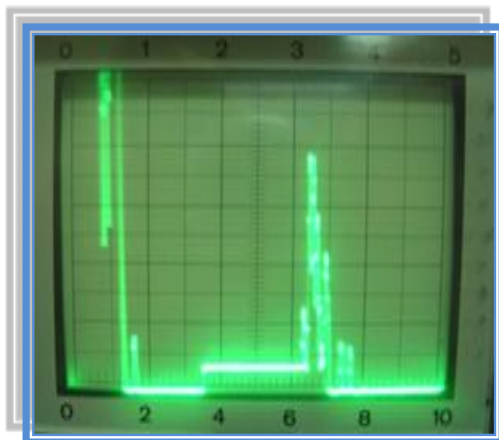
Desplazamiento Transversal



Desplazamiento Lateral

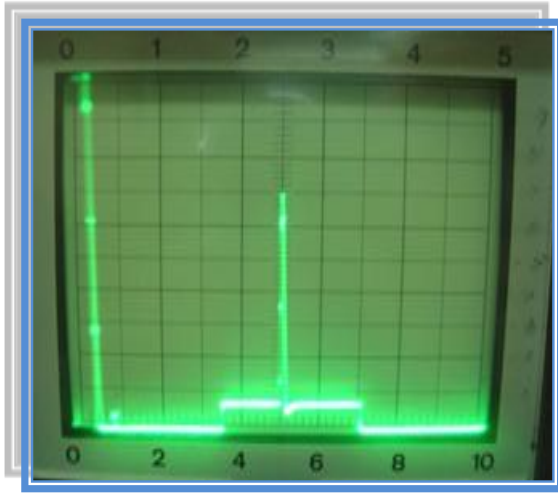


Desplazamiento Rotacional.

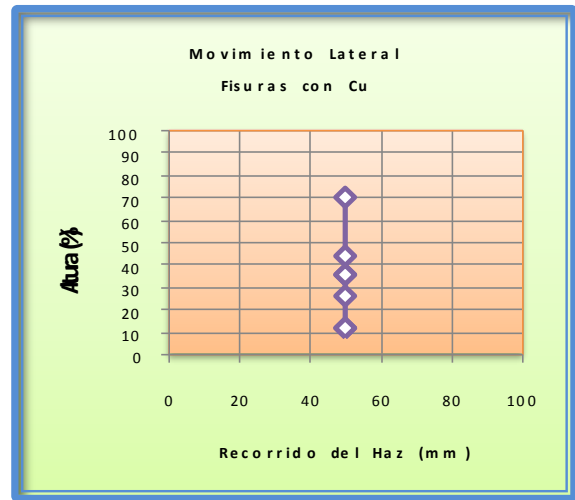
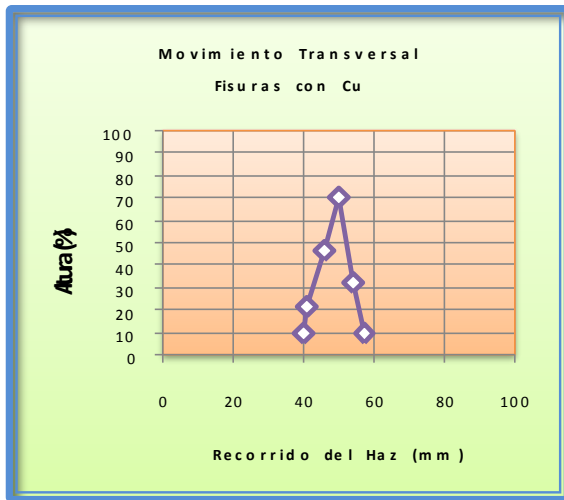
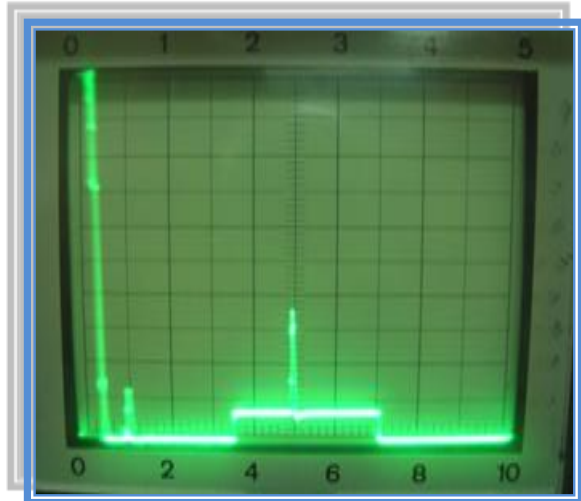


FISURAS LONGITUDINALES.

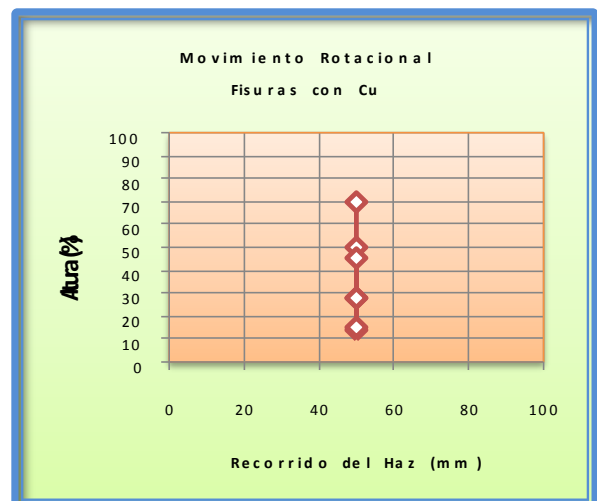
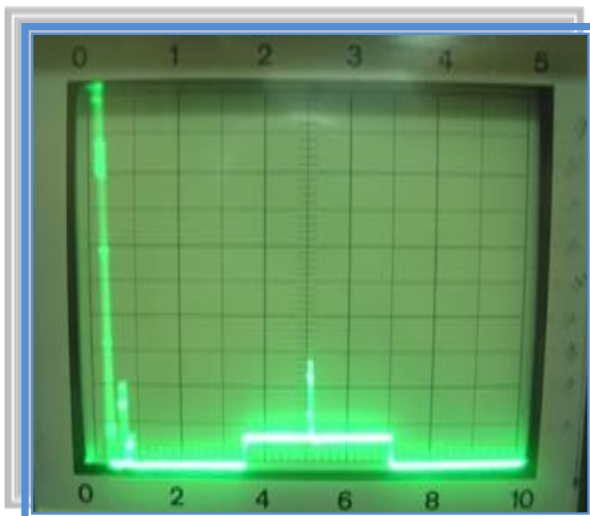
Desplazamiento Transversal



Desplazamiento Lateral

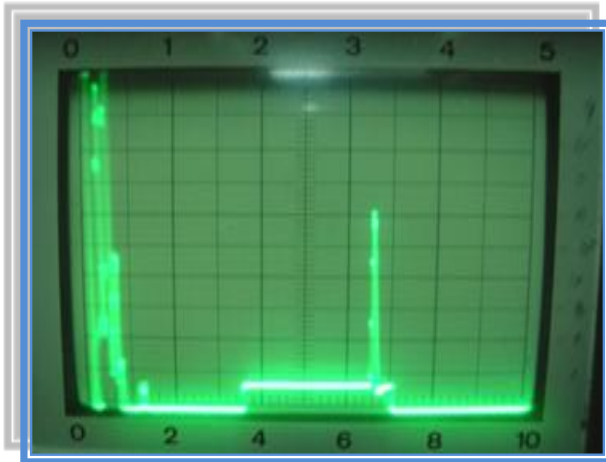


Desplazamiento Rotacional.

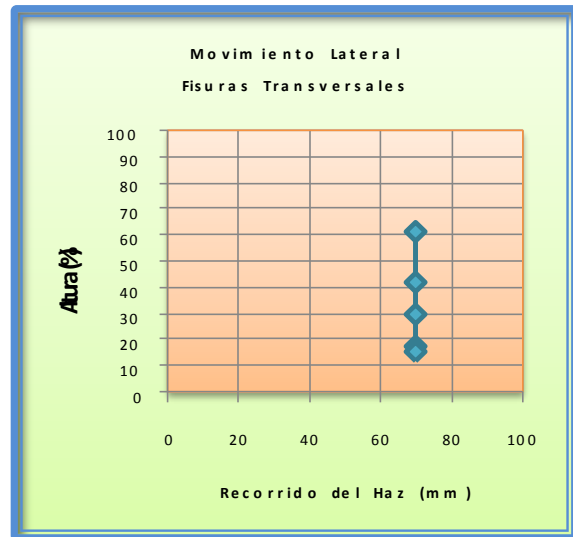
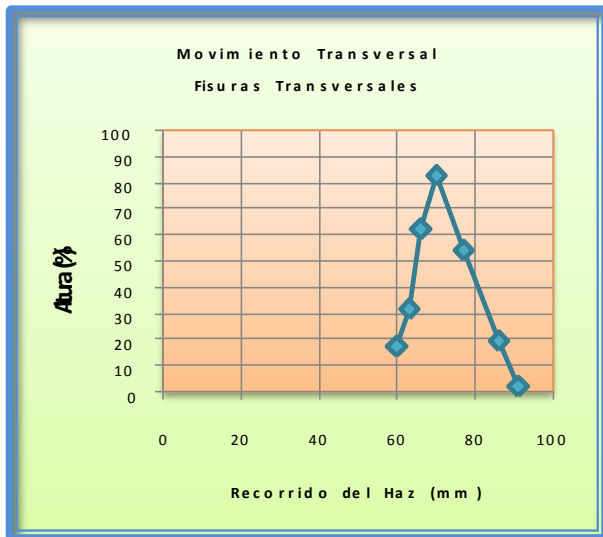
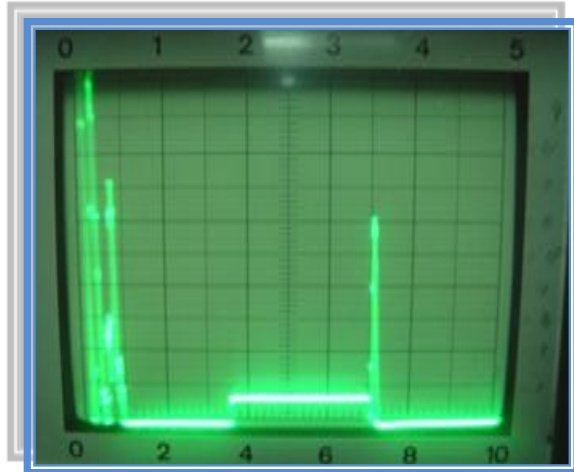


FISURAS TRANSVERSALES

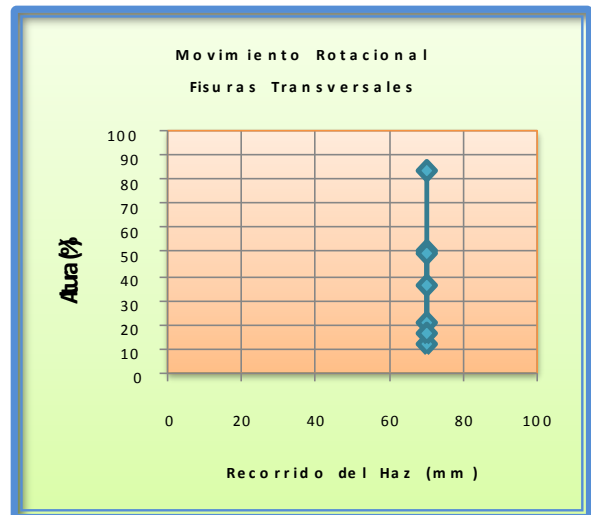
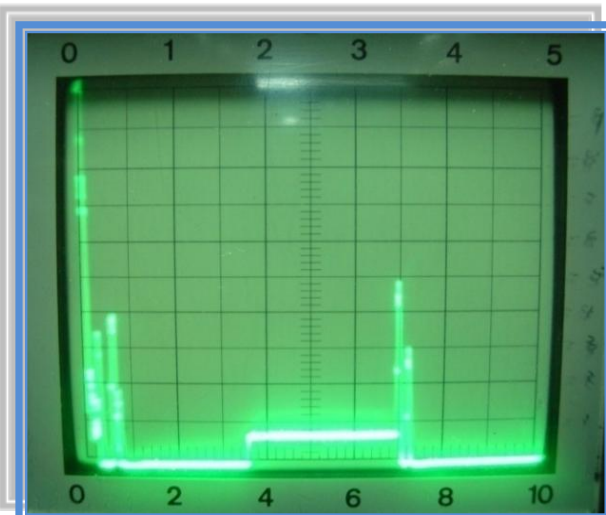
Desplazamiento Transversal



Desplazamiento Lateral

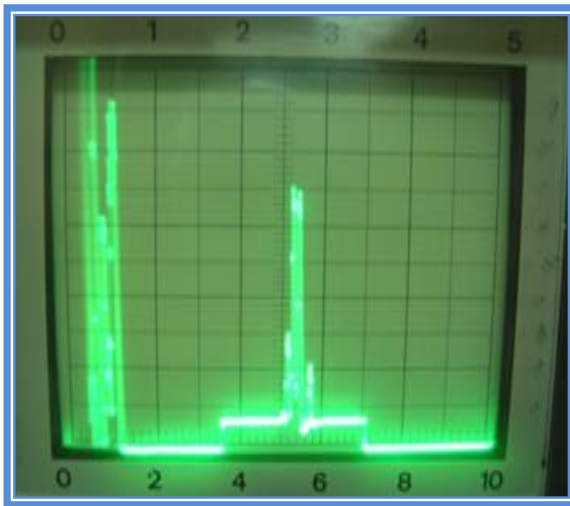


Desplazamiento Rotacional.

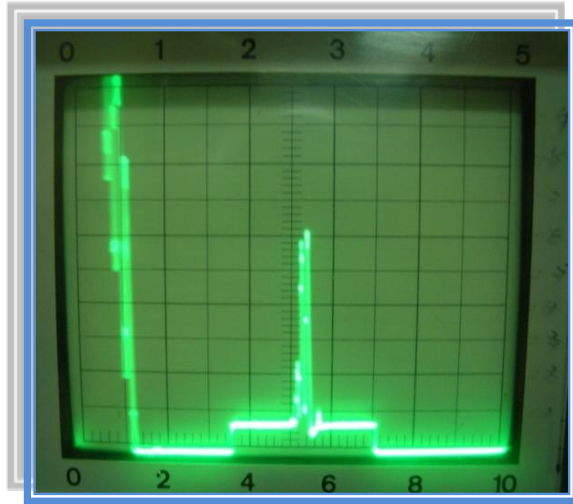


INCLUSIÓN

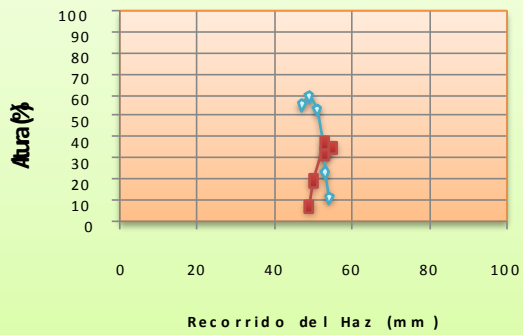
Desplazamiento Transversal



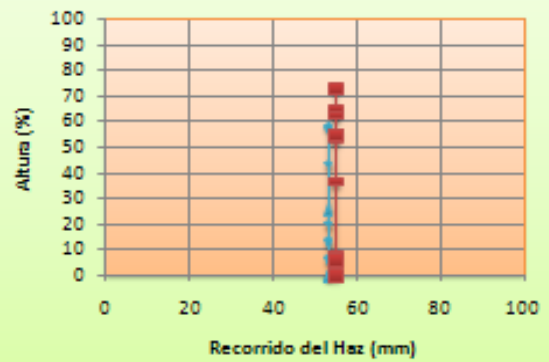
Desplazamiento Lateral



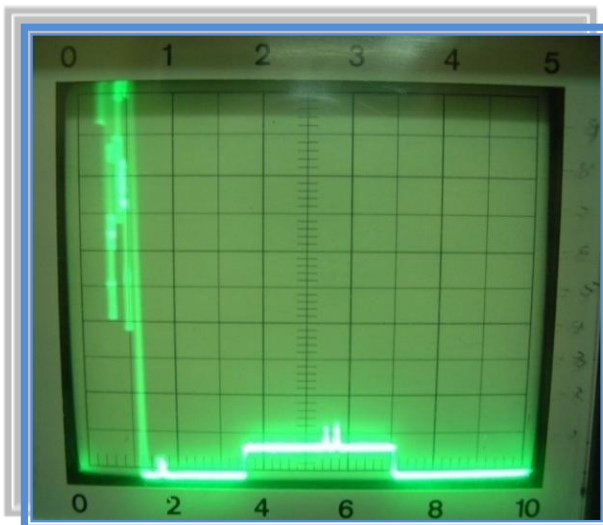
Movimiento Transversal
Inclusión
Inclusión de Tg



Movimiento Lateral
Inclusión
Inclusión de Tg



Desplazamiento Rotacional.



Movimiento Rotacional
Inclusión
Inclusión de Tg



CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 CONCLUSIONES.

Se ha analizado el problema de la identificación de heterogeneidades, de lo cual se deduce lo siguiente:

- Se ha obtenido patrones que permitirán correlacionar la forma de la señal ultrasónica con defectos característicos de soldadura.
- Se ha analizado los principales defectos que se pueden encontrar con más frecuencia en las uniones soldadas, así como las causas que producen los mismos.
- Se ha llegado a desarrollar una guía que será de gran ayuda en la identificación y caracterización de los índices correspondientes a defectos que aparecen en la pantalla de un equipo de ultrasonidos.
- En los nidos de poros es muy difícil graficar una curva que describa su presentación, es por eso que con solo ver en pantalla varios picos unidos uno a continuación de otro se deducirá que efectivamente se está en presencia de un nido de poros.
- En esta tesis se establecen patrones guía de las señales ultrasónicas que se pueden presentar y que caracterizan a tal o cual defecto, y que ha sido el resultado de un estudio muy minucioso de las técnicas y formas de obtener las señales que se necesita al momento de interpretar los resultados y descartar las que perjudican al momento de realizar su estudio.
- Es muy complicado realizar una caracterización de un defecto es por ello que se necesita en el futuro de una persona con mucha experiencia a más de documentos escritos, de

equipos más sofisticados, que con el avance de la tecnología mostrarán un camino más seguro para futuros estudios e interpretaciones más acertadas.

- Algunos de los defectos son muy difíciles de caracterizar dado el grado de complejidad que tienen, es por ello que las apreciaciones que se tiene al momento de dar un criterio acertado para su caracterización debe ser previamente estudiada para no cometer errores de caracterización.
- Las Curvas DAC han servido de gran ayuda para la caracterización de defectos, ya que con este parámetro se puede decidir si son o no son un defecto, y lo que es mejor aún determinar si el defecto tiene un mayor o menor tamaño que el defecto patrón que sirvió para construir las curvas DAC, es decir 1/16 in (1.6 mm).

6.2 RECOMENDACIONES.

- Para cada nueva inspección el equipo debe ser calibrado nuevamente, ya que de no hacerlo esto provocaría un cambio en la interpretación de resultados producidos por el haz ultrasónico.
- Se debe recabar la información referente al material que se inspecciona, y las condiciones a las que se realiza la soldadura.
- Para estar plenamente seguros de los resultados se debe complementar la inspección ultrasónica con otro método de inspección (Ej. Radiografías).
- Se recomienda reproducir patrones adicionales con defectos, para poder tener mayor certeza en el momento de la caracterización.
- Se recomienda que el uso del instructivo y patrones presentes en esta tesis están sujetos a mejoras y cambios, y que se sugiere que este tema sea aún más desarrollado en lo posterior ya que es un tema muy interesante de estudiar.

BIBLIOGRAFÍA.

SEFERIAN, D. Metalurgia de la Soldadura. 3era.ed. España: URM O S.A, 1981.

ECHEVERRIA, R. Defectodología en la Soldadura. Buenos Aires: Universidad Nacional de COM AHUE. Lab. Ensayos No Destructivos, 2002.

AENDUR, S.A. Normas, Discontinuidades y Defectos en Soldaduras, 2005.

RUÍZ, R. Ensayos No Destructivos e Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas. México: Urm o, 1971.

CALDERÓN Y JULIA. Absorción de Gases. México: UNMSM, 2005.

AMERICAN WELDING SOCIETY. D1.1/D1.1M :2002. 8va.ed. E.E.U.U :
Structural Welding Code Steel, 2001

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA NACIONAL. Guía de Laboratorio de Ensayos No Destructivos, 2005.

AMERICAN WELDING SOCIETY. AWS D1.1/D1.1M :2002. 18va.ed.
E.E.U.U : Structural Welding Code Steel, 2001.

LINK O G R A F I A .

Soldadura por Arco Eléctrico.

www.mx.geocities.com/leon_df/soldadura.
2009-04-16

Defectos en Soldadura

www.Defectos en la soldadura.com.
2007-04-16

Defectos y Correcciones.

www.W estRode.pdf.
2008-05-04