UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Titulación

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

CALIBRACIÓN DEL EQUIPO DE ULTRASONIDO EPOCH 1000i Y PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE LOS CORDONES DE SOLDADURA DE LA ESTRUCTURA METÁLICA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE CIENCIAS AGROPECUARIAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ.

AUTOR:

ANDRADE ZAMBRANO ERICK ENRIQUE

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN:

Ing. Lenin Pita Cantos M. Sc.

PORTOVIEJO – MANABÍ – ECUADOR

2016

DEDICATORIA

Dedico esta meta a mis padres Fanny Zambrano Vera y Enrique Andrade Zambrano por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros se los debo a ustedes en especial este. Me formaron con reglas y algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis ideales son los mejores padres del mundo.

A mi hermano Henry Valentín Andrade, por su apoyo incondicional, afirmaste en mí las bases de responsabilidad y deseos de superación, te admiro mucho hermano.

A mis hermanos María Annabelly Andrade y José Enrique Andrade que con su apoyo moral y sus concejos, ayudaron de una u otra manera a mi culminación universitaria.

A mi novia Gema Valdez por su cariño, comprensión y constante estimulo.

ERICK ANDRADE ZAMBRANO

AGRADECIMIENTO

Agradezco inmensamente a la Universidad Técnica de Manabí por haberme aceptado para ser parte de ella y abrirme las puertas para poder estudiar mi carrera, así como también a los diferentes docentes que la conforman, gracias a ellos por brindarme sus conocimientos y sapiencias.

Asimismo agradezco a mi tutor de tesis Ing. Lenin Pita por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad, conocimientos científicos y a la vez guiarme durante todo el desarrollo de la tesis.

Y para terminar, también agradezco a todos los que estuvieron como mis compañeros de clase durante todos los niveles ya que gracias a la amistad y el apoyo, contribuyendo con mis ganas de seguir adelante en mi carrera profesional.

ERICK ANDRADE ZAMBRANO

CERTIFICACIÓN

Quien suscribe la presente Ingeniero Lenin Pita Cantos Vicedecano de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, en calidad de Tutor del trabajo de titulación **"CALIBRACIÓN DEL EQUIPO DE ULTRASONIDO EPOCH 1000i Y PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE LOS CORDONES DE SOLDADURA DE LA ESTRUCTURA METÁLICA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE CIENCIAS AGROPECUARIAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ"**, desarrollada por el profesional: Erick Enrique Andrade Zambrano; en este contexto, tengo a bien extender la presente certificación en base a lo determinado en el Art. 8 del reglamento de titulación de vigencia, habiendo cumplido con los siguientes procesos:

- Se verificó que el trabajo desarrollado por el profesional cumple con el diseño metodológico y rigor científico según la modalidad de titulación aprobada
- Se asesoró oportunamente al estudiante en el desarrollo del trabajo de titulación
- Presentó el informe del avance del trabajo de titulación a la Comisión Titulación Especial de la Facultad.
- Se confirmó la originalidad del trabajo de titulación
- Se entrego al revisor una certificación de haber concluido el trabajo de titulación

Cabe mencionar que durante el desarrollo del trabajo del trabajo de titulación el profesional puso mucho interés en el desarrollo de cada una de las actividades de acuerdo al cronograma trazado

Particular que certifico para fines pertinentes

Ing. Lenin Pita Cantos
TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Lenin Pita Cantos
TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

INFORME DEL TRABAJO D

INFORME DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Luego de haber realizado el trabajo de titulación, en la modalidad de investigación y que lleva por tema "CALIBRACIÓN DEL EQUIPO DE ULTRASONIDO EPOCH 1000i Y PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE LOS CORDONES DE SOLDADURA DE LA ESTRUCTURA METÁLICA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE CIENCIAS AGROPECUARIAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ", desarrollado por el señor Erick Enrique Andrade Zambrano con cedula N° 131317868-1, previo a la obtención del título de INGENIERO MECÁNICO, bajo la tutoría y control del Ing. Lenin Pita Cantos, Vicedecano de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, aprobado por el H. Consejo Universitario, cumplo con informar que en la ejecución del mencionado trabajo de titulación, su autor:

- Ha respetado los derechos de autor correspondiente a tener menos del 10% de similitud con otros documentos existentes en el repositorio.
- Han aplicado correctamente el manual de estilo de la Universidad Andina Simón Bolívar de Ecuador.
- Las conclusiones guardan estrecha relación con los objetivos planteados
- El trabajo posee suficiente argumentación técnica científica, evidencia en el contenido bibliográfico consultado
- Mantiene rigor científico en las diferentes etapas de su desarrollo.

Sin más que informar suscribo este documento no vinculante para los fines pertinentes.

Ing. Manuel Cordova Guaigua
REVISOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

V

DECLARACIÓN SOBRE DERECHOS DE AUTOR

ANDRADE ZAMBRANO ERICK ENRIQUE, egresado de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Declaro que:

El Trabajo de Titulación denominada "**CALIBRACIÓN DEL EQUIPO DE ULTRASONIDO EPOCH 1000i Y PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE LOS CORDONES DE SOLDADURA DE LA ESTRUCTURA METÁLICA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE CIENCIAS AGROPECUARIAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ**", ha sido desarrollada en base a una exhaustiva investigación, respetando derechos intelectuales de terceros, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía, en consecuencia este trabajo de titulación es fruto del esfuerzo, entrega y dedicación.

Andrade Zambrano Erick Enrique

NDICE

Dedicatoria II

Agradecimiento III

Certificación IV

Informe del trabajo de titulación V

Declaración sobre derechos de autor ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Indice VII

Resumen XIV

Summary XV

1. Tema 1

2. Planteamiento del problema 1

3. Revisión de la literatura y desarrollo del marco teórico. 3

3.1. Antecedentes 3

3.2. Justificación 4

3.3. Marco teórico 5

3.3.1. Estructuras metálicas 5

3.3.1.1. Características de los materiales metales empleados en las estructuras metálicas 5

3.3.1.2. Perfiles de acero 6

3.3.2. Soldadura 7

3.3.2.1. Clasificación general de los procesos de soldadura 8

3.3.2.2. Soldadura por arco eléctrico 8

3.3.2.3. Tipos de soldaduras 11

3.3.2.4. Tipos de juntas 12

3.3.2.5. Electrodos 13

3.3.2.6. Defectos de soldadura 14

3.3.2.6.1. Fisuras y grietas 15

3.3.2.6.2. Inclusiones solidas 16

3.3.2.6.3. Falta de fusión y de penetración 17

3.3.2.6.4. Porosidad 17

3.3.2.6.5. Rechupes 18

3.3.2.6.6. Defectos externos 19

3.3.2.7. Inspección de la soldadura 19

3.3.3. Ensayos no destructivos (end) 20

3.3.4. Inspección por ultrasonido 21

3.3.4.1. Nociones de acústica 22

3.3.4.2. Tipos de ondas 23

3.3.4.3. Impedancia acústica 24

3.3.4.4. Frecuencias 24

3.3.4.5. Descomposición de ondas 25

3.3.4.6. Ley de SNELL 26

3.3.4.7. Generación y recepción de vibraciones ultrasónicas 27

3.3.4.8. Equipo ultrasonido EPOCH 1000i 27

3.3.4.9. Palpadores 29

3.4.4.9.1. Palpadores incidencia normal 30

3.4.4.9.2. Palpadores de incidencia angular 31

3.4.4.10. Métodos por contacto y por inmersión 35

3.4.4.11. Método de presentación de datos 36

3.4.4.12. Inspección de soldaduras por ultrasonido 38

3.4.4.13. Zona de barrido del palpador 40

3.4.4.14. Desplazamiento longitudinal del palpador 41

3.4.4.15. Movimiento complementario del palpador 42

3.4.4.16. Localización de defectos 43

3.4.4.17. Calibración del equipo ultrasónico 44

3.4.4.18. Bloques de calibración 44

3.4.4.18.1. Bloque de calibración astm e164 iiw 44

3.4.4.18.2. Bloque de calibración de precisión de 5 niveles de espesor 46

3.4.4.18.3. Bloque de calibración iso 7963 mab 46

3.4.4.19. Tipos de calibración 47

3.4.4.19.1. Calibración con palpadores rectos 47

3.4.4.19.2. Calibración con palpadores angulares 48

3.4.4.20. Procedimiento de calibración del equipo EPOCH 1000i 48

3.3.4.10. Ajustar los parámetros iniciales para la calibración 49

3.3.4.11. Localizar el punto índice de emisión (BIP) 50

3.3.4.12. Verificar el ángulo refractado 51

3.3.4.13. Calibración de distancia 52

3.3.4.14. Calibración para sensibilidad 53

3.4.4.21. Evaluacion de discontinuidades 54

3.4.4.21.1. Curvas dac 54

3.4.4.21.2. Suma de las alturas de los reflectores 55

3.4.4.21.3. Evaluacion del tamaño de las discontinuidades 56

3.4.4.22. Códigos y normas para inspecciónes por ultrasonido 56

3.4.4.22.1. Código 57

3.4.4.22.2. Normas 57

3.4.4.23. Código AWS D1.1 58

3.4.4.23.1. Procedimiento para aceptación UT AWS D1.1. 58

3.4.4.23.2. Requerimientos de calificación del operador 59

3.4.4.23.3. Requerimientos del equipo. 59

4. Visualizacion del alcance del estudio 60

5. Desarrollo del diseño de investigación 61

5.1. Objetivos 61

5.1.1. Objetivo general 61

5.1.2. Objetivo específicos 61

5.2. Campos de acción 61

5.3. Procedimiento para la inspección por ultrasonido de los cordones de soldadura de la estructura metálica del Centro de Investigaciones de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Manabí. 62

5.3.1. Objetivo 62

5.3.2. Alcance 62

5.3.3. Norma de referencia 63

5.3.4. Personal 63

5.3.5. Materiales y espesores 63

5.3.6. Detalles dimensionales 63

5.3.7. Equipo de ultrasonido 63

5.3.8. Palpador 63

5.3.8.1. Barrido A 64

5.3.8.2. Barrido B 64

5.3.9. Técnica a ser usada 64

5.3.10. Método de calibración 64

5.3.11. Curvas de referencia 65

5.3.12. Ajuste de sensibilidad 65

5.3.13. Condición superficial 65

5.3.14. Acoplante 66

5.3.15. Requisitos adicionales 66

5.3.16. Criterio de registro identificacion y método de dimensionamiento de discontinuidades 66

5.3.17. Criterios de aceptación 66

5.3.18. Sistema de rastreabilidad 66

5.3.19. Hoja de reporte: 66

6. Recolección de los datos 67

7. Análisis de los datos 67

8. Conclusiones y recomendaciones 68

8.1. Conclusiones 68

8.2. Recomendaciones 69

Presupuesto 70

Cronograma 71

Bibliografía 72

Anexos 74

RESUMEN

El principal objetivo de esta investigación fue realizar la calibración del equipo EPOCH 1000i y realizar el procedimiento de inspección para el análisis de los cordones de soldadura de la estructura metálica del Centro de Investigación de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Manabí.

En este trabajo se llevó a cabo la calibración del equipo Olympus de la serie EPOCH 1000i utilizando configuraciones y estándares adecuados para que el equipo sea utilizado en óptimas condiciones, también se desarrolló un procedimiento para la inspección de soldaduras, el cual permitirá que el análisis de los cordones de las estructuras metálicas sea realizado de forma rápida, ordenada y sencilla, para que la persona que va a ejecutar un ensayo de ultrasonido tenga una guía confiable.

Para esto se realizaron un estudio de los principios teóricos tanto de soldadura como de ultrasonido, como también las capacidades que tiene el equipo Olympus EPOCH 1000i para la evaluación de discontinuidades. Para la elaboración del procedimiento de inspección se estableció el código AWS D1.1., la cual es un código de construcción que se ha utilizado por años y proporcionan seguridad a la integridad de las soldaduras.

SUMMARY

The main objective of this research was conducted EPOCH 1000i calibration equipment and performing the inspection procedure for the analysis of the welding seams of the metal structure of the Research Center of Agricultural Sciences at the Technical University of Manabí.

This work was carried out calibration of the EPOCH 1000i series Olympus equipment using configurations and appropriate standards for equipment to be used in good condition, a procedure for the inspection of welds, which will allow also it developed the analysis laces metal structures is performed quickly, orderly and simple, so that the person who will run a test ultrasound have a reliable guide.

For this, a study of the theoretical principles both as ultrasound welding, as having capacity Olympus EPOCH 1000i equipment for evaluating discontinuities were performed. For the preparation of the inspection procedure code was established AWS D1.1., Which is a building code that has been used for years and provide security to the integrity of the welds.

1. TEMA

"CALIBRACIÓN DEL EQUIPO DE ULTRASONIDO EPOCH 1000i Y PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE LOS CORDONES DE SOLDADURA DE LA ESTRUCTURA METÁLICA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE CIENCIAS AGROPECUARIAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ"

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los ensayos no destructivos pueden aplicarse en cualquier etapa del proceso, bien sea para controlar la calidad de la materia prima, durante los procesos de producción, o como método de inspección para las distintas soldaduras. Si detectamos a tiempo las discontinuidades, los defectos e imperfecciones de cordones de soldadura puede ser de vital importancia para la seguridad de las estructuras metálicas.

El ensayo no destructivo por ultrasonido es muy utilizado para detectar discontinuidades superficiales e internas, pero también mide espesores, extensión y grado de corrosión, determinación de características físicas y caracterizar los enlace entre materiales.

Pero una de las limitaciones que tiene el utilizar un equipo de ultrasonido es que requiere de patrones de calibraciones y referencias para realizar análisis, el cual brinda la seguridad para que dicha medición sea realizada con mayor exactitud y alta sensibilidad para la detección de discontinuidades.

La práctica de pruebas ultrasónicas que se realiza bajo condiciones de operaciones inadecuadas puede variar la precisión y veracidad de nuestras mediciones.

La utilización del equipo EPOCH 1000i por los estudiantes de la carrera de ingeniería mecánica de la Universidad Técnica de Manabí requiere tener conocimientos de calibración y manejo de estos equipos para procesos de análisis de cordones de soldadura como práctica.

A su vez la falta de conocimientos de los operadores al momento de calibrar el equipo EPOCH 1000i y así mismo el no tener claro los procedimientos adecuados para realizar una correcta operación crea problemas y malos resultados.

Sumándole a esto a nivel profesional se exige la utilización de normas para un correcto ensayo, que proporcionen seguridad para la detección de discontinuidades inaceptables.

3. REVISIÓN DE LA LITERATURA Y DESARROLLO DEL MARCO TEÓRICO.

3.1. ANTECEDENTES

La estructura metálica del Centro de Investigaciones de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Manabí ubicado en la parroquia Lodana, del cantón Santa Ana, de la provincia de Manabí; ha sido construida por operarios e ingenieros para lo cual una de sus principales actividades que se realizo fue el proceso de soldadura. Para verificar que dicho proceso se la realizó de una manera correcta se procede a realizar un análisis de los cordones de soldadura de la estructura.

En la actualidad los análisis de soldadura con ultrasonido son de mayor utilización dentro del grupo de los ensayos no destructivos. Su uso tanto para medición de espesores como para la verificación de discontinuidades en la soldadura ha tenido mucha aceptación para los requerimientos a nivel industrial.

Pero él no contar con un personal calificado y equipos de ultrasonidos calibrados para la realización de inspecciones de soldaduras genera que dicho proceso muestre valores incorrectos y dichas inspecciones no tengan credibilidad.

Calibrar es la acción de comparar lo que indica un instrumento y lo que debería indicar de acuerdo a un patrón de referencia con un valor o dimensión conocida. Así un instrumento calibrado muestra que su uso ha sido validado y confiable. El hecho de que un instrumento de inspección de ultrasonido sea nuevo y parezca confiable, no garantiza necesariamente que sus indicaciones sean las correctas.

Según datos estadísticos, los errores por equipos mal calibrados y mal utilizados cuestan a las empresas miles de dólares, a su vez fabricar o inspeccionar piezas con equipos no calibrados puede producir problemas devolución de producto, refabricaciones y en general pérdidas de tiempo. La antiguo y tradicional expresión “ojímetro” ya no funciona en el mercado moderno, ya que las exigencias son mayores.

En la actualidad son pocos las obras que enseñan a como debe ser el procedimiento adecuado para realizar los análisis de cordones soldadura con equipos de ultrasonido.

Dichos conocimientos son muy importantes ya que permiten que los ingenieros especializados en estos ensayos afiancen conocimientos y además realicen su trabajo de una forma más exitosa.

En este proyecto se explicaran los principios básicos de la estructura construida, terminologías de soldaduras, así como las distintas discontinuidades, también que significa, como y cuál es la importancia de una correcta calibración, y a realizar un correcto análisis de cordones de soldadura basándose en la norma AWS D1.1. Como equipo de ultrasonido utilizaremos el de la serie EPOCH 1000i, que es un equipo muy utilizado en aplicaciones industriales y de investigación, que van desde el sector aeroespacial, energético, petroquímico, manufacturero, y de automoción hasta el sector de bienes de consumo.

3.2. JUSTIFICACIÓN

La prioridad del proyecto es de promover una mayor confiabilidad en los cordones de soldadura de la estructura metálica del Centro de Investigación de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Manabí, teniendo en cuenta que con la utilización de equipos calibrados y un correcto procedimiento para el análisis de ensayo no destructivo por medio de ultrasonido en los cordones de soldadura, dicho análisis permitirá que el equipo sea utilice en óptimas condiciones.

Este proyecto tiene gran factibilidad existiendo conocimientos necesarios debido a que entre la malla curricular de la carrera de ingeniería mecánica se oferta la materia de ensayos no destructivos, también se cuenta con el material bibliográfico adecuado, el equipo de ultrasonido EPOCH 1000i pertenece a la carrera de ingeniería mecánica, siendo viable porque existe la disponibilidad económica para llevar acabo las actividades planificadas.

La información que se obtenga ayudará a los operarios e ingenieros que utilizan el equipo EPOCH 1000i, a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Mecánica, aportando sólidos conocimientos en su vida profesional y dará resultados confiables para el correcto análisis de los cordones de soldadura de la estructura del Centro de Investigaciones de Ciencias Agropecuarias.

3.3. MARCO TEÓRICO

3.3.1. ESTRUCTURAS METÁLICAS

Actualmente las estructuras metálicas se han transformado en uno de los principales ejes para el desarrollo a nivel de la ingeniera, su propósito general es que dicha estructura brinde confiabilidad de trabajo, sea económica y que cumpla con las exigencias tanto estéticas como de funcionabilidad. En la estructura metálica la mayoría de las partes que la forman son materiales normalmente acero. Su utilización es en el sector industrial porque tienen excelentes particularidades de operación, son muy eficaces y su coste de elaboración suele ser más barato comparado con otro tipo de estructuras.

El tipo de estructura metálica se selecciona considerando aspectos funcionales, módicos, estéticos y de servicio. Los diseñadores y los propietarios deben de llegar a un acuerdo en cuanto a los requerimientos generales del proyecto; basados en ellos, el diseñador examinara las opciones más adecuadas sobre el tipo de estructura que se ajusta al caso, y preparar los planos y detalles que describirán el proyecto. (Valencia Clement 2010, 7)

3.3.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES METALES EMPLEADOS EN LAS ESTRUCTURAS METÁLICAS

Las estructuras metálicas están conformadas por acero estructural tanto en columnas como en vigas. En la siguiente tabla mostraremos los más importantes con sus respectivas características

Tabla 1 Características de aceros estructural

ESPECIFICACIÓN DE LOS ACEROS	**MINIMA RESISTENCIA A LA FLUENCIA**		**RANGO DE TRACCIÓN**	
	lb/pulg^2	**MPa**	**lb/pulg^2**	**MPa**
ASTM A 36	36000	250	58000-80000	400-550
ASTM A 529 Grado 50	50000	345	70000-100000	485-690
ASTM A 572 Grado 50	50000	345	65000 min.	450 min.
ASTM A 588	50000	345	70000 min.	485 min.

Fuente: Norma AWS D1.1.

En la construcción del centro de Investigaciones de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Manabí ubicado en la parroquia Lodana, se utilizó el material ASTM A 36 el cual es el material más utilizado para la construcción de estructuras metálicas.

3.3.1.2. PERFILES DE ACERO

El acero estructural puede laminarse en forma económica en una gran variedad de formas y tamaños sin cambios apreciables en sus propiedades físicas. Generalmente los miembros estructurales más convenientes son aquellos con grandes momentos de inercia en relación con sus áreas. Los perfiles I, T, y C, que son de uso tan común, se sitúan en esta clase.

Los perfiles de acero se designan por la forma de sus secciones transversales. Por ejemplo, se tienen perfiles en ángulo, te, zetas y placas. Sin embargo, es necesario hacer una distinción clara entre las vigas estándar americanas (llamadas Vigas S) y las vigas de patín ancho (llamadas vigas W), ya que ambas tienen la forma de I. Los perfiles W y S se muestran en la Figura 1.1 junto con otros perfiles comunes de acero. (McCormac y Csernak 2013, 7)

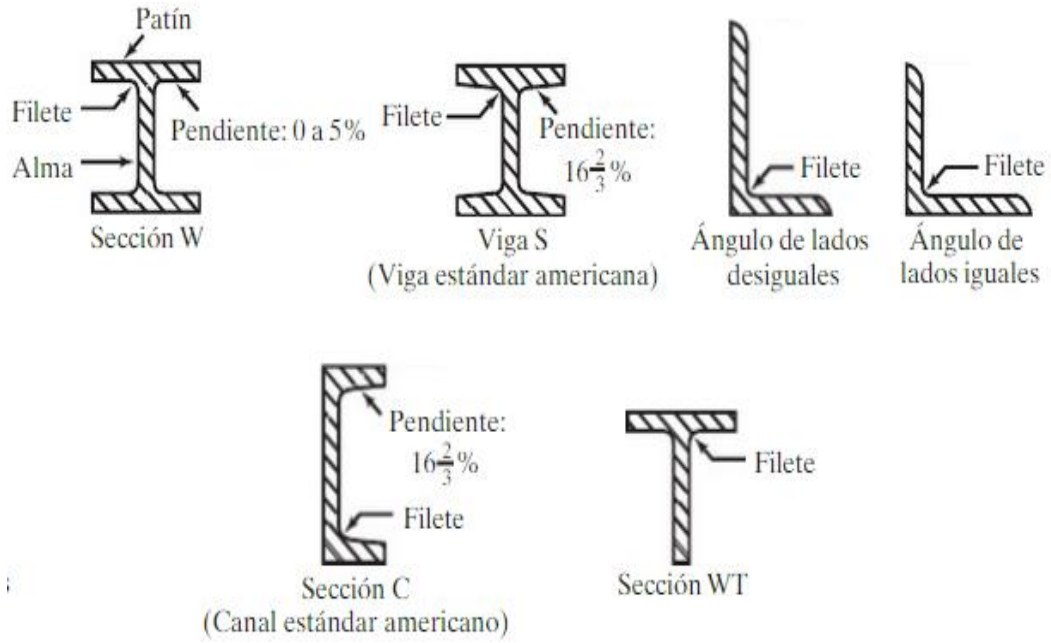


Fig. 1 Tipos de Perfiles

Fuente: Diseño de estructura de acero, 2013

3.3.2. SOLDADURA

Es el proceso por el cual se unen dos piezas de metal de composición semejante, dicha unión se logra mediante la aplicación de presión o calor en la zona de unión, hasta que esta permite que adquiera el punto de fusión haciendo que las moléculas de las dos piezas se unen para formar una sola pieza. (Espinosa de los Monteros 2013, 118)

Al enfriarse las soldaduras estarán relativamente porosas resultado de pequeñas bolsas formadas por los gases. Esas soldaduras son relativamente quebradizas y tienen mucha menor resistencia a la corrosión. El vapor actúa como un protector alrededor del metal fundido y lo protege de quedar en contacto directo con el aire circundante. También deposita escoria en el metal fundido que sirve para proteger a la soldadura del aire mientras se enfría. (McCormac y Csernak 2013, 469) En la figura 2 , se muestran los elementos de la soldadura por arco protegido.

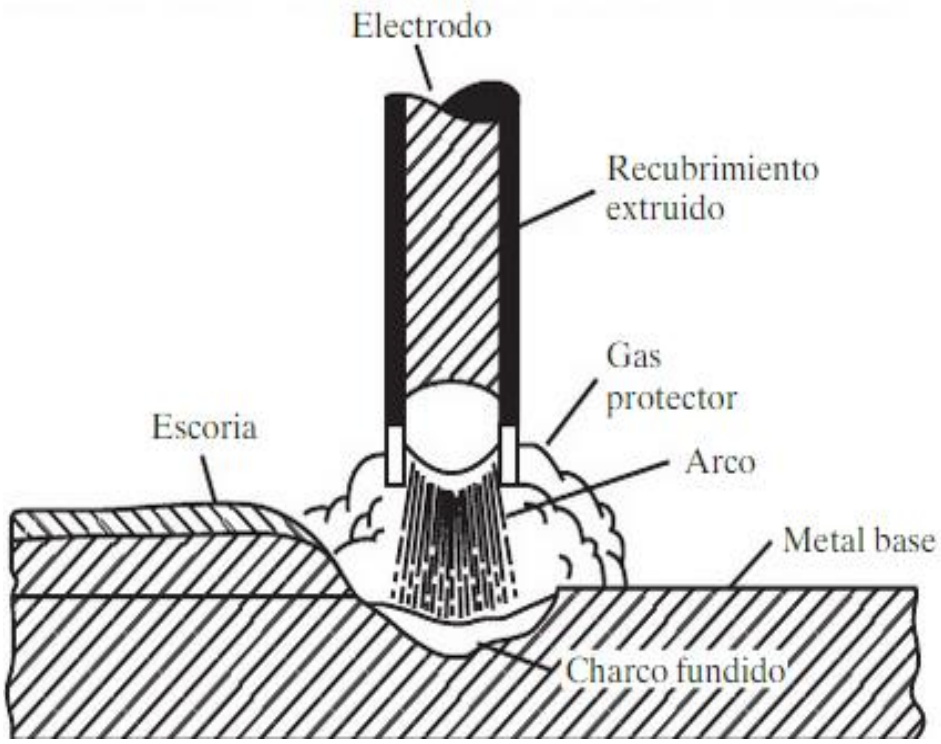
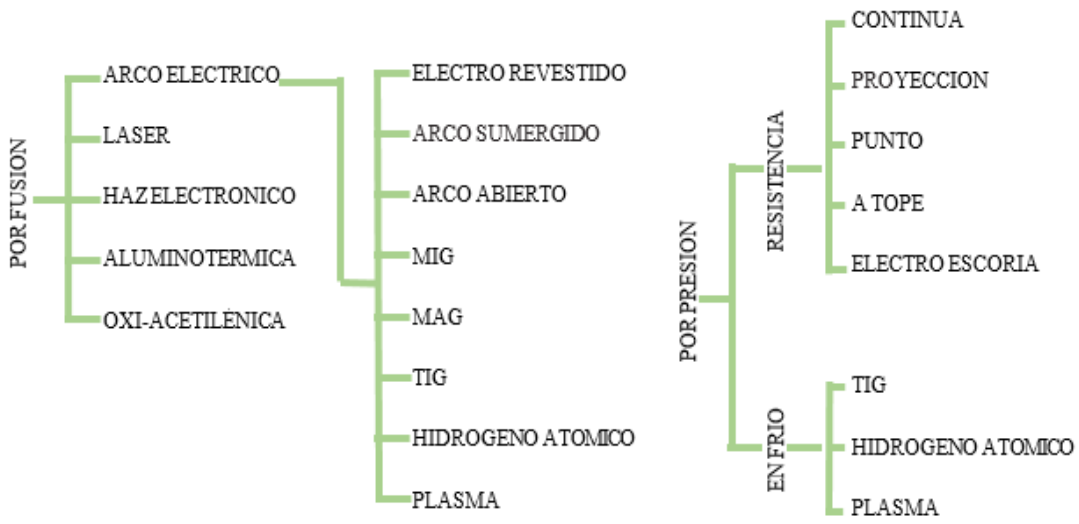


Fig. 2 Elementos de soldadura

Fuente: Diseño de estructura de acero, 2013

3.3.2.1. CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA



3.3.2.2. SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO

Es el proceso de soldadura de más amplia aceptación como el más económico, el más natural y el más práctico para soldar metales. La soldadura manual por arco que es de uso más común, el soldador obtiene un electrodo adecuado, sujeta el cable de tierra a la pieza de trabajo, y ajusta la corriente eléctrica para crear una corriente intensa que salte entre el electrodo y el metal. Seguidamente mueve el electrodo a lo largo de las líneas de unión del metal que ha de soldar, dando suficiente tiempo para que el calor del arco funda el metal. El metal fundido del electrodo, o metal de aporte, se deposita en la junta y junto con el metal fundido de los bordes se solidifica para formar una junta sólida. (Koellhoffer 2013, 6)

El calor para realizar la fundición de los metales se genera con energía eléctrica forzando el paso de corriente entre el electrodo y la pieza y formando el arco eléctrico, la temperatura que alcanza es aproximada a 5500 ºC. (Dominguez Soriano y Ruiz 2008, 244). Para poder realizar soldaduras de una mejor calidad en todo tipo de metal, el soldador debe desarrollar destrezas que se obtienen con la requerida práctica, así mismo se debe tener en cuenta diversas medidas que dan conocimiento al soldador para poder realizar la soldadura adecuadamente. A continuación se muestran las medidas que deben tener en cuenta el soldador:

Intensidad de corriente: El alambre del núcleo del electrodo tienen limitaciones en lo relativo a la cantidad de corriente que pueden transportar, a medida que la corriente o amperaje aumenta el alambre se calienta, produciendo que los elementos que lo conforman se quemen demasiado pronto, y de esta manera se presentan defectos en la soldadura tales como salpicaduras, porosidad e inclusiones de escoria. Es por eso que cada electrodo debe operar en un rango de amperaje particular. (Jeffus 2009, 67-68).

La siguiente tabla nos muestra los rangos que se debe seleccionar para cada electrodo según su tamaño y su clasificación.

Tabla 2. Rango de amperaje de soldadura

Electrodo	**Clasificación**					
Tamaño	**E6010**	**E6011**	**E6012**	**E6013**	**E7016**	**E7018**
3/22 pulg (2,4 mm)	40-80	50-70	40-90	40-85	75-105	70-110
1/8 pulg (3,2 mm)	70-130	85-125	75-130	70-120	100-150	90-165
5/32 pulg (4 mm)	110-165	130-160	120-200	130-160	140-190	125-220

Diámetro y calor del electrodo: La selección del diámetro del electrodo para una soldadura lo determina la destreza del soldador y el espesor del metal a soldar. Si se usa un electrodo de diámetro pequeño este requiere menos destreza que los de diámetro grande. La velocidad a la que se agrega metal de soldadura es menor cuando se utiliza electrodos pequeños. Para determinar si la soldadura está demasiado caliente se debe observar la forma del borde de fusión de la soldadura. Las ondulaciones redondeadas indican que la soldadura se esa enfriando uniformemente el calor no es excesivo, si las ondulaciones tienen puntas la soldadura se está enfriando lentamente debido al calor excesivo. El metal se puede derretir si existe un sobrecalentamiento extremo, lo cual es difícil de reparar. (Jeffus 2009, 69)

Longitud del arco: Es la distancia que el arco debe saltar desde el extremo de electrodo a la placa o a la superficie del baño de fusión de la soldadura. Para mantener una longitud de arco constante el electrodo se debe bajar continuamente según se consuma. Si la longitud de arco se acorta el metal que se transmite a la abertura podría producir un corto circuito desde el electrodo lo que provoca que se pegue a la placa. Si la longitud de arco es grande producen más salpicaduras ya que el metal se deposita fuera del baño de fusión. (Jeffus 2009, 69)

Velocidad de avance: Para obtener una costura correcta se debe procurar que la velocidad de avance sea constante y correcta. Si la velocidad es excesiva dicha costura quedara muy débil y si es muy lenta se carga demasiado material de aporte. La velocidad de desplazamiento depende de la habilidad del soldador. (Carpintero Pino 2011, 40)

Angulo de electrodo: se mide desde el electrodo a la superficie del metal. Este se ve afectado por la dirección. El ángulo relativo es importante debido a que existe un golpe de fuerza que lanza metal y fundente desde el extremo de electrodo a la placa. Un ángulo de ataque empuja el metal fundido y la escoria por delante de la soldadura. Un ángulo de arrastre empuja el metal fundido hacia atrás, fuera del borde delantero del baño de fusión de la soldadura. (Jeffus 2009, 70) , en la figura siguiente se muestran los tipos de ángulos.

Fig. 3 Dirección del desplazamiento y ángulo del electrodo

Fuente: Soldadura Principios y aplicaciones, 2009

Manipulación del Electrodo: El movimiento en forma de tejido del electrodo de soldadura pueden controlar las siguientes características: penetración, formación, anchura, porosidad, socavación, superposición e inclusiones de escoria. El patrón de tejido exacto para cada soldadura es elección personal del soldador, sin embargo algunos de los patrones empleados para la soldadura ayudan en determinados cordones.

La figura muestra diez patrones diferentes que se pueden utilizar para la mayoría de las condiciones de soldadura. (Jeffus 2009, 73)

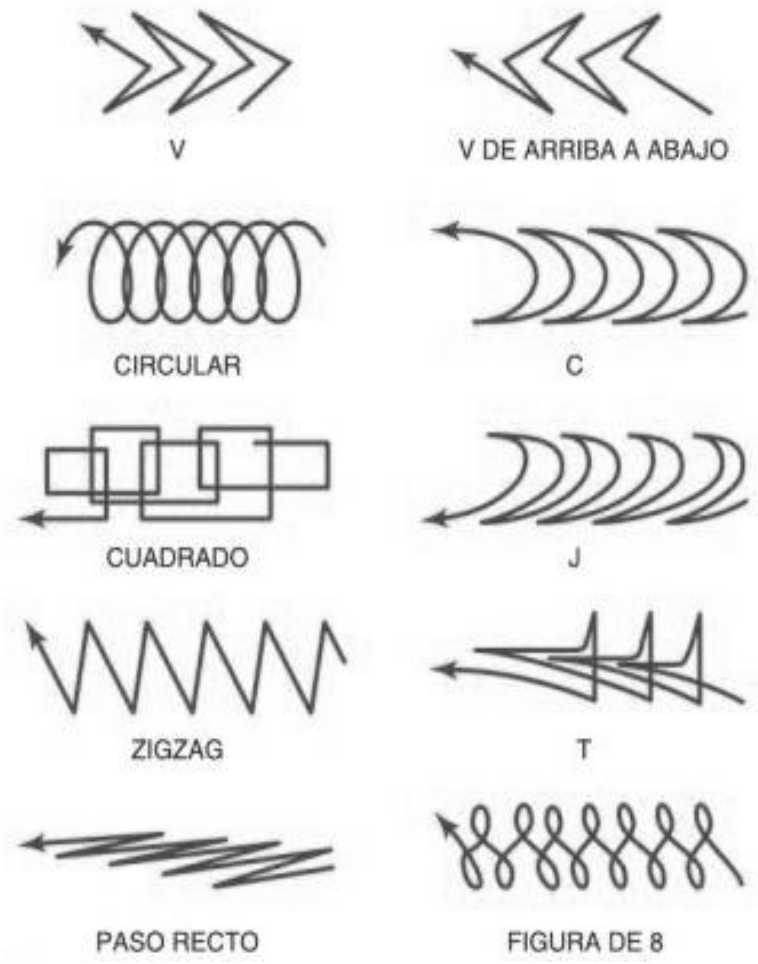


Fig. 4 Patrones de tejidos

Fuente: Soldadura Principios y aplicaciones, 2009

3.3.2.3. TIPOS DE SOLDADURAS

El aspecto de diseño de las juntas es el adecuado al tipo de soldadura que se utiliza en la junta. Existen cuatro tipos básicos de soldadura: la de relleno, la de filete, la de tapón y la de bisel. La soldadura de relleno se hace en una sola pasada, esta soldadura se utiliza para desgastar piezas desgastadas en pocas casos se emplea para juntas. La de filete es similar a la de bisel pero se hace con mayor rapidez, se combinan con otras soldaduras para mejorar la distribución de esfuerzo. La soldadura de tapón se emplea para unir por fusión dos piezas de metal cuyos bordes por cualquier razón no pueden fundirse. Por último la soldadura bisel se hacen en la ranura que queda entre dos piezas de metal, estas soldaduras se emplean en muchas condiciones. (Koellhoffer 2013, 12-15)

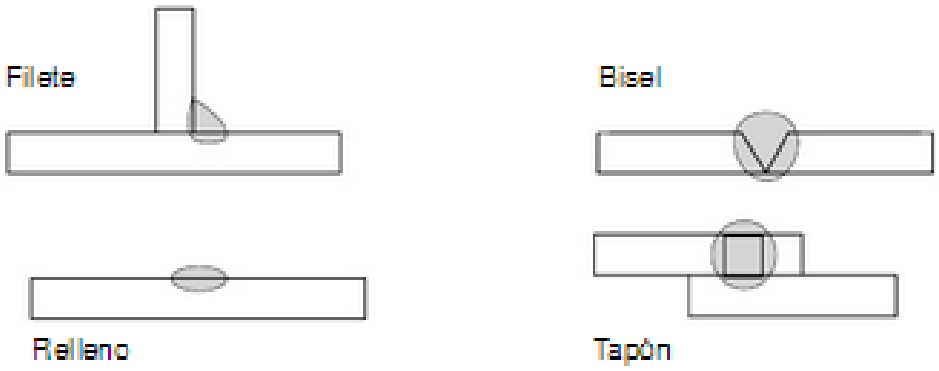


Fig. 5 Tipos de soldaduras

3.3.2.4. TIPOS DE JUNTAS

Existen cinco estilos de juntas: la junta de traslape, la junta de tope, la de esquina, la de borde y la junta en T. Las juntas a traslape están formadas en esencia por dos piezas de metal solapadas que se unen por fusión mediante soldadura de filete, tapón. La soldadura de junta a tope está comprendida entre los planos de las superficies de las dos partes, pueden ser simples, biseladas, en V, de ranura de una sola J, de ranura de una sola U, o dobles. Las juntas de esquina son soldaduras hechas entre dos partes situadas a un ángulo de 90 grados. Las juntas de borde o también conocidas como juntas de orilla, resultan de la unión de la superficie adyacente de cada parte de manera que la soldadura quede dentro de los planos superficiales de ambas partes. Las juntas de T son como su nombre lo indica en forma de T, pero también pueden ser de un solo bisel, de doble bisel de una sola J y de doble J. (Koellhoffer 2013, 16-17)

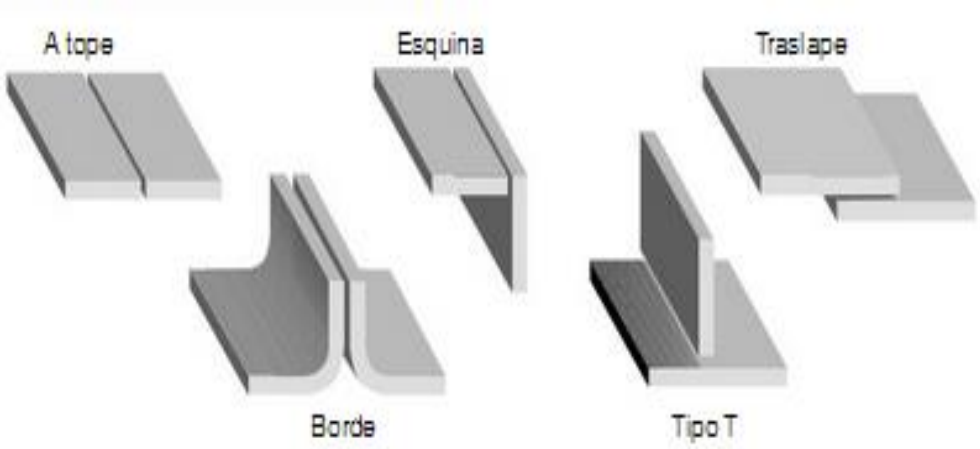


Fig. 6 Tipos de juntas

3.3.2.5. ELECTRODOS

Están constituidos por una varilla la cual se la denomina como alma, está se recubierta de una sustancia a la que se le da el nombre de revestimiento. Este revestimiento se quema y produce una atmosfera protectora y necesaria para soldar. El alma metálica tiene la función de conducir corriente eléctrica y aporta material a la soldadura por sea este aluminio, acero, etc.

La medida más utilizada es de 2,50×3,50 y 3,25×3,50 mm. (Dominguez Soriano y Ruiz 2008, 69-70)

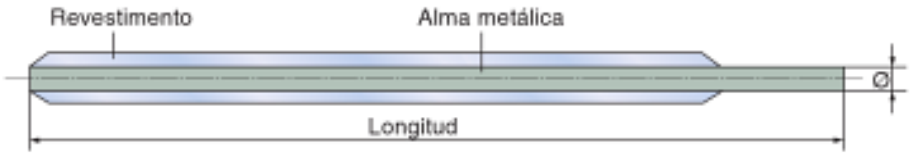


Fig. 7 Electrodo revestido

Fuente: Mecanizado Básico y Soldadura, 2008

Los electrodos están normalizados por cifras y letras las cuales representan a variadas especificaciones

La nominación de los electrodos consta de los siguientes símbolos:

E	–	1ª cifra	2ª cifra	3ª cifra	–	Letra intermedia	–	4ª cifra	5ª cifra

Fig. 8 Nominación de los electrodos

Fuente: Mecanizado Básico y Soldadura, 2008

La letra E al principio indica que los electrodos son revestidos para soldadura de arco eléctrico.

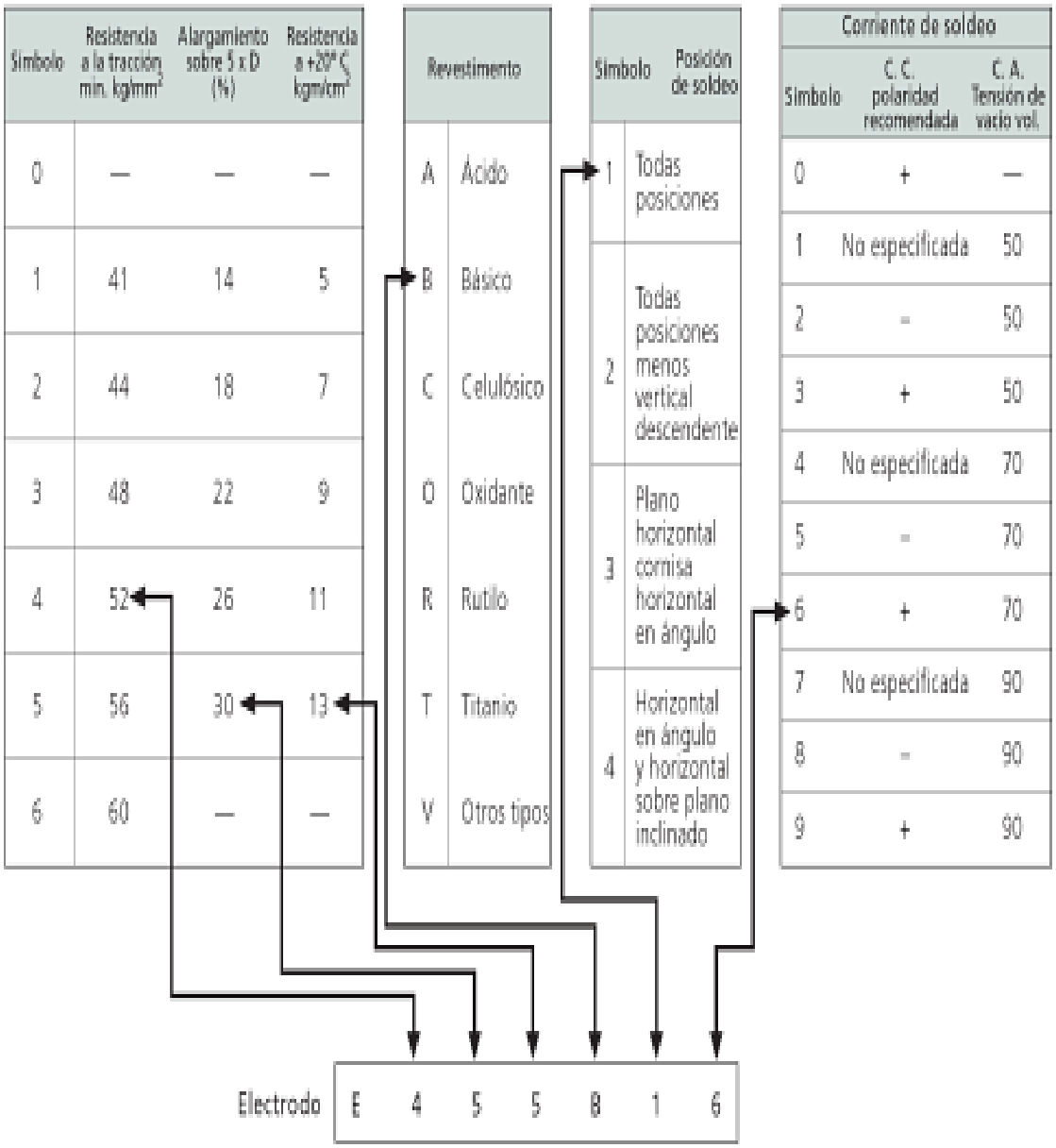


Fig. 9 Símbolos de electrodos para soldaduras con arco

Fuente: Mecanizado Básico y Soldadura, 2008

3.3.2.6. DEFECTOS DE SOLDADURA

Se entiende por discontinuidad a cualquier forma de interrupción en la soldadura, la cual esta puede ser de forma voluntaria o no voluntaria en la estructura física o configuración de una parte, se las puede clasificar en 3 categorías:

- Inherentes: Son incrustaciones que se producen durante la producción inicial en estado de fundición estos pueden ser arena, etc.
- De proceso: Provocado por procesos posteriores al estado de fundición, incluyendo la fabricación.
- De servicio: Aparecen cuando por el uso del producto final por condiciones de carga y/o ambientales. (Ospina Lopez, Hernando Trujillo y Parra L 2011, 197)

Los errores del soldador son la causa de la mayor parte de las discontinuidades. Pueden deberse a su falta de pericia, a su fatiga, juicio erróneo o falta de cuidado. Entre los defectos que pueden presentarse en las uniones soldadas tenemos los siguientes:

3.3.2.6.1. FISURAS Y GRIETAS

Son separaciones estrechas en el metal sólido y se consideran las más serias de las discontinuidades. Tienden a alargarse con el tiempo y pueden hacer que la soldadura se estropee mientras el objeto este en uso. (Horwitz 2011, 33)

Se pueden producir en el centro del cordón o en la interfase del material base con el de aporte. Es provocada por el proceso de soldadura, sea por efecto de tensiones o enfriamiento, también por causa de enfriamiento brusco o falta de un correcto enfriamiento.

Por su orientación estas pueden ser de defectos longitudinales, transversales, radiales, discontinuidades ramificadas y de cráter presentándose como interfaces rugosas. Los factores que influyen en la formación son electrodos inadecuados, presencia en exceso de carbono, azufre o fósforo en el metal base, y también puede provocarse por altas corrientes al soldar y cordones de sección muy pequeños. (Ospina Lopez, Hernando Trujillo y Parra L 2011, 197)

Para prevenir el agrietamiento, hay que usar electrodos bajos en hidrogeno y seguir un procedimiento adecuado de precalentamiento.

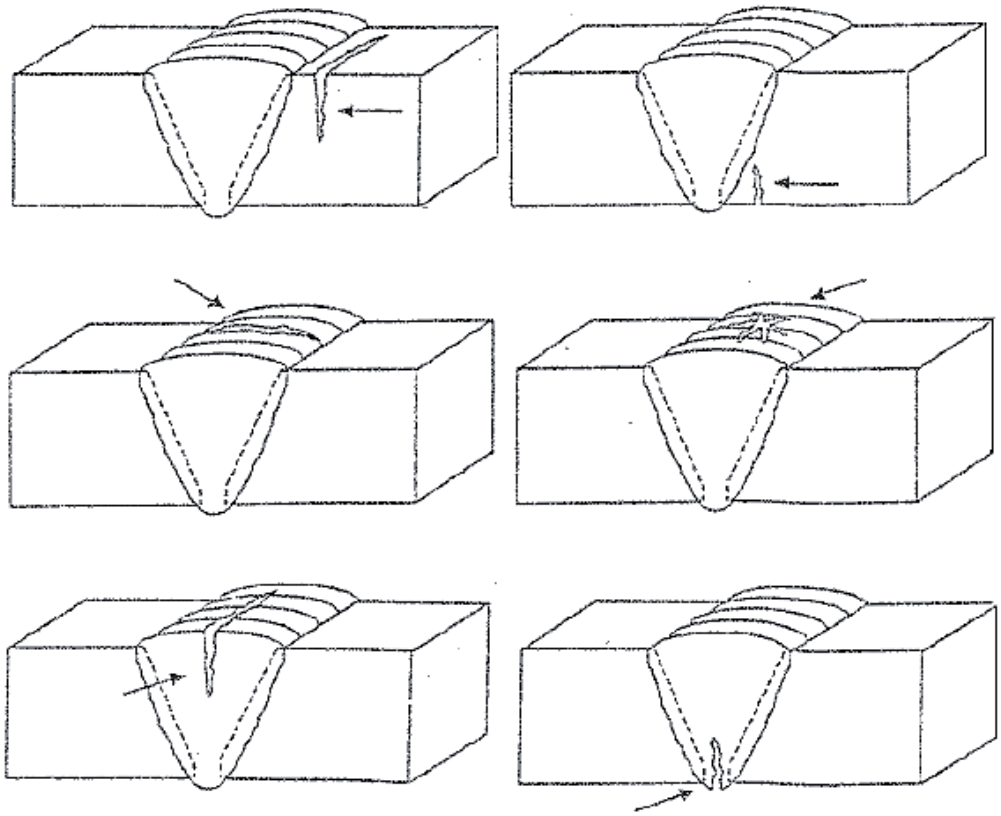


Fig. 10 Defecto de grietas en la soldadura

3.3.2.6.2. INCLUSIONES SOLIDAS

Cuando se realiza el proceso de soldadura los óxidos y otros materiales pueden quedar atrapados en el metal para soldar y en el metal de base fundida. Esté material proviene del revestimiento del electrodo o bien puede ser alguna materia extraña que no haya sido retirada entre pasada y pasada. Puede reducirse el número de inclusiones de escoria si el metal se limpia totalmente después de cada pasada. Antes de empezar a soldar hay que remover las partes oxidadas, las escamas, la pintura, el aceite y todo el material extraño que haya en el metal base. (Horwitz 2011, 31)

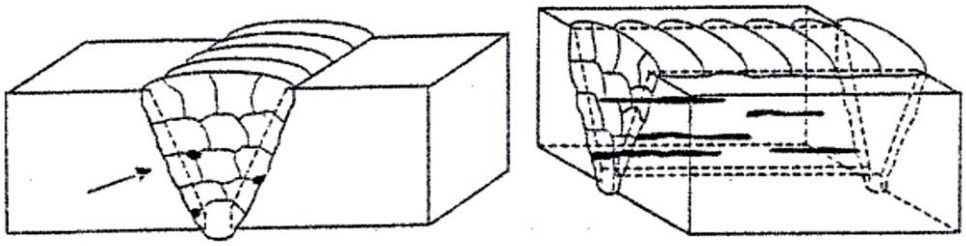


Fig. 11 Inclusiones solidas en la soldadura

3.3.2.6.3. FALTA DE FUSIÓN Y DE PENETRACIÓN

Resulta cuando existe una falta de unión entre el metal base y el de aporte, este se localiza en los bordes laterales del cordón de soldadura. La falta de penetración es muy semejante está asociada en ciertas ocasiones con la presencia de escoria. Este defecto se presenta en la raíz ya que el metal de aporte de la soldadura no relleno la misma (Ospina Lopez, Hernando Trujillo y Parra L 2011, 197).

La fusión es incompleta debido a que el calor no es suficiente. Para eliminar este problema, hay que hacer una limpieza adecuada y utilizar el amperaje y la velocidad de avance correctos (Horwitz 2011, 31).

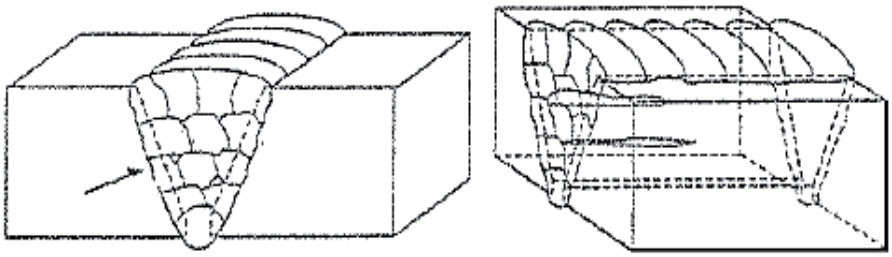


Fig. 12 Falta de fusión en la soldadura

3.3.2.6.4. POROSIDAD

Durante el proceso de soldadura ocurren algunas reacciones químicas en las que se libera gas, que queda atrapado cuando el metal se enfría y solidifica, estas bolsas de gas o vacíos se les llama porosidad. Una excesiva cantidad de calor puede provocar la porosidad, por lo que el soldador no debe usar un amperaje muy alto. La velocidad de avance que uno mueve el soplete o electrodo a lo largo de la trayectoria de la soldadura. Si es muy alta, puede producir porosidad. (Horwitz 2011, 30)

La porosidad agrupada es producida generalmente por un agente oxidante o excesiva presencia de humedad. Pueden presentarse también capas de óxido en biseles, las que al fundirse desprenden gas. El tamaño de los poros es aproximadamente igual en toda la zona.

También existen porosidades alargadas lo cual su morfología es a manera de tubitos curvados puede llegar a dejar perforada toda la soldadura. Son más peligrosas que las esféricas.

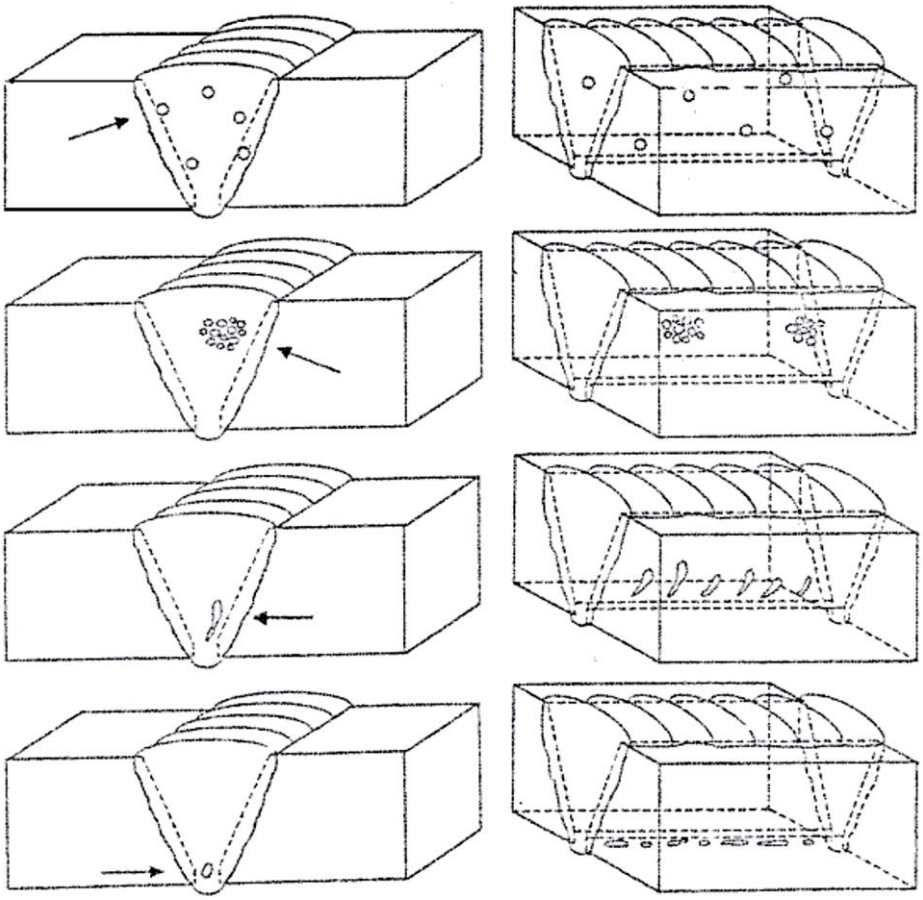


Fig. 13 Porosidad en la soldadura

3.3.2.6.5. RECHUPES

Cavidades debidas a la contracción del metal durante la solidificación. Es un defecto perpendicular a las superficies exteriores de la unión; el rechupe de cráter es la cavidad producida en un final de cordón y que no se ha eliminado en la pasada siguiente. Existen los micro-rechupe que sólo son visibles con ayuda del microscopio. En general, se consideran los rechupes como una forma de cavidades. (Ospina Lopez, Hernando Trujillo y Parra L 2011, 197)

Las causas que provocan este defecto son las siguientes intensidades de corriente excesiva alta, ángulo incorrecto del electrodo con respecto a la pieza, el cual en determinadas ocasiones provoca el derrame del metal en la raíz. Y mucha separación de los bordes. Para reducir la posibilidad de que se forme no se debe utilizar un amperaje muy elevado y es útil hacer una breve pausa en los extremos de la soldadura para dar tiempo a que el metal llene los puntos bajos.

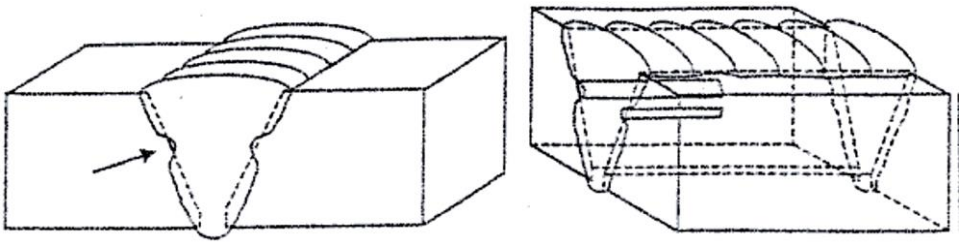


Fig. 14 Rechupes en la soldadura

3.3.2.6.6. DEFECTOS EXTERNOS

Se conocen como defectos de forma debido a que se observa en ocasiones irregularidades en la forma del cordón, afectando a su geometría. Una corriente excesiva; velocidad de avance demasiado lenta; longitud excesiva del arco; movimiento transversal irregular y pieza recalentada son factores que dan origen a aquellas. Así mismo una incorrecta posición del electrodo y un diámetro excesivo del mismo influyen en su formación. Entre los tipos más encontrados tenemos sobre espesores excesivos; convexidad excesiva; exceso de penetración; defectos de alineación; deformación angular; ángulos de sobre espesor excesivo; falta de espesor; defectos de simetría de la soldadura en ángulo; anchura irregular; quemones y empalme defectuoso. (Ospina Lopez, Hernando Trujillo y Parra L 2011, 198)

3.3.2.7. INSPECCIÓN DE LA SOLDADURA

Para asegurar que un trabajo de soldadura se realice en óptimas condiciones se deben seguirse tres pasos:

1) Implantar buenos procedimientos de soldadura

2) Disponer soldadores calificados

3) Recurrir a inspectores competentes en el taller y en la obra

Cuando se siguen los procedimientos establecidos por la AWS (American Welding Society) y el AISC (American Institute of Steel Construction) para soldaduras y cuando se utilizan los servicios de buenos soldadores, que previamente hayan demostrado su habilidad, es seguro que se obtendrán buenos resultados. Sin embargo, la seguridad absoluta sólo se tendrá cuando se recurra a inspectores calificados y seguir un buen procedimiento de soldadura. La práctica usual en los trabajos grandes es emplear soldadores que tengan certificados que muestren sus habilidades. (McCormac y Csernak 2013, 475)

3.3.3. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (END)

Son pruebas que permiten evaluar las discontinuidades de las soldaduras, para así conocer información sobre su estado y calidad. Utilizan la aplicación de fenómenos físicos tales como ondas electromagnéticas, ultrasónicas, acústicas, elásticas, emisiones de partículas subatómicas, absorción, capilaridad. Se lo considera no destructivo ya que no altera de forma permanente las propiedades físicas, químicas, mecánicas ni dimensionales del objeto de estudio.

Las etapas básicas de la inspección de un material estructural, mediante los métodos de ensayos no destructivos, en lo que respecta a los problemas de defectología, caracterización y metrología, es decir su calidad puede resumirse en los cuatro siguientes:

- Elección del método y técnicas operatorias idóneas.
- Obtención de una indicación propia
- Interpretación de la indicación.
- Evaluación de la indicación. (Ospina Lopez, Hernando Trujillo y Parra L 2011, 197)

Los métodos que utiliza un inspector utilizando los ensayos no destructivos es analizar si hay discontinuidades, caracterizarlas y posteriormente evaluarlas, estas se evalúan según el código de contrato el mismo que especifica los criterios de aceptación o rechazo para cada aplicación específica.

Existen variedad de ensayos no destructivos cada uno tiene sus debidas ventajas y desventajas y con diferentes principios de funcionamiento, no se puede aseverar que uno de ellos sea el mejor. Pero la utilización de los Ensayos no destructivos se los utiliza de forma complementaria y para los diferentes casos en particular se debe escoger el tipo de ensayo o la combinación de ensayos que permitan una evaluación completa del tipo de soldadura, entre los tipos de ensayos no destructivos utilizados actualmente en el campo de la soldadura tenemos los siguientes:

- Inspección o ensayo visual
- Ensayo por líquidos penetrantes
- Ensayo por partículas magnéticas
- Ensayos radiográficos
- Inspección o ensayo por ultrasonido

3.3.4. INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO

Es un método bastante útil en la inspección de soldadura, las cual utiliza ondas de sonido que se envían a través del material que va a probarse y dicha ondas que reflejo desde su lado opuesto. La onda reflejada se detecta en un tubo de rayos catódicos. Los defectos en la soldadura interfieren las ondas afectando el tiempo de transmisión del sonido. (McCormac y Csernak 2013, 475)

Las ondas se propagan en los metales gracias a la energía mecánica generada por los efectos de vibraciones. Estas ondas de sonido dependen de su frecuencia y la naturaleza del medio, utilizando frecuencias mayores al rango audible entre 16 a 20.000 Hz se irradia a través de la mayoría de medios sólidos y líquidos en frecuencias mayores a 100.000 Hz, el ultrasonido forma un haz, similar a la luz, por lo que puede ser utilizado para rastrear el volumen de un material. Un haz ultrasónico cumple con algunas de las reglas físicas de óptica por lo que puede ser reflejado, refractado, difractado y absorbido. La inspección por ultrasonido se basa en el principio de que los diferentes materiales presentan distintos tipos de “Impedancias Acústicas”, el cual es la resistencia que opone los materiales a las ondas que se propagan sobre este. (Leon y Russo s.f.)

Sus principales aplicaciones consisten en: Detección y caracterización de discontinuidades, medición de espesores, extensión y grado de corrosión, determinación de características físicas de los materiales. Para conocer mejor el estudio de los ultrasonidos para el control de calidad de los materiales, se deben tener en cuenta más a fondo aspectos básicos, tales como las ondas de sonido.

3.3.4.1. NOCIONES DE ACÚSTICA

El sonido está conformado por un conjunto de ondas mecánicas longitudinales producidas por la vibración de los objetos y propagadas a través de un medio elástico. Este tipo de ondas pueden estimular el oído humano y generar una sensación sonora. Las características de una onda de sonido son:

- **Ciclo:** Es el movimiento completo de la onda.
- **Longitud de onda:** Es la distancia para completar un ciclo. Se denota como λ.
- **Amplitud:** Es el valor máximo en sentido positivo y negativo que alcanza la onda sonora.
- **Frecuencia:** Es el número de ciclos por unidad de tiempo. (Olarte C. y Botero A. 2011)

En la siguiente figura se muestra una onda sonora en función del tiempo con algunas características antes indicadas.

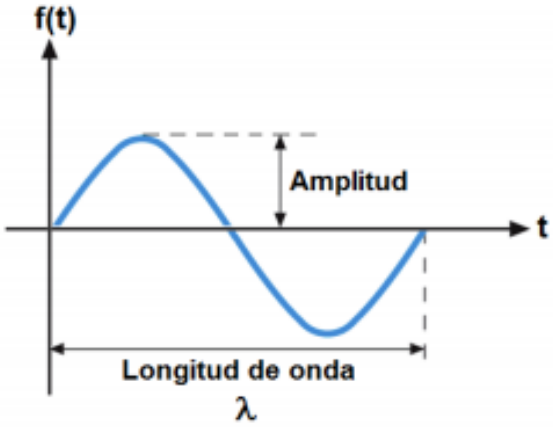


Fig. 15 Características de una onda sonora

Fuente: La detección de ultrasonido, 2011

Por lo tanto tenemos que la velocidad acústica es igual al producto de la longitud de onda por la frecuencia esto se expresa matemáticamente así:

$$V = \lambda \times f$$

Donde:

V: Velocidad acústica (pulg/seg o mm/seg)

λ : Longitud de onda (pulgadas o mm)

f: Frecuencia (ciclos/seg)

3.3.4.2. TIPOS DE ONDAS

Ondas longitudinales: Estas son las ondas más utilizadas en ultrasonido porque, además de propagarse en cualquier medio, son fácilmente generadas y detectadas. Pueden ser orientadas y localizadas en un haz concentrado y poseen alta velocidad. Por ejemplo la propagación en un resorte y la propagación del sonido.

Ondas Transversales: En este caso el movimiento de las partículas es perpendicular a la dirección de la propagación, ya que los líquidos y gases no ofrecen ninguna resistencia a los esfuerzos de corte, las ondas transversales no pueden ser propagadas en estos medios, entonces solo las ondas longitudinales pueden propagarse en líquidos y gases. Por ejemplo el movimiento de una soga al agitarla o el agua ante una perturbación.

Ondas superficiales o de Raileigh: Se propagan sobre las superficies de los sólidos de espesores relativamente gruesos penetrando aproximadamente una longitud de onda. Estas poseen la particularidad de que el movimiento de las partículas es una combinación de movimiento transversal y longitudinal realizando una elipse la cual el mayor ejes es el perpendicular a la dirección de propagación de la onda. Estas ondas son utilizadas en el método de ultrasonido porque son particularmente sensibles a defectos en la superficie y son capaces de copiar posibles curvas que dichas superficies posean.

Ondas de LAMB: Las ondas de Lamb aparecen en cuerpos cuyo espesor es del mismo orden que una longitud de onda, por ejemplo en chapas delgadas. Estas se propagan paralelas a la superficie a través de todo el espesor de material. Son muy influenciadas por el espesor del material y la frecuencia de movimiento. Se generan cuando ingresan en el material a un ángulo de incidencia en el cual la componente de la velocidad paralela a la superficie de la pieza es igual a la velocidad de propagación del sonido en el mismo material, pudiendo viajar distancias de metros en el acero. Son utilizadas, generalmente, para escanear chapas, alambres y tubos. (Rimoldi y Mundo 2013)

3.3.4.3. IMPEDANCIA ACÚSTICA

Se define como a la resistencia que opone el medio a la propagación de las ondas, siendo igual al producto de la densidad del medio por la velocidad de la onda en dicho medio. Por lo cual un material que posea baja impedancia acústica significa que posee baja resistencia a las deformaciones elásticas producto de las ondas sonoras. En la tabla del anexo 3 se muestra la impedancia acústica de distintos materiales.

3.3.4.4. FRECUENCIAS

Más allá de todas las divisiones que puedan ser hachas se sabe que no todo el rango de frecuencias es audible para el oído del ser humano. Solamente es un cierto rango el cual puede diferir entre individuos y que puede variar con la edad.

El límite inferior de audibilidad se halla alrededor de 16Hz y el superior alrededor de 20KHz. Los rangos de interés son: Las frecuencias utilizadas en los ensayos ultrasónicos se encuentran en el rango de 0,5 a 25 MHz.

Subsónico: $f < 16Hz$, en este rango solo se notará presión.

Sónico: $16Hz \leq f \leq 20KHz$, rango audible por el ser humano.

Ultrasónico: $f > 20KHz$.

3.3.4.5. DESCOMPOSICIÓN DE ONDAS

Dentro de un medio las ondas ultrasónicas se descomponen por medio de los siguientes fenómenos:

Reflexión: Inciden sobre una superficie de propiedades elásticas distintas al medio en que se propagan, parte de su energía es reflejada por esa superficie en dirección que forma, con la normal a la superficie, el mismo ángulo que formaba la onda incidente.

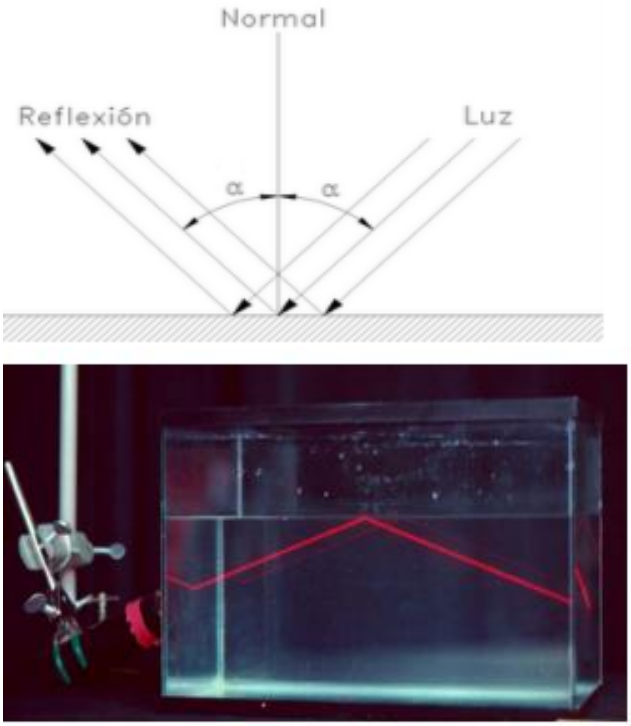


Fig. 16 Reflexión de una onda

Fuente: Manual de ultrasonidos, 2013.

Refracción. Es la parte restante de la onda que penetra en el segundo medio, con dirección distinta a la de la onda incidente, pero tal que la relación entre los senos de los ángulos, respecto a la normal, que forma el rayo incidente y el que penetra sea constante.

A continuación se muestra la figura donde se puede apreciar el efecto físico que produce la onda cuando este es refractado.

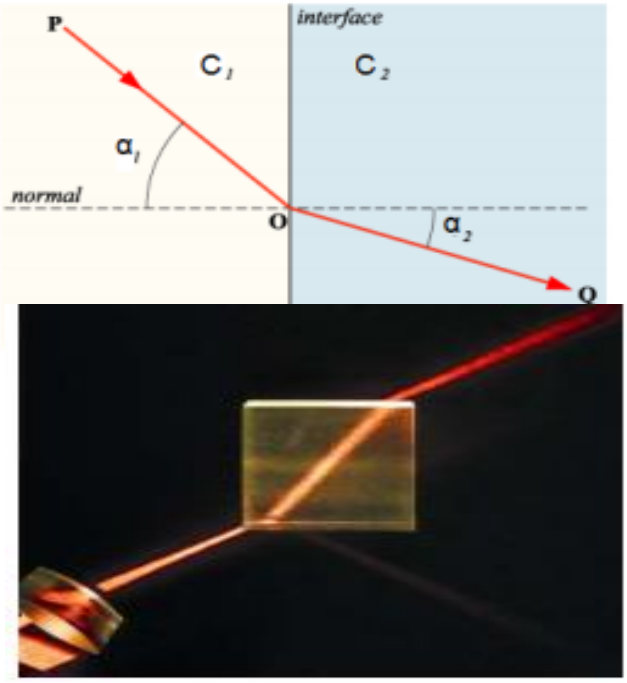


Fig. 17 Refracción de una onda

Fuente: Manual de ultrasonidos, 2013.

3.3.4.6. LEY DE SNELL

Cuando un haz de luz ultrasónico pasa de un medio a otro con diferente velocidad y con un ángulo no normal con respecto a la interfase que separa los dos medios ocurre el fenómeno conocido como refracción, los ángulos de las ondas incidente y refractadas, como se usa en la inspección ultrasónica (Leon y Russo s.f.), se expresa con la relación:

$$\frac{\text{Sen } \alpha_1}{\text{Sen } \alpha_2} = \frac{C_1}{C_2}$$

Donde:

α_1 = Ángulo de incidencia de la onda incidente.

α_2= Ángulo de incidencia de la onda refractada.

C_1 = Velocidad del sonido en el medio de la onda incidente

C_2 = Velocidad del sonido en el medio de la onda refractada

3.3.4.7.GENERACIÓN Y RECEPCIÓN DE VIBRACIONES ULTRASÓNICAS

Las vibraciones ultrasónicas se generan por la aplicación de pulsos eléctricos al elemento transductor también conocido como cristal piezoeléctrico contenido dentro de una unidad de rastreo palpador. El elemento transductor transforma la energía eléctrica en energía ultrasónica la cual es energía mecánica. El elemento transductor también recibe la energía ultrasónica y la transforma en energía eléctrica. La energía ultrasónica es transferida entre el palpador y la pieza de pruebas a través de un medio acoplantes tal como el aceite, agua. (Leon y Russo s.f.)

3.3.4.8. EQUIPO ULTRASONIDO EPOCH 1000I

Es un equipo portátil para ensayos no destructivos por ultrasonido, el cual sirve para la detectar defectos en las uniones soldadas, en tubos y en muchos otros materiales. Tiene compatibilidad con una gran variedad de palpadores convencionales o phased array para su uso al interior y exterior. Este equipo ofrece la creación de imágenes phased array de base, también están dotados de una interfaz gráfica intuitiva, un gran rango dinámico, una gran resolución de medida y una pantalla transflectiva de cristal liquida. (Olympus 2009)

Están dotados de herramientas avanzadas para la inspección por ultrasonidos convencionales excelentes para realizar ensayos simples y complejos. Entre las principales aplicaciones tenemos las inspecciones de soldaduras, detección y medición de grietas, inspección de defectos en piezas fundidas y forjadas. Entre las características principales que tiene el equipo tenemos las siguientes:

- Pantalla transflectiva de cristal liquida VGA color
- Tiene 37 filtros para el receptor digital
- Frecuencia máxima de repetición de impulsos de 6000 Hz para escaneos de alta velocidad
- Herramientas para la representación phased array y ultrasonido convencional.
- Diseño horizontal, panel de navegación y perilla para el ajuste de los parámetros
- Cursores de referencia y de medición
- Curvas dinámicas DAC/TVG serie
- Curvas DGS/AVG de serie

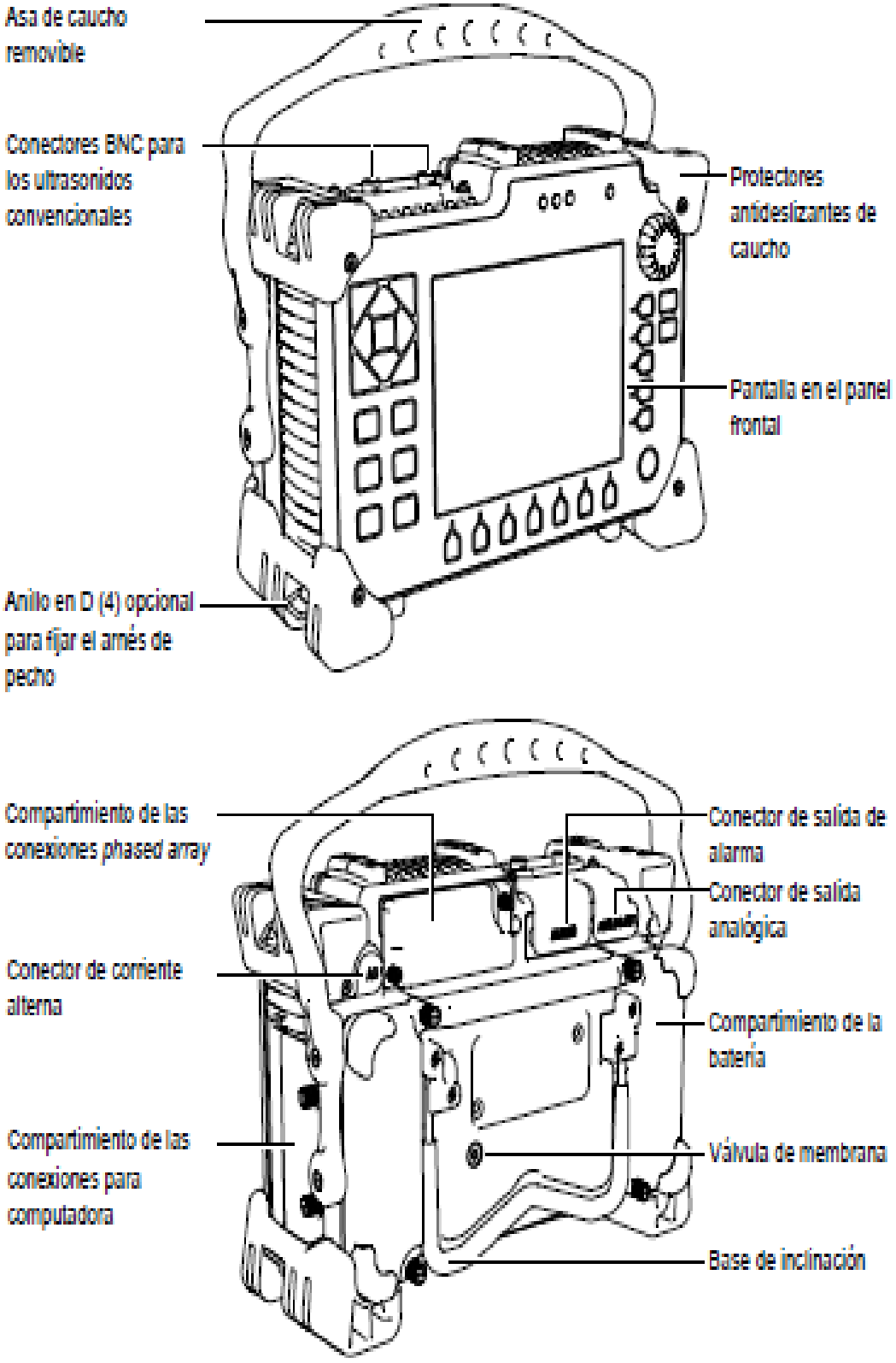


Fig. 18 Vista delantera y posterior del equipo EPOCH 1000i

Fuente: Manual de usuario EPOCH, 2009

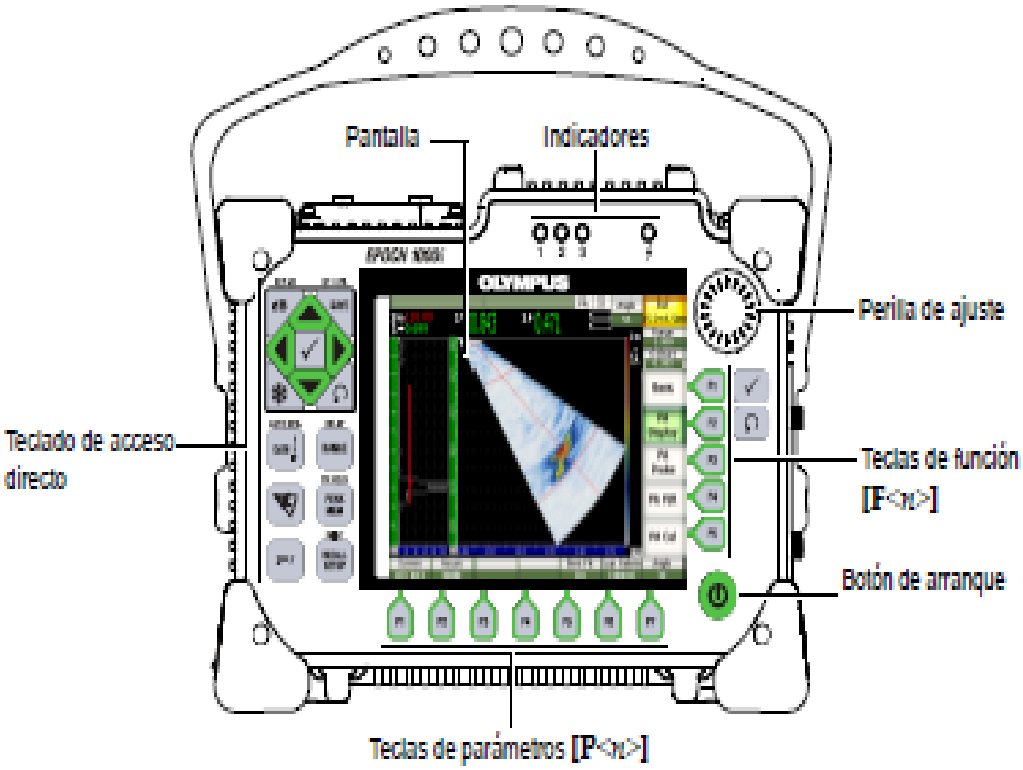


Fig. 19 Elementos del panel frontal del equipo EPOCH 1000i

Fuente: Manual de usuario EPOCH, 2009

3.3.4.9. PALPADORES

Es una pequeña pieza que sirve para la aplicación de ultrasonidos al material a investigar. Está compuesto por una lámina de cristal piezoeléctrica en cuyas caras anterior y posterior lleva una fina película de plata formando los electrodos, las placas van unidas a un cable conductor de la corriente electica. El conjunto se rodea con un plástico amortiguador y todo esto lo incluye en una carcasa metálica. Cuando se aplica a los electrodos un voltaje, el cristal genera pulsaciones ultrasónicas que podrán ser trasmitidas al material a investigar que se encuentra en contacto con el palpador. Así mismo cuando los electrodos están desactivados y el cristal en reposo, puede recibir las ondas transmitidas, generando una corriente eléctrica que será captada por los electrodos y conducida a un instrumento medidor de corriente. (Fernández Hatre s.f.)

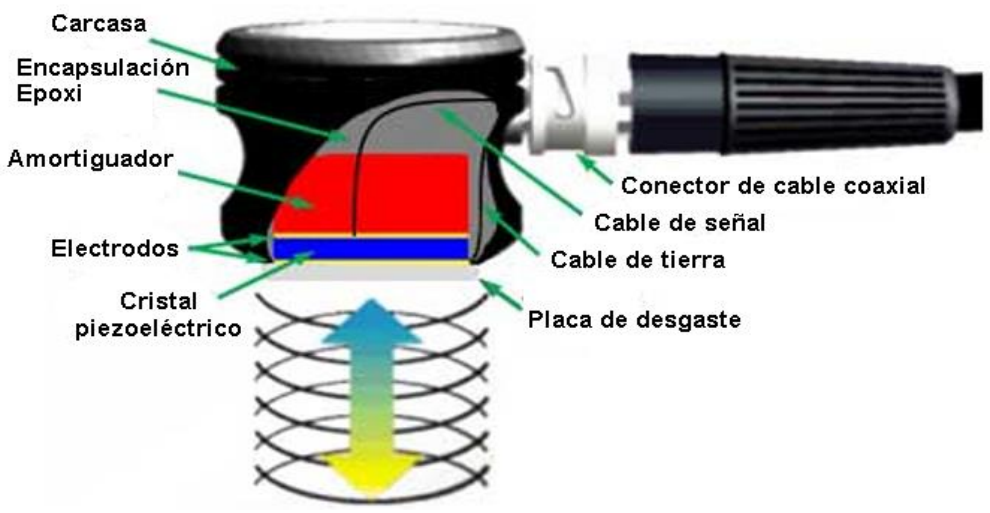


Fig. 20 Esquema del palpador ultrasónico

Fuente: Manual de ultrasonidos, 2013

Entre los tipos de palpadores más utilizados para la inspección de cordones de soldadura tenemos los siguientes:

3.4.4.9.1. PALPADORES INCIDENCIA NORMAL

Son transductores de ondas longitudinales diseñados con el fin de realizar inspecciones ultrasónicas manuales donde los materiales son planos y uniformes. Estos palpadores proporcionan alta sensibilidad para una mejor penetración y se fabrican resistentes para condiciones de trabajo extremas. (Fernández Hatre s.f.)

Emiten ondas con frecuencias de 0.5 a 10.0 MHz. Se utilizan para la inspección en la cual se desea colocar directamente la unidad sobre el área de interés y donde las discontinuidades son paralelas a la superficie, es muy utilizada para la medición dezespesores y para la detección de discontinuidades. Existen 3 tipos los cuales son los siguientes:

- Palpador de cristal único,
- Palpador con doble cristal
- Palpador con cristales multiples

Fig. 21 Transductores de incidencia normal

3.4.4.9.2. PALPADORES DE INCIDENCIA ANGULAR

Un palpador angular consiste en un cristal de ondas longitudinales y tienen una lámina de desgaste conocida como zapata en forma de cuña para producir el ángulo refractado deseado.

La zapata plástica protege la cara del cristal y determina el ángulo de incidencia del haz sónico sobre la parte a ensayar. Cuando las ondas sónicas son dirigidas dentro del objeto en un ángulo, estas son divididas internamente, en ondas longitudinales y transversales por refracción del sonido. Los ensayos con haz angular son realizados con ondas transversales.

El palpador angular puede ser usado para generar ondas superficiales, las ondas superficiales son generadas cuando el ángulo incidente del haz sónico, alcanza el segundo o superior ángulo crítico. Los palpadores de contacto con haz angular son identificados por la onda transversal refractada produciendo ángulos de 70º, 60º, 45º en el material a ensayar. (Ferrer 2010, 99)

La principal aplicación es la detección de defectos y dimensionamiento en los cordones de soldaduras. Se utilizan para la inspección en tuberías, tubos, piezas forjadas, piezas de fundición, también componentes mecanizadas y estructurales. (Olympus 2009)

Fig. 22 Palpadores angulares

En la siguiente tabla se muestran los palpadores y zapatas de la marca Olympus existentes en el mercado:

Tabla 3 Palpadores Olympus

Frecuencia (MHz)	Tamaño Nominal (pulg.)	Modelo
1	0.5	C539-SM
2.25	0.25	C542-SM
2.25	0.375	C549-SM
2.25	0.5	C540-SM
3.5	0.25	C546-SM
3.5	0.375	C550-SM
3.5	0.5	C545-SM
5	0.25	C543-SM
5	0.375	C551-SM
10	0.25	C544-SM
10	0.375	C552-SM
10	0.5	C547-SM

Tabla 4 Zapatas Olympus

Angulo (ª)	Tamaño Nominal (pulg.)	Modelo
30º	0.375	ABWM-7T-30
45º	0.375	ABWM-7T-45
60º	0.375	ABWM-7T-60
70º	0.375	ABWM-7T-70
90º	0.375	ABWML-7T-90

Para el análisis de los cordones de soldadura de la estructura metálica del centro de investigaciones de ciencias agropecuarias se utilizó el palpador Olympus- NTD modelo C549-SM, con una frecuencia de 2.25MHz y un tamaño nominal de 0,375 pulg. Este transductor está montado en una zapata de 45º modelo ABWM-7T-45.

3.4.4.9. ACOPLANTES ULTRASONICOS

El acoplante cumple con la prioridad de proporcionar un medio adecuado entre el palpador y la superficie, de esta forma permite el paso del haz ultrasónico fácilmente. Se debe colocar el acoplante de manera que humedezca y se mantenga el contacto entre el palpador y la pieza a ensayar. El acoplante debe ser fácil de aplicar y remover, debe además ser inofensivo a la superficie de la parte a ensayar y no derretirse fácilmente. (Ferrer 2010, 30) Entre las principales funciones que realiza el acoplante tenemos:

- Debe excluir todo el aire entre el palpador y la superficie.
- Moldear las irregularidades de la superficie a ensayar.
- Ayudar en el movimiento del palpador sobre la superficie, permitiendo mantener un estrecho contacto durante el ensayo.

Existe sustancias comunes tales como agua, aceite de motor, grasa, e incluso algunos productos comerciales como gel para el cabello, estos se pueden utilizar como acopladores ultrasónicas en muchas aplicaciones. Sin embargo, para la obe mejores resultados en la alta temperatura y la prueba normal de onda de corte incidencia es necesario el uso de acopladores especialmente formulados. (Olympus 2009) los cuales se muestran en la tabla 5.

Tabla 5 Acoplantes Olympus

Acoplante	Caracteristicas	Temperatura Maxima
PROPILENGLICOL	Se utiliza a menudo en aplicaciones de medición de espesores temperatura ambiente en superficies lisas.	90ºC
GLICERINA	Es más viscoso y tiene una impedancia acústica más alta, lo que es el acoplador preferido para superficies rugosas y materiales altamente atenuantes. Tiene una impedancia acústica de 2,42 x 10 5 gm-cm 2 / s.	90 ° C
GELSOUNDSAFE® & High Viscosity	Se recomiendan para superficies rugosas también se emplean normalmente en las inspecciones de soldadura en los que es necesario deslizar el transductor a través de un área de superficie amplia.	90 ºC
SONO-900	Es un gel no tóxico, biodegradable que se recomienda especialmente para las piezas de prueba que son demasiado calientes para la temperatura ambiente acopladores	315 ºC
SONO-600	Es un gel que se puede utilizar a temperaturas muy elevadas.	950 ºC
SHEAR GEL	Es una sustancia orgánico no tóxico, soluble en agua de muy alta viscosidad que es fácil de poner y quitar. Tenga en cuenta que para el acoplamiento óptimo, es importante que la capa acoplante ser delgada, una pequeña fracción de la longitud de onda de prueba.	38 C

Como acoplante para el procedimiento de inspección se recomendó utilizar glicerina debido a que es muy viscoso y tiene una impedancia acústica muy alta, lo cual lo hace idóneo para este tipo de inspección.

3.4.4.10. MÉTODOS POR CONTACTO Y POR INMERSIÓN

En el método de inspección ultrasónica por **contacto**, el palpador es colocado directamente sobre la superficie de la pieza de prueba utilizando una capa delgada de acoplante, para transmitir así como lo muestra el figura 23. En el método de **inmersión**, la pieza de prueba está sumergida en un fluido, usualmente agua, y el ultrasonido es transmitido a través del agua hasta la pieza de prueba, ver figura 24

Fig. 23 Inspección ultrasónica por contacto

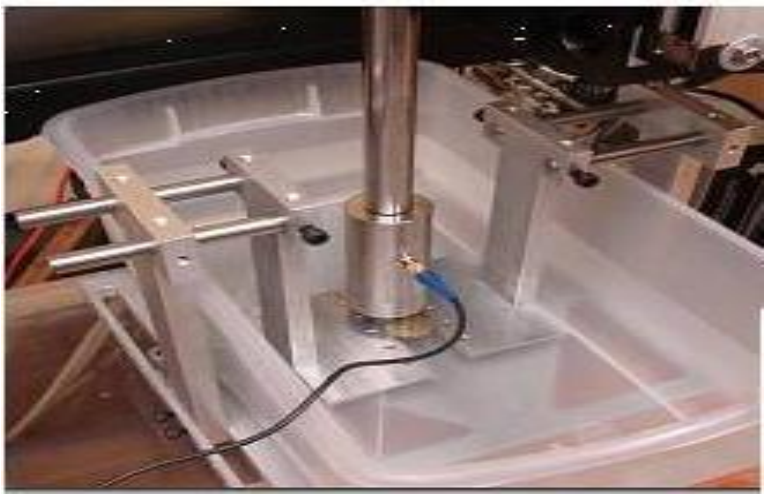


Fig. 24 Inspección ultrasónica por inmersión

3.4.4.11. MÉTODO DE PRESENTACIÓN DE DATOS

Barrido tipo A: Esta representación muestra la cantidad de energía recibida con la función del tiempo. Las cantidades relativas de energía son presentadas en el eje vertical mientras que el tiempo transcurrido es presentado en el eje horizontal. En este sistema el tamaño relativo de la discontinuidad puede ser estimado comparando la amplitud de la señal hallada con la obtenida mediante la implementación de un patrón. (Rimoldi y Mundo 2013) La presentación de barrido Tipo A nos proporciona información acerca del espesor del material sujeto a inspección o la profundidad a la que se encuentra una discontinuidad y el tamaño relativo de la misma. (Leon y Russo s.f.).

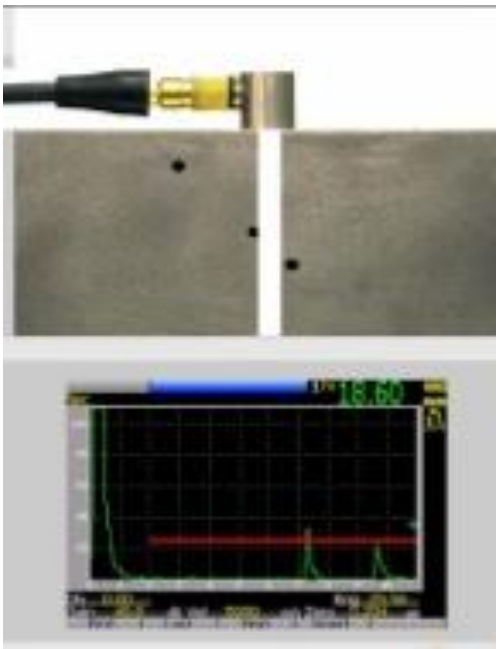


Fig. 25 Barrido tipo A

Barrido tipo B: Es usada principalmente para obtener el perfil de la sección transversal para el monitoreo de corrosión en tuberías, calderas e intercambiadores de calor. (Leon y Russo s.f.)

Genera un perfil correspondiente a la sección transversal de la pieza que se está analizando. El tiempo de “viaje” de la onda o su equivalente en profundidad es visualizado en el eje vertical mientras que en la posición del cabezal es representada en el eje horizontal. (Rimoldi y Mundo 2013)

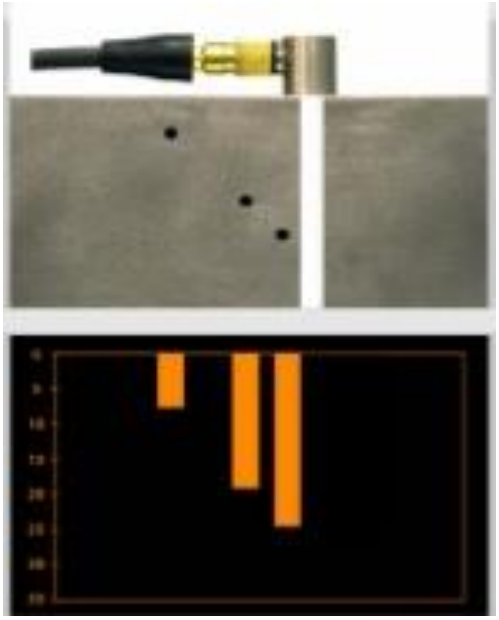


Fig. 26 Barrido tipo B

Barrido Tipo C: Presenta una vista del plano analizado de la pieza. Estas visualizaciones son producidas por sistemas de escáner automáticos como escaneos por inmersión controlados por computadora. La amplitud de la señal de la onda es censada a intervalos regulares al mismo tiempo que el cabezal es desplazado por toda la superficie a analizar. Dicha amplitud es presentada utilizando una escala de grises o de colores en cada posición proveyendo una imagen de las características reflejadas. (Rimoldi y Mundo 2013)

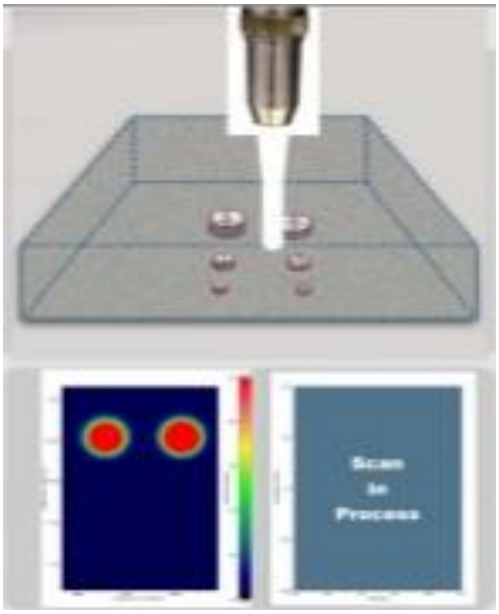


Fig. 27 Barrido tipo C

3.4.4.12. INSPECCIÓN DE SOLDADURAS POR ULTRASONIDO

Antes de iniciar el debido ensayo es necesario hacer una observación visual de las uniones soldadas con el fin de determinar las condiciones geométricas de la misma como: grado de penetración, tipo de raíz, sovocaduras en los bordes del cordón, geometría de la pieza, diferencia de espesores en las chapas y toda la información requerida.

También con esto vamos a asegurar un buen acoplamiento durante el ensayo y ahorrar más tiempo en la inspección, ya que tiene que haber una preparación previa de la superficie en las zonas por donde se desplaza el palpador. La preparación de la superficie de barrido puede ser efectuada con chorro de arena a presión o con un cepillo de alambre. La superficie debe estar limpia y seca.

Para la inspección de uniones soldadas se lo realiza en la mayoría de los casos utilizando palpadores angulares, debido a que normalmente no suele eliminarse el sobreespesor de los cordones de soldadura y algunos de los defectos en las soldaduras son de orientación inclinada.

Si un palpador angular es acoplado a un equipo de ultrasonido, este ejerce sobre la superficie de una placa el haz de ondas longitudinales emitido por el cristal del palpador, al atravesar la interface convirtiéndose en un haz de ondas transversales. Este haz se propaga en "zigzag" a través de la placa. Si en su camino no encuentra ningún reflector de orientación desfavorable, continuará su propagación a través de la placa y en la pantalla. No habrá ninguna indicación. (Leon y Russo s.f.)

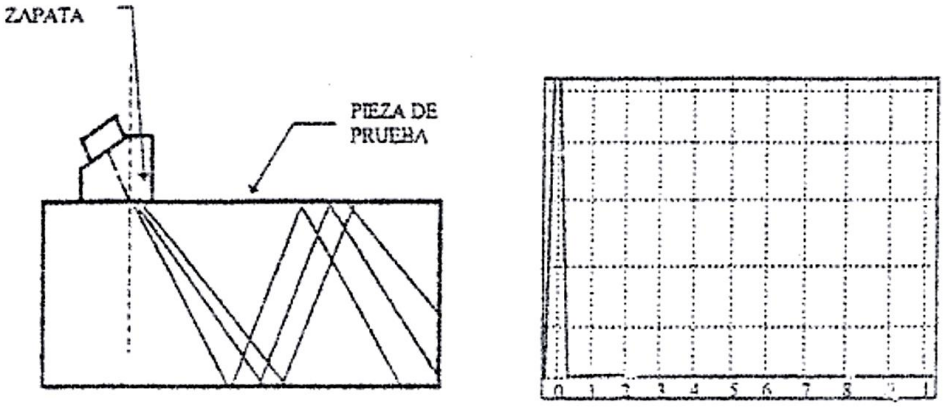


Fig. 28 Ensayo de soldadura por reflexión sin discontinuidad

Se pueden obtener las reflexiones correspondientes a los bordes, inferior y superior, de la placa sin más que situar el palpador de forma que el haz incida principalmente en el borde inferior y después en el borde superior.

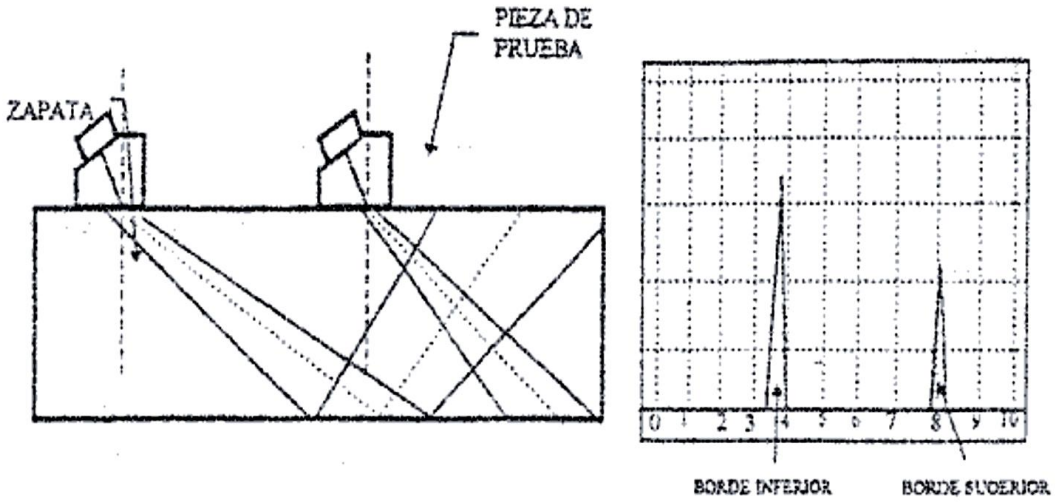


Fig. 29 Representación de los ecos

Para la exploración interna del cordón de soldadura, se sitúa el palpador angular de forma que el haz incida dentro del cordón, La exploración del punto inferior del cordón se produce a una distancia SD/2 y la parte superior del cordón se produce a una distancia SD. El haz barre toda la sección transversal del cordón al desplazar el palpador a las distancias SD se le denomina "SALTO" y a SD/2 "MEDI O SALTO".

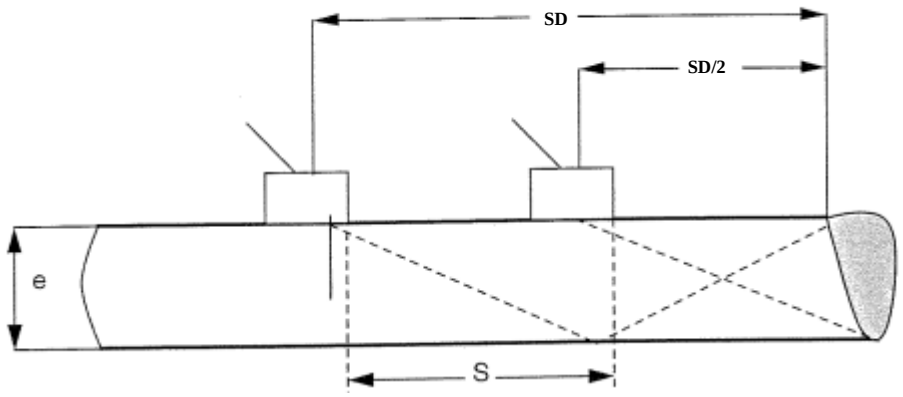


Fig. 30 Desplazamiento longitudinal del palpador

En efecto de la figura se deduce que para encontrar las distancias SD y SD/2, conociendo el ángulo de entrada del palpador, y el espesor de la placa entonces:

$$\tan\theta = \frac{SD/2}{e}$$

$$SD = 2\,e\tan\theta$$

Siendo:

SD = Distancia de salto

e = Espesor de la plancha

θ = Angulo de onda transversal

La tabla 5 recomienda el ángulo de utilización de cada palpador angular en función del espesor de la placa:

Tabla 5. Valores del ángulo nominal del palpador para el examen de soldadura

ESPESOR (mm)	ANGULO RECOMENDADO	FACTOR $2\tan\theta$
>20	80º	11
20 - 40	70º	5.5
40 - 60	60º	3.5
Mayor a 60	45º	2

3.4.4.13. ZONA DE BARRIDO DEL PALPADOR

Con el objetivo de detectar todos los posibles defectos presentes, es necesario establecer y marcar, sobre la superficie del metal base, una zona específica conocida como "ZONA

DE BARRIDO". Esta zona cuenta con un Límite Lejano (Distancia SD + 1 pulgada) (Para situaciones prácticas es recomendable agregar una pulgada a la distancia SD calculada) y un Limite Cercano (Distancia SD/2). (Leon y Russo s.f.)

Es el espacio dentro del cual se debe realizar el movimiento del transductor, como se muestra en la siguiente figura:

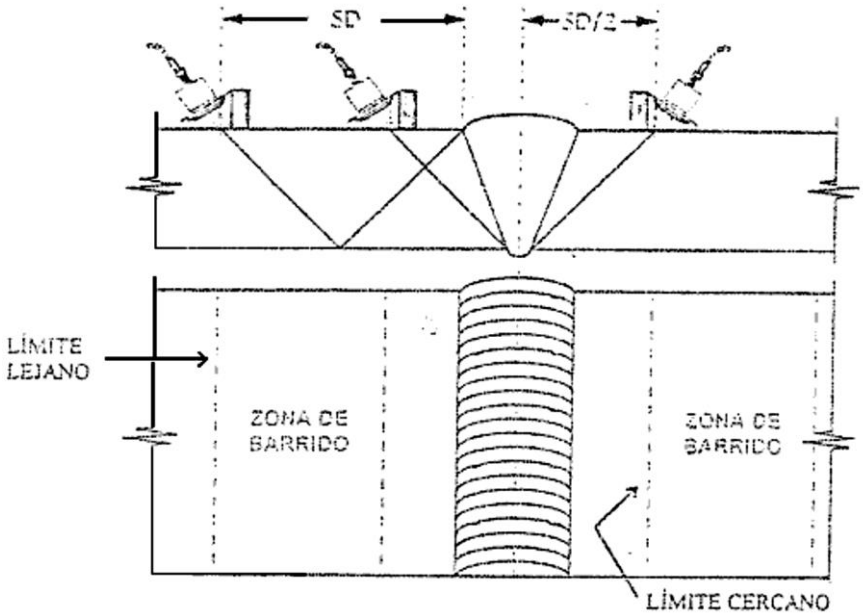


Fig. 31 Zona de barrido del palpador

3.4.4.14. DESPLAZAMIENTO LONGITUDINAL DEL PALPADOR

Cuando desplazamos el palpador hacia adelante y hacia atrás, habrá que manipular el transductor de forma que realice un molimiento en "zigzag" de no hacerlo así, y siempre que se mantenga el palpador perpendicular dirigido hacia el cordón se obtendrán ecos únicamente de aquellos defectos que tengan orientación longitudinal a lo largo el mismo, como ya se ha dicho. (Leon y Russo s.f.). El movimiento del palpador en "zigzag" permite detectar todos los defectos inclinados, veamos la siguiente figura:

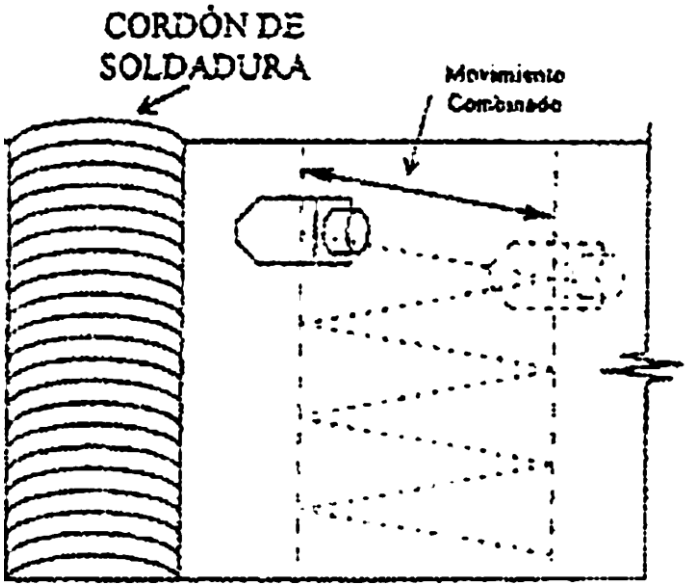


Fig. 32 Desplazamiento del palpador

3.4.4.15. MOVIMIENTO COMPLEMENTARIO DEL PALPADOR

Durante el desplazamiento en zigzag se sugiere proporcionar al palpador una ligera rotación alternativa de 15° a 20° para facilitar la localización de defectos de orientación particular, como por ejemplo fisuras y otras discontinuidades.; si la soldadura ha sido preparada al ras del material base el barrido debe realizarse sobre la soldadura. Este movimiento se realiza como se muestra en la figura 33:

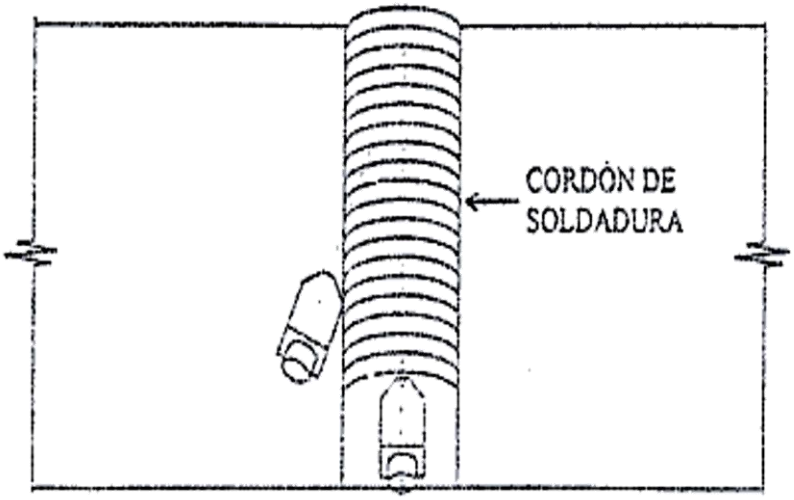


Fig. 33 Movimiento rotacional del palpador

3.4.4.16. LOCALIZACIÓN DE DEFECTOS

Se inicia con un desplazamiento rápido del palpado, este debe ser movido hacia atrás y hacia adelante y eventualmente rotando hasta conseguir la máxima señal. El procedimiento que realiza el equipo de ultrasonido es el siguiente: cuando se encuentra el palpador en el extremo izquierdo en el display se observan los pulsos IP (Correspondiente al rebote en la superficie del material) en el tiempo cero y el pulso A, correspondiente a revote en la superficie A. Cuando el cabezal se mueve hacia la derecha desaparecerá el pulso A y aparecerá el pulso BW (corresponde a la superficie inferior) más alejado en el visor debido a que la onda tuvo que recorrer mayor distancia hasta dicha superficie. Cuando el cabezal se encuentre en la misma vertical que la discontinuidad B aparecerá el pulso B en conjunto con el IP y el BW (y a una distancia proporcional a esta última), esto se debe a que parte del pulso enviado se refleja en la discontinuidad y parte en la superficie inferior. Finalmente, cuando el cabezal pase por encima de la discontinuidad C, aparecerá el pulso correspondiente a dicha discontinuidad y desaparecerá el correspondiente a la discontinuidad B. (Rimoldi y Mundo 2013) En la siguiente figura se puede observar la representación mencionada. Se presentan las diferentes lecturas superpuestas que se obtendrían al escanear la pieza de izquierda a derecha.

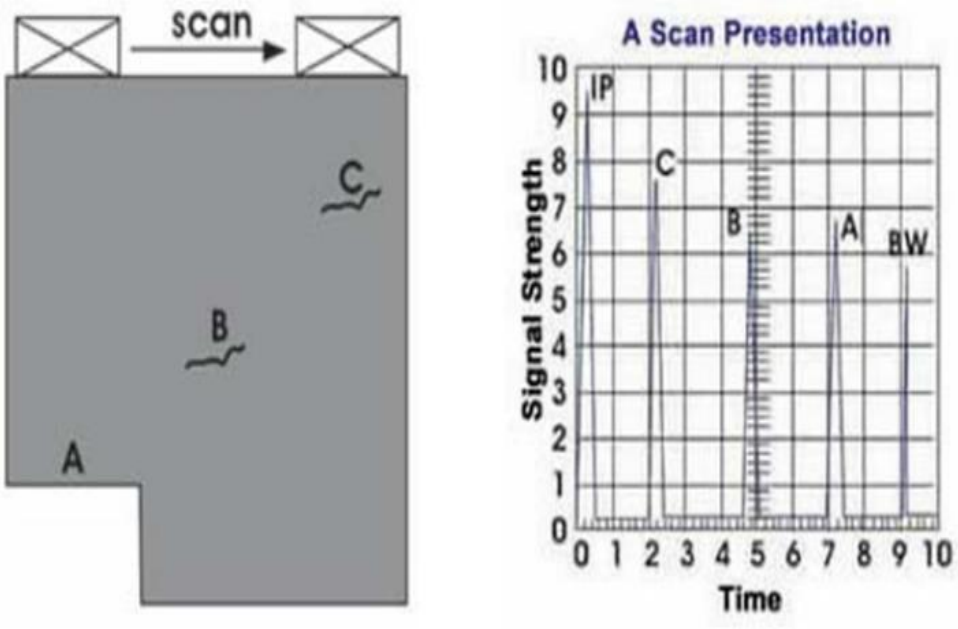


Fig. 34 Localización de defectos

3.4.4.17. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO ULTRASÓNICO

Una buena práctica señala que no se debe nunca comenzar a trabajar con un equipo de ultrasonido sin haber calibrado previamente el conjunto aparato adaptador. Durante el transcurso del ensayo deberá volverse a calibrar el conjunto cada vez que se produzca una variación fundamental en el trabajo, como puede ser el cambio del palpador o la calidad del material a ensayar. (Fernández Hatre s.f.)

La calibración debe realizarla el usuario previo al ensayo. Esta calibración incluye el setup del equipo, el cabezal, y el testeo del setup para validar los niveles deseados de precisión. En los ensayos de ultrasonido también existe la necesidad de estándares de referencia. (Rimoldi y Mundo 2013)

La calibración y ajustes del equipo se ve facilitado por bloques patrón normalizados, estos patrones deben ser fabricados de un material similar al que se vaya a realizar el ensayo. El aparato de ultrasonido, palpador, cable y acoplante utilizados en los ensayos de calibración serán exactamente los que se vayan a utilizar para los ensayos de trabajo. (Fernández Hatre s.f.)

3.4.4.18. BLOQUES DE CALIBRACIÓN

Existen distintos bloques patrón normalizados que pueden resultar útiles para la calibración de los equipos, las cuales incorporan formas y dimensiones que los hacen apropiador para ello. Entre los bloques de calibración comúnmente utilizados tenemos los siguientes:

3.4.4.18.1. BLOQUE DE CALIBRACIÓN ASTM E164 IIW

Elaborado bajo las especificaciones del Instituto Internacional de Soldadura (IIW) y la norma ASTM E164. Las medidas de este bloque son 300 mm X 91 mm X 25 mm, tiene agujero con un radio de 101,6 mm y otro un radio de 25,4 mm X 1,524 cm de profundidad. Incluye dos perforaciones pequeños, uno de 1,524 mm y otro de 50,8 mm. Este bloque es usado para calibración de transductores de haz recto y angular, sirve para calibrar el punto de índice de emisión con el punto de referencia a 0°, además se usa para medir la resolución y la sensibilidad.

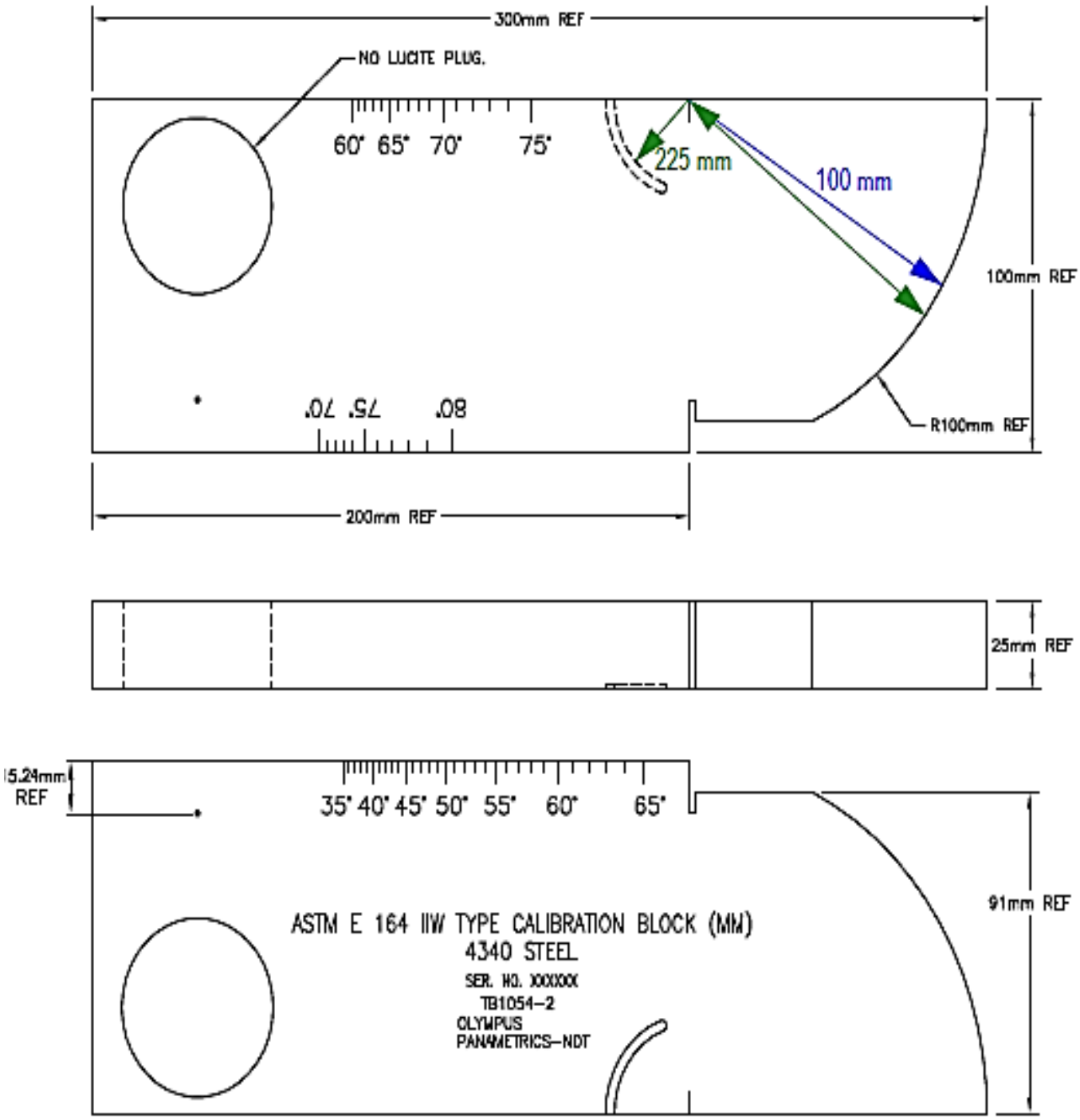


Fig. 35 Bloque de calibración métrico ASTM E164 IIW

3.4.4.18.2. BLOQUE DE CALIBRACIÓN DE PRECISIÓN DE 5 NIVELES DE ESPESOR

Son utilizados para la calibración en la que se va a determinar el espesor de paredes y materiales, existen de 4 y 5 niveles se pueden fabricar en materiales de acero al carbón, acero inoxidable, aluminio, monel, con certificado de calibración NIST.

En los bloques de 5 niveles tiene espesores de 0.500", 0.400", 0.300", 0.200" y 0.100". La medida de cada escalón es de 0.750" x 0.750" de acuerdo con ASTM e797.

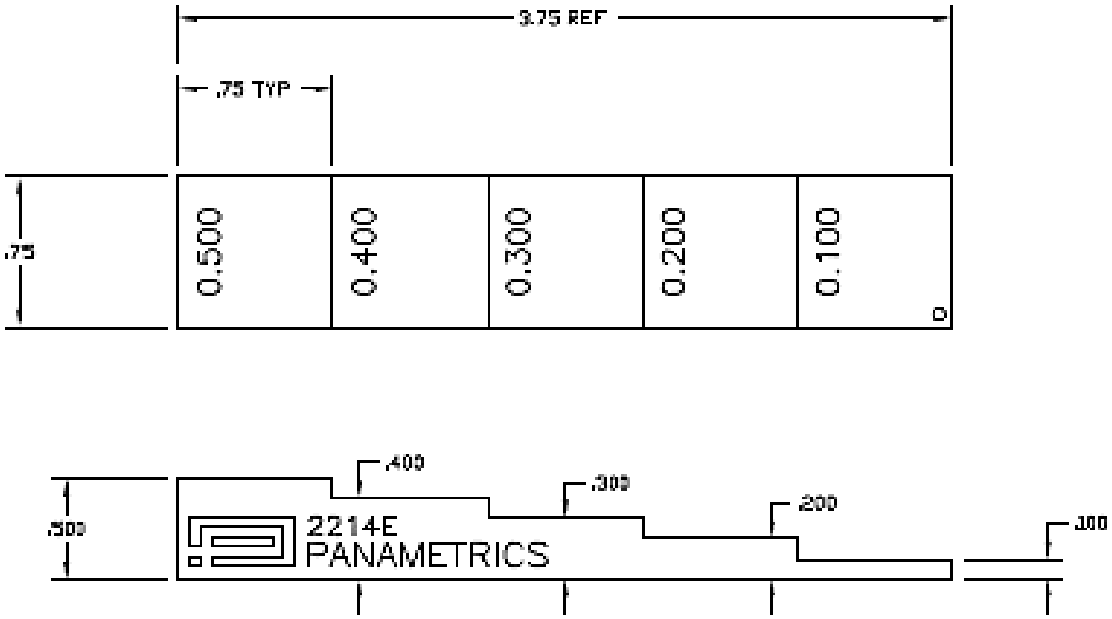


Fig. 36 Bloque de calibración de precisión de 5 niveles de espesor

3.4.4.18.3. BLOQUE DE CALIBRACIÓN ISO 7963 MAB

Es un pequeño bloque usado para la calibración de la distancia y la sensibilidad, en palpadores pequeños. Tiene un agujero de 1,5 mm y un espesor de 25 mm. Sirve para para encontrar el punto de índice de emisión con la referencia de 0° con el orificio de 1,5 mm de diámetro y la medición del ángulo refractado con las marcas correspondientes a 45°, 50° ,60º,65º,70º y 75°.

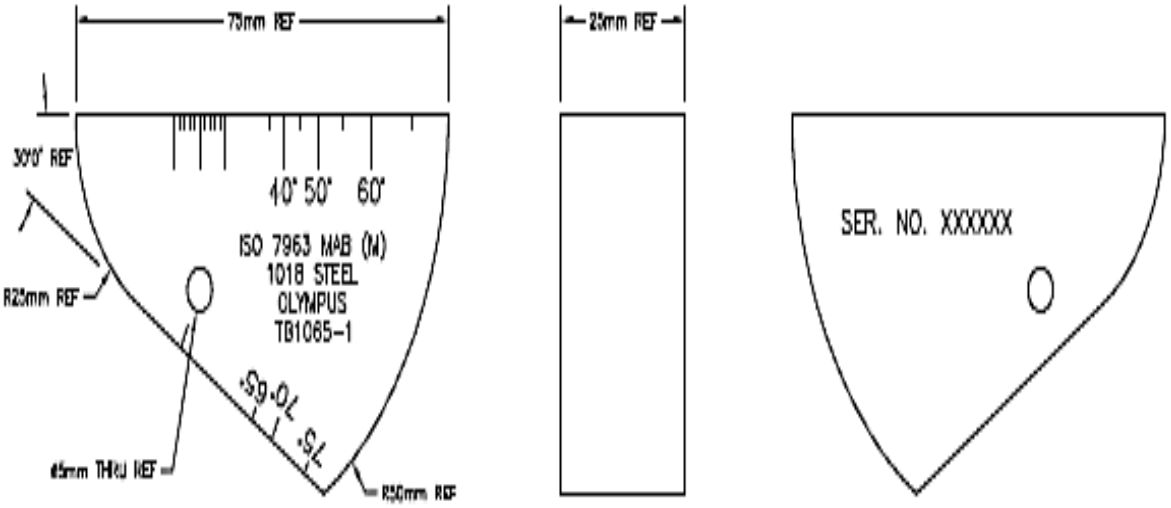


Fig. 37 Bloque de calibración ISO 7963 MAB

3.4.4.19. TIPOS DE CALIBRACIÓN

Los equipos de ultrasonido pueden ser calibrados de formas diferentes para obtener ajustes precisos según el palpador, bloque patrón de calibración y la aplicación que se va a realizar. Existen dos formas de calibración que se pueden utilizar tanto para los palpadores rectos y también para palpadores angulares.

3.4.4.19.1. CALIBRACIÓN CON PALPADORES RECTOS

Espesor: Por este tipo de calibración es necesario introducir dos diferentes espesores conocidos. El espesor delgado sirve para efectuar la calibración del desplazamiento cero, mientras el grueso sirve para la calibración de la velocidad de propagación de la onda ultra sonora en el material.

Mediciones eco a eco: Este tipo de calibración utiliza cualquier medida eco a eco para calibrar la velocidad de propagación de la onda ultrasonora en el material. El desplazamiento del cero no es necesario en este tipo de calibración. (Olympus 2009)

3.4.4.19.2. CALIBRACIÓN CON PALPADORES ANGULARES

Trayectoria acústica: Para este tipo de calibración es necesario introducir la medida de la trayectoria acústica de dos diferentes espesores conocidos. Estas medidas se toman en el radio del bloque de calibración. El espesor delgado sirve para efectuar la calibración del desplazamiento del cero, mientras que el espesor grueso para la calibración de la velocidad de propagación de la onda ultra sonora en el material. (Olympus 2009)

Profundidad: Este tipo de calibración se introduce la profundidad conocida de dos reflectores diferentes. Estas medidas se toman en barrenos laterales de igual tamaño. Hay que verificar primero el ángulo de refracción del palpador, ya que el cálculo de profundidad se basa en la trayectoria acústica y en el ángulo de refracción conocido. El reflector menos profundo sirve para calibrar el desplazamiento del cero y el reflector más profundo, para calibrar la velocidad de propagación de la onda ultrasonora. (Olympus 2009)

3.4.4.20. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO EPOCH 1000I

Para la calibración del mismo se llevó a cabo utilizando un transductor Olympus- NTD modelo C549-SM, con una frecuencia de 2.25MHz y un tamaño nominal de 0,375 pulg. Se montó sobre una zapata de 45° con número de parte ABWS-6-45. Se utilizó un bloque de calibración ASTM E164 IIW Tipo I de acero al carbón, con número de parte TB7541-X

Para la Calibración del Equipo EPOCH 1000i con Haz Angular se realiza los siguientes pasos:

1. Ajustar los parámetros iniciales para la calibración: velocidad, rango, pulso, frecuencia, energía, amortiguación, modo PRF, filtro y ángulo
2. Localizar el Punto Índice de Emisión (BIP) de la probeta.
3. Verificar el ángulo refractado
4. Calibración de Distancia
5. Calibración para Sensibilidad.

3.4.4.20.1. AJUSTAR LOS PARÁMETROS INICIALES PARA LA CALIBRACIÓN

En la lista del menú se cambia los parámetros básicos necesarios para la calibración, se debe seguir el orden recomendado a continuación:

En el menú principal **1/5** seleccionamos la opción **"Base"** y después modificamos los siguientes parámetros los cuales se encuentran ubicados en la parte de debajo de la pantalla. A continuación se muestra captura de la pantalla del equipo EPOCH 1000i

Fig. 38 Captura de la pantalla del equipo EPOCH 1000i

- "Velocidad" configuramos la velocidad transversal del bloque de calibración la cual es 3251 m/seg.
- "Rango" ajustamos el parámetro a 300 mm para tener una mejor visibilidad.

En el menú principal **1/5** seleccionamos la opción **"Emisor"** y después modificamos los siguientes parámetros:

- "Frecuencia" – Ajusta a 2,5 MHz
- "Energía" – Ajusta a 100 V
- "Amortiguación" –Ajusta 50 Ohm
- "Modo PRF" – Ajusta a Auto Min

En el menú principal **1/5** seleccionamos la opción **"Receptor"** y después modificamos:

- "Filtro"- ajustando el filtro a 2.0 - 21.5

En el menú principal **1/5** seleccionamos la opción **"Disparo"** y después modificamos:

- "Angulo" – Ajustamos a 45º, la cual pertenece al ángulo de la zapata que vamos a utilizar.

3.4.4.20.2. LOCALIZAR EL PUNTO ÍNDICE DE EMISIÓN (BIP)

También conocido como punto índice es el punto donde la onda ultrasonora entra a la pieza dejando la zapata con la máxima energía, para ubicarlo o verificarlo debemos realizar el siguiente procedimiento:

1. Se coloca el palpador en la marca "0", en la posición D del bloque de calibración así como lo muestra la Figura 39.
2. Mueva el transductor o palpador hasta que la señal sobre la pantalla aparezca a la máxima amplitud. Esta es la reflexión del arco localizado a una distancia de 100 mm. en el bloque Tipo I. Para que los ecos no sobrepasen la altura de la pantalla completa se debe reducir la ganancia.
3. Una vez alcanzada la amplitud máxima sin mover el palpador realice una marca lateral a la zapata con respecto al "0" del bloque de calibración. La marca realizada representa al punto de incidencia

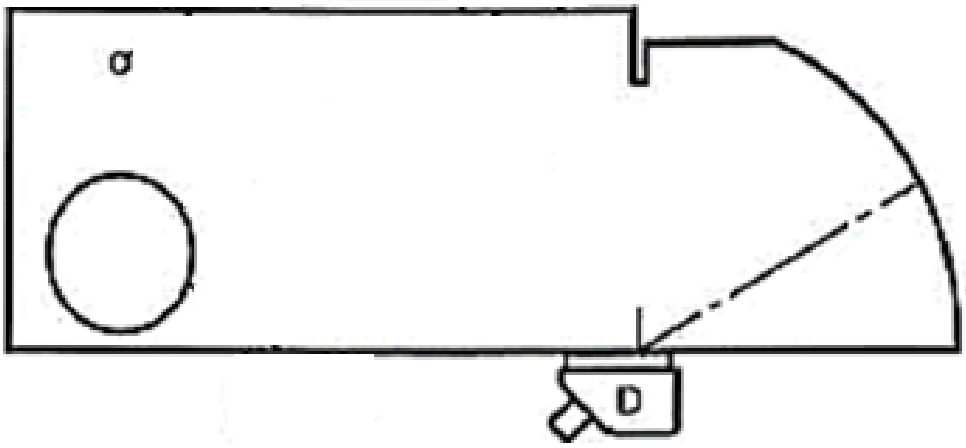


Fig. 39 Posición del palpador para localizar BIP

3.4.4.20.3. VERIFICAR EL ÁNGULO REFRACTADO

El ángulo refractado en la zapata puede variar debido a las propiedades del material de la pieza. Por lo tanto es importante verificar el ángulo real refractado para así obtener mayor exactitud en la inspección. Para verificar el ángulo de refractado se debe realizar el siguiente procedimiento:

1. Ubicar el palpador en la parte de abajo del bloque de calibración en la posición B de la figura 40. En la posición B se colocan ángulos comprendidos entre 40º a 60º y en la posición C para ángulos de 60º a 70º.
2. Mover el palpador hacia adelante y hacia atrás hasta que la señal en la pantalla nos muestre la máxima amplitud, proveniente del gran orificio lateral del bloque de calibración.
3. Cuando la señal alcance la amplitud máxima, la marca realizada anteriormente la cual representa al BIP, debe alinearse con un valor de los ángulos del bloque de calibración. Este es valor el valor real y se lo conoce también como ángulo beta. Se permite una tolerancia de ± 2º.
4. Si este ángulo beta no corresponde al ángulo ingresado anteriormente, presione la tecla ANGULO e introduzca el valor encontrado.

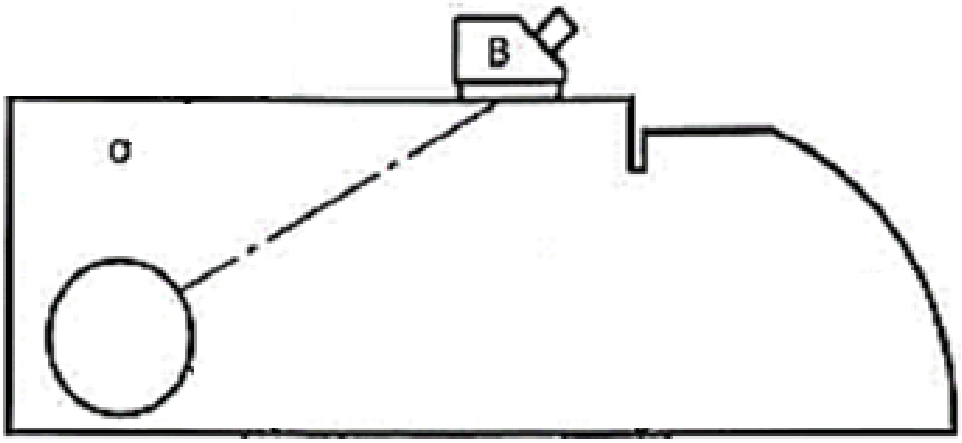


Fig. 40 Posición del palpador para verificar el ángulo refractado

3.4.4.20.4. CALIBRACIÓN DE DISTANCIA

El bloque de calibración ASTM E-164 IIW Tipo 1 tienen una ranura en media luna en sus lados lo que produce ecos de 100 mm y 225 mm.. Para calibrar la distancia de la trayectoria acústica realizamos los siguientes procedimientos:

1. Seleccionamos en el menú principal Auto CAL después en la parte de abajo en la opción MODO CAL. seleccionamos TRAY. ACUSTICA
2. Colocamos el palpador en la posición D según la figura 41 alineando el BIP con el "0" del bloque de calibración. No debe moverse el palpador.
3. Con la tecla GATE colocamos la compuerta 1 sobre el reflector que esta aproximadamente a 100 mm. La tecla GANACIA ajusta la ganancia para que la amplitud del eco alcance el 80%.
4. Bajo el menú Auto CAL seleccionamos CAL Zero para así calibrar el desplazamiento del cero. Nos mostrara un cuadro indicando INGRESE VALOR PARA CAL ZERO. Ingresamos el valor correspondiente del espesor el cual es 100 mm y seleccionamos continúe y finalizar la calibración Zero.
5. Posteriormente con la tecla GATE colocamos la compuerta 1 en el segundo eco que esta aproximadamente a 225 mm.
6. Bajo el menú Auto CAL seleccionamos Cal Vel para así calibrar la velocidad. Nos mostrara un cuadro indicando Ingrese valor Cal Vel. Ingresamos el valor correspondiente del espesor el cual es 225 mm pulgadas y seleccionamos continúe y finalizamos la calibración.

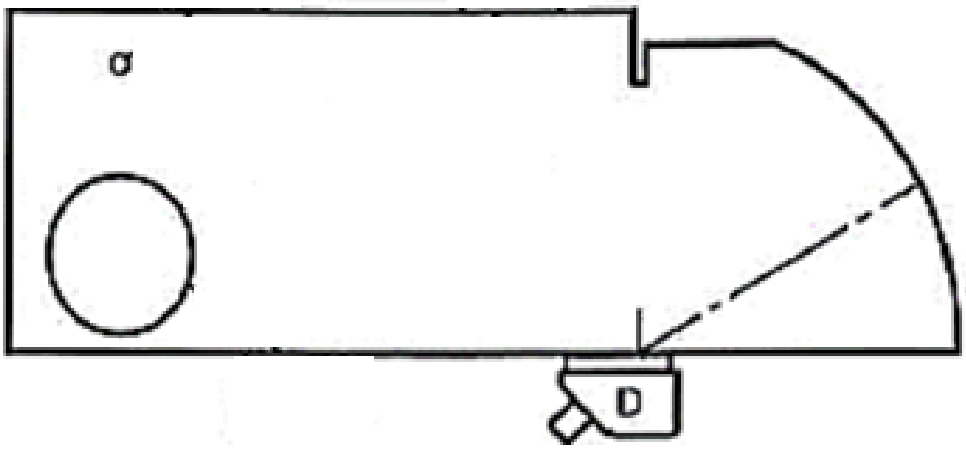


Fig. 41 Posición del palpador para calibrar posición

3.4.4.20.5. CALIBRACIÓN PARA SENSIBILIDAD

El ajuste de sensibilidad se refiere a la ganancia requerida en decibeles para que la amplitud o altura de la indicación del reflector de referencia alcance un cierto porcentaje sobre la escala vertical de la pantalla para el tamaño de las fallas.

1. Ubicamos el palpador en el bloque de calibración, en la posición A de la figura 42, apuntando el BIP en el orificio de 15 mm de profundidad.
2. Movemos el palpador hasta que la señal en la pantalla nos muestre la máxima amplitud, proveniente del barreno del bloque de calibración. No confunda el eco del reflector de referencia con los ecos producidos por los lados del bloque.
3. Teniendo el eco máximo, ajustamos la ganancia para que la señal del reflector alcance la línea de referencia predeterminada. Esta máxima lectura se deberá utilizar como la lectura de "Nivel de Referencia, b" en la hoja de reporte.
4. Usamos las teclas 2nd F + REF dB para bloquear el nivel de ganancia de referencia y así restar o sumar la ganancia necesaria para la inspección.

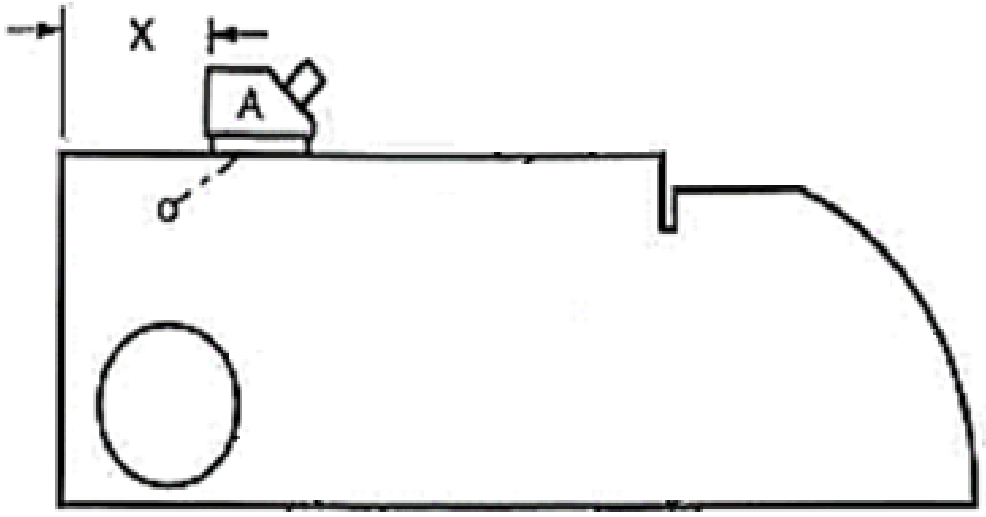


Fig. 42 Posición del palpador para calibrar sensibilidad

3.4.4.21. EVALUACION DE DISCONTINUIDADES

Para llevar a cabo la evaluación de una discontinuidad demanda habilidad y experiencia del técnico, también que el equipo funcione en óptimas condiciones. En general, el equipo, los niveles de sensibilidad y las técnicas utilizadas en la inspección de soldaduras requieren que se mantenga la atención de un técnico experimentado, no solo cuando se debe llevar a cabo la estimación del tamaño de una discontinuidad. (Leon y Russo s.f., 78,79)

Entre los factores que afectan la exactitud en la evaluación de una discontinuidad son:

- La exactitud de la calibración, para obtener la lectura real de la distancia recorrida hasta donde se encuentra localizado el reflector dentro del material.
- El poder de resolución, del transductor.
- La condición superficial.
- La exactitud en la determinación de ángulo de refracción, del haz ultrasónico dentro del material.
- La pérdida de sensibilidad, con el incremento de distancia.
- La divergencia del haz ultrasónico, con el incremento de distancia.
- La forma de la discontinuidad y sus características.
- La experiencia del personal.

Para la inspeccion de las soldaduras por ultrasonidos se utilizara los siguientes metodos:

3.4.4.21.1. CURVAS DAC

Son curvas de correccion de la amplitud en funcion a la distancia, estas curvas sirven para trazar las variaciones de la amplitud de reflectores del mismo tamaño pero a distancias diferendetes del palpador. Estos reflectores producen diversos ecos de amplitud los cuales se producen por la atenuacion del material y la dispersion del haz acustico durante la propagacion a traves del metal base. Con esta curva se evaluan las discontinuidades a diferentes profundidades, siempre y cuando esten comprendidas dentro del rango calibrado.

Para crear las curvas DAC tenemos que tener una pieza del mismo material al que vamos a realizar la inspeccion con barrenos a distintas profundidades conociendo sus dimensiones y su profundidad comunmete existen Bloques basicos del ASME, , despues tomamos de referencia al punto mas lejano a la superficie y se establece la amplitud de la señal recibida despues se mide los siguientes puntos hasta llegar al punto en que el reflector tenga la mayor sercania a la superficie, al tomar todos los picos maximos de la amplitud y unirlos por una linea se logra dibujar la curva. Despues de el trazo de la curva los reflectores del mismo tamaño usados para crear la curva se alinean a lo largo de la curva, de la misma manera los ecos proles venientes de reflectores mas pequeños aparecen por debajo de ella, mientras los reflectores mas grandes por encima de la curva. (Olympus 2009)

3.4.4.21.2. SUMA DE LAS ALTURAS DE LOS REFLECTORES

Este tipo de metodo viene como herramienta de sofware en los equipos de la serie EPOCH 1000 y utiliza la norma de referencia AWS D1.1. la cual permite clasificar las discontinuidades encontradas para su correcta utilizacion.

El metodo realiza la diferenca entre los de relfectores de referencia (b) valor el cual a sido previamente calibrado, con el valor de (a) el cual pertenece a la dscontinuidad que se encuentran en la soldadura y tomando en cuenta el factor de atenuacion (c). dando como resultado un factor (d) el cual permite calcular la clasificacion de la indicacion, como se lo expresa la ecuacion siguiente:

$$a - b - c = d$$

Siendo:

a = Nivel de indicacion de discontinuidad (dB)
b = Nivel de la indicacion de referencia (dB)
c = factor de atenuacion (dB)
d = Classificacion de la indicacion (dB)

El factor de atenuacion c en el reporte de prueba debera ser alcanzado al sustraer 25,4 mm de la distancia de la distancia del trayectoria y multiplicar por 50,8 mm.

En inspecciones confomes a la norma AWS D1.1. se debe verificar la clasificacion de la indicacion (D) en la tablas de criterios de acepacion y rechazo para inspecciones por ultrasonido puesta en el anexo 1 se presentan los criterios, las cuales estan elaboradas por la AWS para estimar la severidad de las discontinuidades encontradas. Despues se elabora un informa AWS con los valores de cada nivel, la informacion sobre el palpador, la longitud y la uicacion de la discontinuidad, y la evaluacion global de la discontinuidad. (Olympus 2009)

3.4.4.21.3. EVALUACION DEL TAMAÑO DE LAS DISCONTINUIDADES

Se utiliza la tecnica de caída de 6 dB (caída al 50% de amplitud), la cual consiste en determinar la localización de los puntos donde la amplitud de los ecos equivale a la caída de 6 dB con respecto al porcentaje máximo de altura cuando el transductor se mueve mas alla de la posición en la que se obtiene la máxima amplitud el eco especificado.

Para este método la base es asumir que la indicación del reflector, como aparece sobre la pantalla del instrumento, tiene una caída de amplitud del pico a la mitad cuando la parte central del haz ultrasónico se encuentra sobre el extremo de la discontinuidad. Algunas veces llamado “'método alrededor” ya que con este método se dibuja con buena exactitud el "contorno de una discontinuidad" grande tal como una laminación. Para discontinuidades menores que la dimensión transversal del haz ultrasónico se tiene una medición con menor exactitud. (Leon y Russo s.f.)

3.4.4.22. CÓDIGOS Y NORMAS PARA INSPECCIÓNES POR ULTRASONIDO

La inspección por ultrasonido puede estar gobernado por uno o más procedimientos los cuales han sido elaborados y estructurados para cumplir con reglas o criterios establecidos en códigos y normas. El técnico en ensayos no destructivos calificado como Nivel II o Nivel III debe estar familiarizado con el manejo e interpretación de estos documentos. A continuación se detalla cada uno de estos documentos:

3.4.4.22.1. CÓDIGO

Es el documento que define los requisitos técnicos de: materiales, procesos de fabricación, inspección, prueba y servicio; con los que debe cumplir una parte, componente o equipo. Entre los códigos más conocidos para la inspección de ultrasonido tenemos:

- Código ASME, Sección V, Articulo 4- Métodos de examen ultrasónico para inspección en servicio.
- Código ASME, Sección V, Articulo 5- Métodos de examen ultrasónico para materiales y fabricación.
- Código AWS D1.1, Inspección ultrasónica en estructuras metálicas, Parte F.

3.4.4.22.2. NORMAS

Son documentos que establecen y definen las reglas para adquirir, comprar, dimensionar o juzgar un servicio, material, parte, componente o un producto. A continuación mostramos algunas de las normas existentes:

- Normas ASTM (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales),
- Normas Internacionales ISO (Organización Internacional de Normalización),
- Normas Mexicanas NMX
- Normas Alemanas DIN

Las normas ASTM relacionadas con las pruebas no destructivas tienden a hacer énfasis en la forma en la cual deben realizarse las actividades de inspección, pero dejan el criterio de aceptación para que sea decidido entre el comprador y el vendedor del servicio. Dentro de esta norma tenemos los siguientes volúmenes para la inspección por ultrasonido:

- ASTM Volumen 01.05 A-435, Especificación normalizada para el examen ultrasónico con haz recto de placas de acero.
- ASTM Volumen 01.05 A-388, Práctica normalizada para el examen ultrasónico de forjas de acero grueso.
- ASTM Volumen 03.03 E-114, Práctica normalizada para el examen ultrasónico por pulso-eco y haz recto por el método de contacto directo.

- ASTM Volumen 03.03 E-164, Práctica normalizada para el examen ultrasónico por contacto directo de uniones soldadas.
- ASTM Volumen 03.03 E-213, Práctica normalizada para el examen ultrasónico de tubería y sistemas de tubería.
- ASTM Volumen 03.03 E-273, Práctica normalizada para el examen ultrasónico de soldadura longitudinal de tubería y sistemas de tubería.
- ASTM Volumen 03.03 E-797, Práctica normalizada para la medición de espesores por el método de contacto manual.

3.4.4.23. CÓDIGO AWS D1.1

Este código contiene los requerimientos para fabricar estructuras soldadas de acero, que utilizan aceros al carbono o de baja aleación con un espesor de 1/8 de pulgada (3 mm) o mayor con una resistencia a la fluencia mínima especifica de 690 MPa o menor.

Este código cuenta con diferentes secciones las cuales son:

- Requerimientos Generales
- Diseño de conexiones soldadas
- Precalificación
- Calificación
- Fabricación
- Inspección
- Soldadura de espárragos
- Fortalecimiento y reparación de estructuras existentes

3.4.4.23.1. PROCEDIMIENTO PARA ACEPTACIÓN UT AWS D1.1.

El procedimiento y la técnica para la inspección por ultrasonido se encuentran ubicada en la sección de Inspección parte F del código AWS D1.1.

Se deberá realizar en conformidad con el procedimiento escrito que deberá contener:

- Tipos de configuraciones de juntas soldadas a examinar
- Tipo de equipo de ultrasonido

- Tipo de transductor incluyendo frecuencia, tamaño, forma, angula y tipo de zapata.
- Preparación de la superficie de escaneo
- Tipos de bloques de ensayo de calibración
- Método de calibración e intervalo de calibración
- Método para evaluar las laminaciones previas a la evaluación de soldadura.
- Patrón de escaneo
- Métodos de corrección de transferencia para rugosidad de superficie, recubrimientos de la superficie y curvatura, si aplica.
- Método para verificar la exactitud de la evaluación completa. Esta verificación puede hacerse mediante auditoras.
- Requerimientos de retención de documentos.

3.4.4.23.2. REQUERIMIENTOS DE CALIFICACIÓN DEL OPERADOR

La calificación del operador de UT deberá incluir un examen práctico y especifico que deberá estar basado en los requerimientos de este código. Este examen deberá requerir que el operador demuestre la habilidad de aplicar las reglas de este código en la detección certera y disposición de discontinuidades. (AWS 2010)

3.4.4.23.3. REQUERIMIENTOS DEL EQUIPO.

Debe ser del tipo pulso eco adecuado para usar con transductor que oscilen en frecuencia entre 1 y 6 MHz. Los instrumentos de prueba deberán incluir estabilización interna para que después del calentamiento no ocurra una variación en respuesta mayor a 1 dB, con un cambio de voltaje de 15% nominal en la fuente. Deberá existir una alarma o medidor que indique una caída en el voltaje de la batería previa al apagado de un instrumento debido al agotamiento de la batería.

El instrumento deberá tener un control de aumento calibrado ajustado de 1 o 2 dB en un rango al menos de 60 dB.

Los transductores deberán consistir en un transductor y una zapata angular. La unidad puede consistir de dos elementos separados o puede ser una unidad integral. (AWS 2010)

4. VISUALIZACION DEL ALCANCE DEL ESTUDIO

En lo social: La trascendencia de este trabajo radica en permitir que los operarios y profesionales que utilizan el equipo de ultrasonido, conozcan el procedimiento adecuado para su utilización y sepan calibrarlo, de esta manera las personas encargadas en el manejo del equipo realicen un correcto análisis y brinde un servicio de calidad.

En lo económico: Estos procedimientos de calibración de los equipos de ultrasonido son muy complejos y su aprendizaje son altamente costoso. Se necesitan de cursos y seminarios cuyos precios son muy elevados. Por lo tanto en este documento brinda procedimientos correctos y confiables, ayudando así a las personas que hagan uso del equipo realicen la calibración sin gastar mucho dinero.

En lo científico: Los estudiantes tendrán con este proyecto una guía para la calibración del equipo EPOCH 1000i, y será de suma importancia para su utilización y funcionamiento de esta forma los estudiantes realizaran practicas fundamentales fortaleciendo sus conocimientos prácticos en la asignatura de ensayos no destructivos.

5. DESARROLLO DEL DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

5.1. OBJETIVOS

5.1.1. OBJETIVO GENERAL

Calibrar el equipo de ultrasonido EPOCH 1000i y elaborar el procedimiento para el análisis de los cordones de soldadura de la estructura metálica del Centro de Investigaciones de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Manabí.

5.1.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Realizar la calibración del equipo de ultrasonido EPOCH 1000i para palpadores angulares utilizando el bloque de calibración ASTM E164 IIW.
- Establecer códigos o normas para la inspección ultrasónica de los cordones de la estructura metálica del Centro de Investigaciones de Ciencias Agropecuarias
- Desarrollar el procedimiento establecido para la inspección de cordones de soldadura por ultrasonido según el código AWS D1.1.

5.2. CAMPOS DE ACCIÓN

Análisis de los cordones de soldadura para la estructura del campus experimental de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Técnica de Manabí, ubicada en la parroquia Lodana del Cantón Santa Ana.

5.3. PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO DE LOS CORDONES DE SOLDADURA DE LA ESTRUCTURA METÁLICA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE CIENCIAS AGROPECUARIAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ SEGÚN CODIGO AWS D1.1.

- Objetivo
- Alcance
- Normas de referencia
- Materiales y espesores
- Detalles dimensionales
- Equipo
- Palpadores
- Técnica de inspección
- Método de calibración
- Ajuste de sensibilidad
- Condición superficial
- Acoplante
- Requisitos adicionales
- Criterios de aceptación
- Sistema de rastreabilidad
- Hoja de reporte

5.3.1. OBJETIVO

Este procedimiento describe los requisitos mínimos para la inspección de soldaduras por ultrasonido para la Estructura Metálica del Centro de Investigaciones de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Manabí.

5.3.2. ALCANCE

Se describe el método para realizar la inspección por ultrasonido de uniones soldadas en estructuras metálicas, aplica para espesores soldados que van desde 8 mm hasta 200 mm y cada ensayo localizado deberá cubrir un largo de soldadura menor o igual a 100 mm.

5.3.3. NORMA DE REFERENCIA

El código de referencia que se utiliza como guía técnica aplicable es la AWS D1.1-2010, Sección 6, Parte F.

5.3.4. PERSONAL

La persona encargada para calibrar el equipo, interpretar y evaluar los resultados de las inspección por ultrasonido debe estar calificado como Nivel II o III certificado según recomendaciones de la norma ASNT- TC-1A.

5.3.5. MATERIALES Y ESPESORES

- Acero ASTM A36
- Espesores 8-200 mm

5.3.6. DETALLES DIMENSIONALES

Las juntas de soldadura a examinar son a tope, con bisel en V, con un ángulo de 60º y una abertura de raíz de 3 mm penetración total realizada con electrodo 6011.

5.3.7. EQUIPO DE ULTRASONIDO

Tabla 6 Características del equipo EPOCH 1000i

Fabricante	OLYMPUS
Modelo	Epoch 1000i
Tipo	Pulso - eco

5.3.8. PALPADOR

Palpador angular Olympus modelo C549-SM, con frecuencia de 2.25 MHZ y un tamaño de 0,375 pulg. Este transductor está montado en una zapata de 45º modelo ABWM-7T-45.

5.3.8.1. BARRIDO A

Se efectuará con palpador angular, seleccionando, deben realizarse movimientos perpendiculares al eje del cordón de soldadura acercándose y alejándose lo suficiente para garantizar que el haz explore toda la sección de la soldadura con una reflexión simple, un segundo desplazamiento del palpador debe cumplir con un desplazamiento paralelo al cordón de soldadura para examinar toda la longitud de la misma. La suma de los dos movimientos del palpador dan como resultante un desplazamiento sinusoidal, con un paso menor que la dimensión transversal del cristal. Durante el desplazamiento sinusoidal o zigzag es importante realizar con el palpador una ligera rotación entre 15° y 20° para detectar defectos de orientación particular como fisuras.

Cualquier discontinuidad detectada superior al 20 % del nivel de referencia se analizará para determinar si se trata de una posible fisura.

5.3.8.2. BARRIDO B

Se realizará con palpador normal en zonas aledañas y paralelas al cordón de soldadura con el propósito de detectar fisuras o laminaciones en el material base. Este barrido es complementario o de comprobación.

5.3.9. TÉCNICA A SER USADA

Serán utilizadas las técnicas de ondas longitudinales y transversales

5.3.10. MÉTODO DE CALIBRACIÓN

Para la Calibración del Equipo EPOCH 1000i se utilizó un transductor, con una frecuencia de 2.25MHz con tamaño nominal de 0,375 pulg modelo C549-SM. Se montó sobre una zapata de 45°. Se utilizó un bloque de calibración ASTM E164 IIW Tipo I de acero al carbón, con número de parte TB7541-X

1. Se ajustó los parámetros iniciales para la calibración los cuales son: Velocidad 3251 m/s, rango 300 mm, frecuencia 2.5 MHz, energía 100 v, Amortiguación 50 Ohm, modo PRF Auto Min, filtro 2.0 – 21.5 y ángulo 45º.
2. Se determinó el Punto Índice de Emisión

3. Se verifico el ángulo refractado de la salida del Haz de 45º.
4. Se calibro la distancia ingresando los valores de 100 mm y 225 mm para la velocidad.
5. Se calibro la Sensibilidad utilizando el eco máximo del barreno del bloque de calibración la cual se debe representar por el 80% de la altura de la pantalla.

5.3.11. CURVAS DE REFERENCIA

Con la ayuda de un patrón auxiliar se elaboró la curva DAC, donde la señal de mayor amplitud será representada por el 80% de la altura de la pantalla.

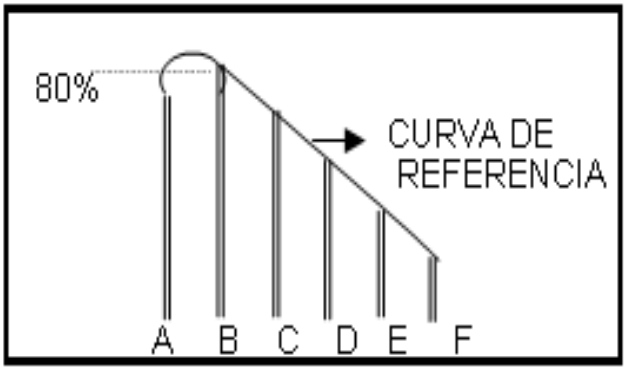


Fig. 43 Curvas de referencia

NOTA:

Siempre que cualquier punto de referencia caiga abajo del 20% de la altura de la pantalla, debe ser trazada una curva auxiliar.

La calibración de sensibilidad debe ser comprobada cada 4 horas de trabajo continuo.

5.3.12. AJUSTE DE SENSIBILIDAD

La sensibilidad será ajustada tomando en cuenta la pérdida de transferencia.

5.3.13. CONDICIÓN SUPERFICIAL

La superficie presento oxidación leve en el metal base.

Se utilizó la técnica de cepillado del área de barrido.

5.3.14. ACOPLANTE

Glicerina

5.3.15. REQUISITOS ADICIONALES

Revisar que el equipo cumpla los controles de linealidad horizontal y vertical, según recomendaciones del código AWS D1.1. De la sección Inspección parte F.

5.3.16. CRITERIO DE REGISTRO IDENTIFICACION Y MÉTODO DE DIMENSIONAMIENTO DE DISCONTINUIDADES.

Serán registradas todas las discontinuidades cuyo eco sobrepase el 50% de la curva DAC y la detección será realizada de acuerdo al método de los 6dB.

5.3.17. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

Se empleara los criterios de aceptación y rechazo para la evaluación de las discontinuidades utilizando la tabla del anexo 1 la cual pertenece a la norma AWS D1.1.

5.3.18. SISTEMA DE RASTREABILIDAD

En el informe debe indicar claramente el equipo, el número de tubo inspeccionado y el lugar donde existe cualquier discontinuidad, discriminando si se trata de una soldadura longitudinal o circular.

Se marcará los defectos encontrados y que necesitan ser reparados.

5.3.19. HOJA DE REPORTE:

Los datos obtenidos en la inspeccion por ultrasonido deberan ser registrados. El informe debe contener toda la información en relación al ensayo tales como identificacion de las soldaduras examinadas, fecha y lugar de examen, esquema de la soldadura, equipo utilizado, nombres del operador, condiciones de trabajo y los resultados final del ensayo. La hoja tendra el formato del Anexo 2.

6. RECOLECCIÓN DE LOS DATOS

Para el análisis del tema se revisó diversos aspectos físicos para un mejor entendimiento y futura aplicación del mismo.

La calibración del equipo se realizó de acuerdo al manual EPOCH 1000i y los conocimientos prácticos del autor de este proyecto.

Se realizó el procedimiento para la inspección de conformidad con la norma AWS D1.1. 2010, la cual en la parte F, página 237, muestra los detalles para la elaboración de este documento.

7. ANÁLISIS DE LOS DATOS

Para elaborar el primer objetivo se determinó los aspectos principales para la calibración del equipo EPOCH para lo cual se conocieron los controles básicos necesarios para la manipulación del equipo. Se realizó la calibración de los siguientes puntos fundamentales para la correcta calibración:

- Ajustar los parámetros iniciales para la calibración.
- Localizar el Punto Índice de Emisión (BIP) de la probeta.
- Verificar el ángulo refractado.
- Calibración de Distancia.
- Calibración para Sensibilidad.

En el segundo objetivo se investigó las normas y códigos existentes para la inspección de ensayos no destructivos por ultrasonido. Se estableció como documento de referencia el código AWS D1.1. 2010, debido a que describen procedimientos de Ensayos No Destructivos que se han utilizado por años y proporcionan seguridad a la integridad de las soldaduras.

Para el tercer objetivo se elaboró el procedimiento de Inspección para los cordones de soldadura de la estructura metálica del Centro de Investigaciones de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Manabí utilizando como norma de referencia AWS D1.1. 2010 parte F.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. CONCLUSIONES

- El procedimiento de inspección desarrollado permitió una correcta ejecución del Ensayo No Destructivo por Ultrasonido, obteniéndose resultados confiables para un servicio de calidad.

- En la calibración del equipo EPOCH 1000i, los valores de los parámetros iniciales se configuraron de acuerdo a el palpador utilizado y al material que se inspecciono.

- Se utilizó un palpador normal para la inspección de las zonas aledañas y paralelas al cordón de soldadura para así detectar fisuras o laminaciones en el material base.

- El agua como acoplante no es recomendable debido a que sus propiedades no son las adecuadas para una correcta inspección. Por lo tanto se utilizó glicerina por ser un acoplante espeso ideal para el desplazamiento del palpador.

- Debido a que el material examinado fue Acero ASME A36 se ajustó el parámetro de la velocidad ultrasónica a 3251 m/s, permitiendo así realizar una correcta inspección en los cordones de soldadura de la estructura metálica

- Las condiciones de aceptación y rechazo según la norma AWS D1.1. clasifica a las discontinuidades en 4 clases A, B, C, y D, siendo la discontinuidad de clase A grandes por lo tanto se debe rechazar, las discontinuidades de clase B y clase C se rechazan en función a la longitud de la discontinuidad y las de clase D son aceptadas sin tener en cuenta su ubicación y su longitud.

- En la inspección ultrasónica realizada existieron resultados muy desfavorables encontrándose defectos relevantes tales como falta de penetración de soldadura, mordeduras y porosidades.

8.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda recalibrar el equipo EPOCH 1000i cuando se realice el cambio del transductor, la batería, el cable coaxial y operario; también en caso de corte de energía eléctrica y en cualquier momento que se sospeche un mal funcionamiento.

- Considerar la aplicación de las normas AWSD1.1 para elevar los niveles de confiabilidad de las estructuras metálicas en general.

- Para una mejor inspección, se recomienda utilizar equipos alternos como software de computadoras, sistemas de imagen, escaneo mecanizado y dispositivos de grabación.

- Las soldaduras que no han sido aceptadas deberán ser reparadas y nuevamente evaluadas mediante el ensayo ultrasónico.

- El correcto cuidado y mantenimiento del equipo EPOCH 1000i como de los accesorios, son de vital importancia para todo el proceso de estudio e inspección, por lo que se recomienda revisar cuidadosamente el manual antes de su utilización.

- Se recomienda utilizar personal calificado para la elaboración de los cordones de soldadura y para realizar las inspecciones por ultrasonido.

PRESUPUESTO

DESCRIPCIÓN	CANT.	PRECIO UNITARIO (USD $)	PRECIO TOTAL (USD $)
a) Equipos			
- Alquiler de equipo EPOCH 1000i y accesorios	1	500.00	500.00
- Cámara Fotográfica	1	50.00	50.00
- Laptop	1	200.00	200.00
SUBTOTAL			**750.00**
b) Recursos Materiales			
- Impresiones	500	0.10	50.00
- Anillados	5	1.00	5.00
- Utilidades	1	20.00	20.00
SUBTOTAL			**75.00**
c) Imprevistos			
- Transporte			50.00
- Internet			50.00
- Copias			25.00
- Suministros			75.00
SUBTOTAL			**200.00**
TOTAL			**1025.00**

CRONOGRAMA

ACTIVIDADES	2015-2016																	
	NOVIEMBRE				DICIEMBRE				ENERO				FEBRERO				RECURSOS	
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	HUMANOS	MATERIALES
Elaboración y presentación del anteproyecto																	Autor y Tutor del Trabajo de Titulación	Documentos, anillados.
Recolección de información bibliográfica																	Autor del Trabajo de Titulación	Documentos, carpetas.
Análisis de los datos recopilados																	Autor y Tutor del Trabajo de Titulación	Materiales de oficina.
Realizar el Procedimiento de calibración																	Autor del Proyecto	Equipo Topográficos.
Calibración de Equipo																	Técnicos y Autor del Proyecto	Cámara fotográfica, Equipo EPOCH 1000i.
Establecer el Procedimiento de Inspección de soldaduras																	Autor del Proyecto	Materiales de oficina.
Elaboración de trabajo de sustentación																	Autor del Trabajo de Titulación	Materiales de oficina.
Revisión																	Revisor del Trabajo de Titulación	Materiales de oficina.
Sustentación																	Autor del Trabajo de Titulación	Documentos, anillados.

BIBLIOGRAFÍA

- ASME. *ASME Sección 5.* Estados Unidos de America: The American Society for Testing and Materials, 2010.
- AWS. *AWS D1.1.* Estados Unidos: American Welding Society, 2010.
- Carpintero Pino, Jose Maria. *Manual práctico de soldadura básica* . Starbook, 2011.
- Dominguez Soriano, Esteban Jose, y Julian Ferrer Ruiz. *Mecanizado Basico y Soldadura (PCPI).* Madrid: S.A. Editex, 2008.
- Espinosa de los Monteros, Julian. *Manual Práctico de Carpintería Metálica.* Madrid: Antonio Madrid Vicente, editor, 2013.
- Fernández Hatre, Alfonso. *Ensayos No destructivos por ultrasonido.* PRINCIPADO DE ASTURIAS Instituto de Fomento Regional, s.f.
- Ferrer, Romer. «Metodo de ensayo de Ultrasonido II.» agosto de 2010.
- Horwitz, Henry. *Soldadura, aplicaciones y practica.* Nuevo York: Alfaomega Grupo Editor, 2011.
- Jeffus, Larry. *Soldadura, Principios y Aplicaciones.* Madrid: Paraninfo , 2009.
- Koellhoffer, Leonard . *Manual de soldadura Processing and Practices.* Mexico: Limusa, 2013.
- Leon, y Russo. «CURSO NIVEL I & II.» Ingenieros S.A.C., s.f.
- McCormac, Jack C., y Stephen F. Csernak. *Diseño de estructura de acero.* Vol. 5a Edición. Mexico: Alfaomega Grupo Editor, 2013.
- Olarte C., William, y Marcela Botero A. «La Detección de ultrasonido: una tecnica empleada en el mantenimiento predictivo.» *Scientia Et Technica XVII*, 2011: 230-233.

- Olympus. «Serie EPOCH 1000 Manual de usuario.» Junio de 2009.
- Ospina Lopez, Ricaurte, Carlos Hernando Trujillo, y Hernando Parra L. «Aplicación y selección de ensayos no destructivos para la evaluación de uniones soldadas.» *Scientia Et Technica XVI*, 2011: 196-201.
- Rimoldi, Claudio, y Luis Mariano Mundo. «Ensayo no destructivo por método ultrasonido.» Departamento de Aeronautica, 2013.
- Urbán Brotóns, Pascual. *Construcción de estructuras metálicas.* España: Club Universitario, 2009.
- Valencia Clement, Gabriel. *Diseño Básico de Estructuras de acero de acuerdo con NSR-10.* Bogota: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2010.

ANEXOS

Criterio UT de Aceptación-Rechazo (Conexiones No-Tubulares Estaticamente Cargadas) (ver 6.13.1 y C-6.26.6)

Clase de Severidad de Discontinuidad[a]	Tamaño de Soldadura[a] en pulgadas [mm] y Ángulo de Unidad de Búsqueda										
	5/16 hasta 3/4 [8–20]	> 3/4 hasta 1-1/2 [20–38]	> 1-1/2 hasta 2-1/2 [38–65]			> 2-1/2 hasta 4 [65–100]			> 4 hasta 8 [100–200]		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°
Clase A	+5 & menor	+2 & menor	–2 & menor	+1 & menor	+3 & menor	–5 & menor	–2 & menor	0 & menor	–7 & menor	–4 & menor	–1 & menor
Clase B	+6	+3	–1 0	+2 +3	+4 +5	–4 –3	–1 0	+1 +2	–6 –5	–3 –2	0 +1
Clase C	+7	+4	+1 +2	+4 +5	+6 +7	–2 a +2	+1 +2	+3 +4	–4 a +2	–1 a +2	+2 +3
Clase D	+8 & mayor	+5 & mayor	+3 & mayor	+6 & mayor	+8 & mayor	+3 & mayor	+3 & mayor	+5 & mayor	+3 & mayor	+3 & mayor	+4 & mayor

[a] El espesor de la soldadura debe definirse como el espesor nominal del elemento estructural de menor espesor a ser unido.

Notas:

1. Las discontinuidades de Clase B deben estar separadas al menos por 2L, siendo L la longitud de la mayor discontinuidad, excepto cuando dos o mas de tales discontinuidades no están separadas por al menos 2L, pero la longitud de las discontinuidades y su separación es igual o menor que la longitud máxima permisible bajo las disposiciones de las Clases B o C, la discontinuidad debe considerarse como una única discontinuidad aceptable.
2. Las discontinuidades de Clase B y C no deben comenzar a una distancia menor que 2L desde los finales de las soldaduras que soportan esfuerzos de tracción principales, siendo L el largo de la discontinuidad.
3. Las discontinuidades detectadas en el área de la cara de la raíz en una soldadura con CJP con bisel doble, deben ser evaluadas usando una clasificación de la indicación 4 dB mas sensible, que la descripta en 6.26.6.5, cuando tales soldaduras son indicadas como "soldadura bajo tracción" en los planos (restar 4 dB para el nivel de referencia "b").
4. Soldaduras por electro escoria o electrogas: en las discontinuidades que exceden las 2 pulg. [50 mm] se deben sospechar que son de porosidad vermicular y deberá ser examinada adicionalmente mediante radiografía.
5. Para indicaciones que se mantienen en el monitor, cuando el palpador se mueve, referirse a 6.13.1.

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

Clase B (discontinuidades medias)
Cualquier indicación en esta categoría que tenga una longitud mayor que 3/4 pulg. [20 mm] debe ser rechazada.

Clase C (discontinuidades pequeñas)
Cualquier indicación en esta categoría que tenga una longitud mayor que 2 pulg. [50 mm] debe ser rechazada.

Clase D (discontinuidades menores)
Cualquier indicación en esta categoría debe ser aceptada sin tener en cuenta la longitud o ubicación en la soldadura.

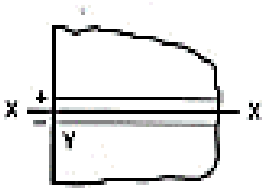
Niveles de Escaneo/Exploración	
Trayectoria[b] en pulg. [mm]	Referencia por Encima de Cero, dB
hasta 2-1/2 [65 mm]	14
> 2-1/2 hasta 5 [65–125 mm]	19
> 5 hasta 10 [125–250 mm]	29
> 10 hasta 15 [250–380 mm]	39

[b] Esta columna se refiere a la distancia recorrida por el haz, NO al espesor del material.

Anexo 1 Criterios UT de Aceptacion-Rechazo Norma AWS D1.1.

Reporte de Ensayos Ultrasónicos de Soldaduras

Proyecto _____ Reporte nº _____



Identificación de soldadura _____

Espesor de material _____

Junta soldada AWS _____

Proceso de soldadura _____

Requerimientos de calidad—sección nº _____

Comentarios _____

Número de línea	Número de indicación	Ángulo transductor	De la cara	Prima*	Decibeles				Discontinuidad					Evaluación de discontinuidad	Comentarios
					Nivel de indicación a	Nivel de referencia b	Factor de atenuación c	Índice de indicación d	Longitud	Distancia angular (recorrido según ...)	Profundidad desde punto "X"	Distancia Desde X	Distancia Desde Y		
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															

Nosotros, abajo firmantes, certificamos que las declaraciones en este record son correctas y que las soldaduras fueron preparadas y ensayadas en conformidad con los requerimientos de la sección 6, parte F de AWS D1.1/D1.1M, (_____) *Código de Soldadura Estructural—Acero.*
(año)

Fecha de ensayo _____

Inspeccionado por _____

Nota: Esta forma es aplicable a la sección 2, partes B o C (Estructuras No-Tubulares Cargadas Estáticamente y Cíclicamente). NO use esta forma para Estructuras Tubulares (sección 2, parte D).

Fabricante o Contratista _____

Autorizado por _____

Fecha _____

Anexo 2 Registro de Inspección de Ultrasonido

Propiedades Acústica de Materiales					
Material	**Velocidad Longitudinal**		**Velocidad de Corte**		**Impedancia Acústica**
	(in/µs)	**(m/s)**	**(in/µs)**	**(m/s)**	**(Kg/m²s x 10⁶)**
Resina Acrílica	0.107	2,730	0.056	1,430	3.22
Aluminio	0.249	6,320	0.123	3,130	17.06
Berilio	0.508	12,900	0.350	8,880	23.5
Latón, naval	0.174	4,430	0.083	2,120	37.30
Cadmio	0.109	2,780	0.059	1,500	24.02
Niobio	0.194	4,920	0.083	2,100	42.16
Cobre	0.183	4,660	0.089	2,260	41.61
Glicerina	0.076	1,920	—	—	2.42
Oro	0.128	3,240	0.047	1,200	62.60
Inconel®	0.29	5,820	0.119	3,020	49.47
Hierro	0.232	5,900	0.127	3,230	45.43
Hierro, fundido					
(lento)	0.138	3,500	0.087	2,200	25.00
(rápido)	0.220	5,600	0.126	3,220	40.00
Plomo	0.085	2,160	0.028	700	24.49
Manganeso	0.183	4,660	0.093	2,350	34.44
Mercurio	0.057	1,450	—	—	19.66
Molibdeno	0.264	6,250	0.132	3,350	63.75
Aceite de motor (SAE 20 o 39	0.069	1,740	—	—	1.51
Níquel, puro	0.222	5,630	0.117	2,960	49.99
Platino	0.156	3,960	0.066	1,670	84.74
Poliamina (nylon, Perlon)					
(lento)	0.087	2,200	0.043	1,100	.40
(rápido)	0.102	2,600	0.047	1,200	3.10
Poliestireno	0.092	2,340	—	—	2.47
Cloruro de polivinilo, PVC, duro	0.094	2,395	0.042	1,060	3.35
Plata	0.142	3,600	0.063	1,590	37.76
Acero, 1020	0.232	5,890	0.128	3,240	45.63
Acero, 4340	0.230	5,850	0.128	3,240	45.63
Acero, 302	0.223	5,660	0.123	3,120	45.45
Acero inoxidable austenitico, 347	0.226	5,740	0.122	3,090	45.40
Estaño inoxidable austenitico	0.131	3,320	0.066	1,670	24.20
Titanio, Ti 150A	0.240	6,100	0.123	3,120	27.69
Tungsteno	0.204	5,180	0.113	2,870	99.72
Uranio	0.133	3,370	0.078	1,980	63.02
Agua (20ºC)	0.058	1,480	—	—	1.48
Zinc	0.164	4,170	0.095	2,410	29.61
Zirconio	0.183	4,650	0.089	2,250	30.13

* Factor de conversión: 1 m/s = 3.937 x 10-5 in/µs

Anexo 3 Propiedades acústica de los materiales

Anexo 4 Estructura Metálica del Centro de Investigaciones

Anexo 5 Estructura metálica Terminada

Anexo 6 Bloque de calibración métrico ASTM E164 IIW

Anexo 7 Equipo listo para la calibración

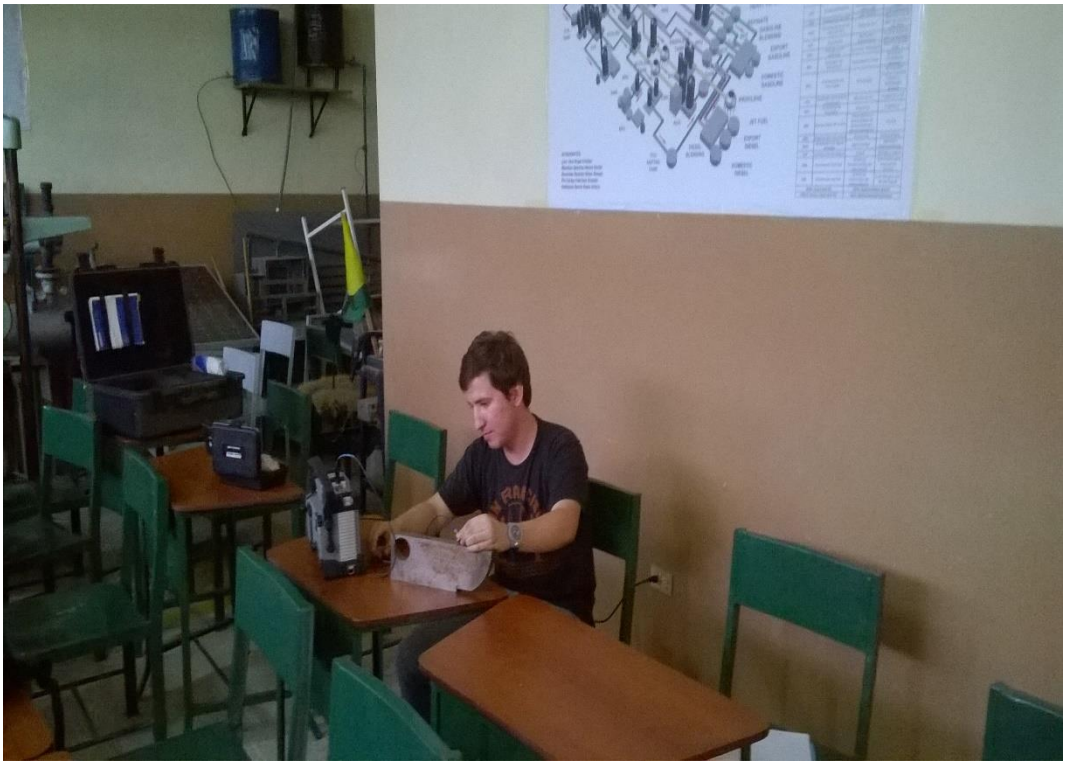
Anexo 8 Localización del Punto índice de emisión

Anexo 9 Verificación del ángulo refractado

Anexo 10 Calibración de distancia

Anexo 11 Calibración de sensibilidad

Anexo 12 Proceso de calibración del equipo EPOCH 1000i



Anexo 13 Realización de la calibración del equipo EPOCH 1000i