



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA: “ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE
PROCEDIMIENTOS PARA LA INSPECCIÓN EN UNIONES A
TOPE PARA TUBERÍA DE ACUERDO A LA NORMA API 1104
Y CÓDIGO ASME B31.3, CON EL EQUIPO DE ULTRASONIDO
OLYMPUS EPOCH 1000i”**

**AUTORES: PÉREZ PAREDES, JAIME GEOVANY
SUCUZHAÑAY AMENDAÑO, DIEGO ARMANDO**

DIRECTOR: MsC. RIOFRÍO, PATRICIO

CODIRECTOR: ING. QUEZADA, PATRICIO

SALGOLQUÍ, MAYO 2015

CERTIFICADO

En nuestra calidad de Director y Codirector, certificamos que los señores Pérez Paredes Jaime Geovany y Sucuzhañay Amendaño Diego Armando han desarrollado el proyecto de grado titulado "ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA LA INSPECCIÓN EN UNIONES A TOPE PARA TUBERÍA DE ACUERDO A LA NORMA API 1104 Y CÓDIGO ASME B31.3, CON EL EQUIPO DE ULTRASONIDO OLYMPUS EPOCH 1000I" bajo nuestra dirección.

Sangoquí, Mayo 2015



MsC. Patricio Riefrío

DIRECTOR



Ing. Patricio Quezada

CODIRECTOR


AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Declaramos que el proyecto de grado titulado "ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA LA INSPECCIÓN EN UNIONES A TOPE PARA TUBERÍA DE ACUERDO A LA NORMA API 1104 Y CÓDIGO ASME B31.3, CON EL EQUIPO DE ULTRASONIDO OLYMPUS EPOCH 1000" ha sido realizado en base a una investigación exhaustiva respetando derechos intelectuales de terceros, conforme a las citas que constan en las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este proyecto es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico de este proyecto de grado en mención.

Sangolquí, Mayo 2015



Sr. Jaime Geovany Pérez P.



Sr. Diego Armando Sucuzhañay A.

AUTORIZACIÓN DE LA BIBLIOTECA

Nosotros, Jaime Geovany Pérez Paredes y Diego Armando Sucuzhañay Amendaño, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas – "ESPE", la publicación en la biblioteca virtual de la institución el proyecto de grado titulado "ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA LA INSPECCIÓN EN UNIONES A TOPE PARA TUBERÍA DE ALUEKUU A LA NORMA API 1104 Y CÓDIGO ASME B31.3, CON EL EQUIPO DE ULTRASONIDO OLYMPUS EPOCH 1000", cuya autoría es de nuestra exclusiva responsabilidad.

Sangolquí, Mayo 2015



Sr. Jaime Geovany Pérez P.



Sr. Diego Armando Sucuzhañay A.

DEDICATORIA

Ese proyecto está dedicado a mis padres Jaime y María, por su apoyo incondicional, quienes con amor me impartieron sus valores y enseñanzas para lograr mis objetivos con sabiduría.

JAIME GEOVANY PÉREZ PAREDES

Con mucho cariño este proyecto está dedicado a mis padres Jorge y Livia quienes me dieron lo más preciado que es la vida y me apoyaron incondicionalmente en todo momento para poder alcanzar y cumplir mi meta, a mi hermana Mery que por su sacrificio en alcanzar sus propósitos me ha dado un ejemplo a seguir, a mi novia Verónica quien fue mi apoyo durante toda mi carrera.

DIEGO ARMANDO SUCUZHAÑAY AMENDAÑO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser el que guía mi camino de la forma más correcta, a mis padres que son mi apoyo incondicional, a mis hermanos por todo el cariño que me ayuda a seguir adelante cumpliendo mis metas y también a mis directores de tesis que fueron los maestros y guías para realizar este proyecto de la mejor manera.

JAIME GEOVANY PÉREZ PAREDES

En primer lugar agradezco a Dios y a la Virgencita por brindarme la sabiduría que me permitió llegar a cumplir mi meta, a mis padres que por sus valiosos consejos me han ayudado a encaminarme por el camino correcto, a mi Director y Codirector de tesis Ingenieros Patricio Riofrío y Patricio Quezada que por su correcta orientación durante todo el desarrollo del proyecto me han permitido culminar el mismo.

DIEGO ARMANDO SUCUZHAÑAY AMENDAÑO

RESUMEN

El presente proyecto se focaliza en la elaboración de un manual general de procedimientos de uniones a tope para tubería de acuerdo a la Norma API 1104 y Código ASME B31.3, mediante el Ensayo No Destructivo de Ultrasonido por la técnica de Arreglo de Fases, para lo cual se realizó un procedimiento específico en la inspección de probetas de tubería y se comprobó su validez mediante un análisis comparativo con el Ensayo No Destructivo de Radiografiado Industrial, el cual fue realizado por una entidad externa. Para el desarrollo del manual de procedimientos en UT se estandarizó los procesos de calibración y manejo del Equipo Olympus Epoch 1000i en función del equipamiento que dispone el laboratorio de Ciencia de los Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE". Para contar con la habilidad de interpretación de resultados del Equipo de Ultrasonido, la cual servirá para el correcto desarrollo de los reportes de inspección requeridos por el procedimiento, se implementó un Kit de probetas de entrenamiento certificadas para el ensayo de Ultrasonido. Para transmitir esta habilidad a los estudiantes de Ingeniería Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE", se diseñó una guía de práctica de laboratorio utilizando el Kit de probetas de entrenamiento con el equipo de Ultrasonido en modo de Arreglo de Fases.

PALABRAS CLAVES:

- **ARREGLO DE FASES**
- **RADIOGRAFIADO**
- **ULTRASONIDO**
- **PROBETAS**
- **KIT**

ABSTRACT

This project focuses on the development of a comprehensive procedures manual about pipe butt joints according to API Standard 1104 and B31.3 ASME Code, by means of Nondestructive Ultrasonic Testing by Phased Array Technique, for which a specific procedure was performed in the inspection of pipe specimens and their validity was checked by a comparative analysis with Non-Destructive Testing of Industrial radiographed, which was conducted by an external entity. For the development of the procedures manual UT, calibration processes and management of Olympus Epoch 1000i equipment was standardized, depending on the equipment available in the laboratory of Materials Science, at Fuerzas Armadas University "ESPE" . To have the ability to interpret results of ultrasound equipment which will serve for the proper conduct of inspection reports required by the procedure, Kit specimens of certified training was implemented for testing Ultrasound. To transmit this skill to students of Mechanical Engineering, of Fuerzas Armadas University "ESPE", a guide lab practice was designed using the kit specimens training with the Ultrasound equipment in Phased Array mode.

KEYWORDS:

- **PHASED ARRAY**
- **RADIOGRAPHED**
- **ULTRASOUND**
- **SPECIMENS**
- **KIT**

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	1
GENERALIDADES.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3 OBJETIVOS	2
1.3.1 GENERAL.....	2
1.3.2 ESPECÍFICOS.....	3
1.4 ALCANCE	3
1.5 JUSTIFICACIÓN	4
CAPÍTULO 2.	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	5
2.2 INCIDENCIA DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN EL CONTROL DE CALIDAD	5
2.3 CONTROL DE CALIDAD EN UNIONES SOLDADAS.....	7
2.4 DISCONTINUIDAD, DEFECTO E INDICACIÓN EN LA SOLDADURA.....	10
2.5 SOLDADURA DE UNIONES A TOPE EN TUBERÍA	11
2.5.1 GENERALIDADES DE LA SOLDADURA SMAW	11
2.5.2 DEFECTOLOGÍA EN LA SOLDADURA.....	12
2.6 ULTRASONIDO.....	17
2.7 TÉCNICA DEL ULTRASONIDO CONVENCIONAL.....	17
2.8 FÍSICA DE LOS ULTRASONIDOS.....	20
2.8.1 ONDAS ULTRASÓNICAS	20
2.8.2 NATURALEZA Y GENERACIÓN DE LAS ONDAS ULTRASÓNICAS.....	21
2.8.3 PARÁMETROS DE LA ONDA ULTRASÓNICA	22

2.8.4 COMPORTAMIENTO DE LAS ONDAS ULTRASÓNICAS EN SUPERFICIES LÍMITES	28
2.8.5 REFRACCIÓN Y LEY DE SNELL	31
2.8.6 ÁNGULOS CRÍTICOS	32
2.9 ULTRASONIDO POR ARREGLO DE FASES	34
2.9.1 TRANSDUCTORES.....	35
2.10 CAMPOS DEL HAZ ULTRASÓNICO	42
2.10.1 CAMPO CERCANO DEL HAZ ULTRASÓNICO.....	43
2.10.2 CAMPO LEJANO DEL HAZ ULTRASÓNICO	44
2.10.3 ZONA MUERTA DEL HAZ ULTRASÓNICO	45
2.11 DIVERGENCIA DEL HAZ ULTRASÓNICO	46
2.12 FORMAS DE PRESENTACIÓN DE PANTALLAS EN EQUIPOS DE ULTRASONIDO.....	46
2.13 VENTAJAS DEL ULTRASONIDO CON ARREGLO DE FASES EN RELACIÓN CON EL ULTRASONIDO CONVENCIONAL	51
2.14 MORFOLOGÍA DE LA DISCONTINUIDAD	53
CAPÍTULO 3.	56
NORMAS REFERENCIALES PARA ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS MEDIANTE MÉTODO ULTRASÓNICO PARA INSPECCIÓN DE UNIONES SOLDADAS A TOPE	56
3.1 NORMAS Y CÓDIGOS APLICABLES EN EL CONTROL DE CALIDAD DE UNIONES SOLDADAS A TOPE DE TUBERÍA.....	56
3.2 NORMA API 1104.....	57
3.2.1 ALCANCE.....	57
3.2.2 RECOMENDACIONES DE LA NORMA EN LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE INSPECCIÓN EN UNIONES SOLDADAS A TOPE.....	57
3.3 CÓDIGO ASME B31.3.....	68
3.3.1 ALCANCE.....	70
3.3.2 RESPONSABILIDAD	70

3.3.3 OBJETIVOS DEL CÓDIGO EN BASE A LA INSPECCIÓN....	70
3.3.4 DETERMINACIÓN DE LOS REQUISITOS DEL CÓDIGO	70
3.3.5 EXCLUSIONES	70
3.3.6 CAPITULO VI: INSPECCIÓN, EXÁMEN Y PRUEBA	71
3.4 PRÁCTICA No. SNT-TC-1A PARA CALIFICACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE PERSONAL EN ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	77
3.4.1 ALCANCE.....	77
3.4.2 NIVELES DE CALIFICACIÓN.....	77
3.4.3 PRÁCTICA ESCRITA	78
3.4.4 REQUISITOS DE EDUCACIÓN, ENTRENAMIENTO Y EXPERIENCIA PARA LA CALIFICACIÓN INICIAL.....	79
3.4.5 CERTIFICACIÓN	81
CAPÍTULO 4.	83
INFORMACIÓN, FORMATO, EQUIPO Y PROBETAS PARA LA ELABORACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN CON ULTRASONIDO EN UNIONES SOLDADAS A TOPE.....	83
4.1 INFORMACIÓN DETALLADA PARA LA REALIZACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO GENERAL	83
4.2 FORMATO ESPECÍFICO PARA LA ELABORACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO MEDIANTE ULTRASONIDO POR ARREGLO DE FASES EN TUBERÍA	85
4.2.1 MEMBRETES	85
4.2.2 CARÁTULA.....	87
4.2.3 TABLA DE CONTENIDO DEL PROCEDIMIENTO.....	87
4.3 EQUIPAMIENTO PARA END POR ULTRASONIDO DEL LABORATORIO DE CIENCIA DE LOS MATERIALES	90
4.3.1 EQUIPO Y ACCESORIOS	90
4.3.2 DIFERENTES USOS DE LOS ACCESORIOS EN INSPECCIÓN ULTRASÓNICA	99

4.3.3 DISEÑO DE LA PROBETA DE TUBERÍA.....	101
4.3.4 PROBETAS CERTIFICADAS CON DEFECTOS CONOCIDOS.....	106
4.4 CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE ULTRASONIDO.....	108
CAPÍTULO 5.	110
MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN ULTRASÓNICA PARA DETECCIÓN DE FALLAS EN SOLDADURA DE TUBERÍAS .	110
5.1 OBJETIVO.....	112
5.2 ALCANCE	112
5.3 PERSONAL.....	113
5.4 NORMAS Y CÓDIGOS DE REFERENCIA.....	114
5.5 MATERIALES Y CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES	115
5.6 GEOMETRÍA DE LA JUNTA.....	115
5.7 EQUIPO DE ULTRASONIDO	115
5.8 TRANSDUCTOR Y ZAPATA	115
5.9 ELEMENTO ACOPLANTE.....	116
5.10 TÉCNICA A SER USADA.....	116
5.11 MÉTODO DE CALIBRACIÓN	117
5.12 AJUSTE DE SENSIBILIDAD.....	131
5.13 CONDICIÓN SUPERFICIAL	132
5.14 TÉCNICA DE BARRIDO	132
5.15 DEMOSTRACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO	133
5.16 CRITERIO DE REGISTRO E IDENTIFICACIÓN	133
5.17 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE ACUERDO A LA NORMA API 1104.....	133
5.18 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE ACUERDO AL CÓDIGO B31.3.....	135
5.19 SISTEMA DE RASTREABILIDAD.....	136
5.20 REPORTES.....	136

CAPÍTULO 6.	137
ANÁLISIS EN DEFECTOLOGÍA Y APLICACIÓN PRÁCTICA DEL PROCEDIMIENTO PARA ULTRASONIDO DE ACUERDO CON LA NORMA API 1104 Y CÓDIGO B31.3 PARA UNIONES SOLDADAS A TOPE EN TUBERÍA	137
6.1 ANÁLISIS DE DEFECTOS EN UNIONES SOLDADAS A TOPE DE PROBETAS CON DEFECTOS CONOCIDOS	138
6.2 APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO EN PROBETA DE TUBERÍA PARA PROCESO Y TRANSPORTE DE PETRÓLEO UTILIZANDO EL MÉTODO DE ULTRASONIDO.....	146
6.3 TABULACIÓN DE DATOS OBTENIDOS DEL PROCEDIMIENTO ESPE-UT-01 REALIZADO PARA PROBETA DE TUBERÍA	154
6.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	159
6.5 VALIDACIÓN DE LAS INTERPRETACIONES	161
6.6 ELABORACIÓN DE GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO ..	162
CAPÍTULO 7.	166
ANÁLISIS ECONÓMICO	166
7.1 COSTOS DIRECTOS	166
7.2 COSTOS INDIRECTOS.....	167
7.3 RESUMEN DE COSTOS	170
CAPÍTULO 8.	171
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	171
8.1 CONCLUSIONES	171
8.2 RECOMENDACIONES.....	173

BIBLIOGRAFÍA.....	174
ANEXOS.....	179
ANEXO A: GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO	
ANEXO B: REPORTE DE INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA	
ANEXO C: TOMAS RADIOGRÁFICAS	
ANEXO D: CERTICADO DE CONFORMIDAD DE LAS PROBETAS CERTIFICADAS	
ANEXO E: DETALLE DE LOCALIZACIÓN DE DEFECTOS DEL KIT	

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 ESQUEMA DEL BISELADO DE LA TUBERÍA	12
FIGURA 2 QUEMONES	14
FIGURA 3 FALTA DE PENETRACIÓN EN LA RAÍZ	14
FIGURA 4 FALTA DE FUSIÓN DE UN BISEL EN LA RAÍZ	15
FIGURA 5 INCLUSIONES AISLADAS	16
FIGURA 6 POROSIDAD AGRUPADA.....	16
FIGURA 7 INSPECCIÓN EN UT DE CORDÓN DE SOLDADURA SIN DEFECTOS	18
FIGURA 8 INSPECCIÓN EN UT DE CORDÓN DE SOLDADURA CON DEFECTOS	19
FIGURA 9 ONDA LONGITUDINAL	20
FIGURA 10 ONDA TRANSVERSAL	21
FIGURA 11 INCIDENCIA NORMAL	29
FIGURA 12 INCIDENCIA ANGULAR	30
FIGURA 13 LEY DE SNELL	32
FIGURA 14 PRIMER ÁNGULO CRÍTICO	33
FIGURA 15 SEGUNDO ÁNGULO CRÍTICO	34
FIGURA 16 COMPONENTES DE UN TRANSDUCTOR DE ONDA LONGITUDINAL	36
FIGURA 17 TRANSDUCTOR DE INCIDENCIA NORMAL	37
FIGURA 18 ELEMENTOS DE UN TRANSDUCTOR ANGULAR.....	38
FIGURA 19 TRANSDUCTOR DE CRISTAL ÚNICO	41
FIGURA 20 TRANSDUCTOR DE CRISTAL DOBLE.....	42
FIGURA 21 HAZ ULTRASÓNICO EN UN TRANSDUCTOR.....	43
FIGURA 22 CAMPO CERCANO DE UN HAZ ULTRASÓNICO	43
FIGURA 23 FORMA DE ONDA EN EL CAMPO LEJANO DEL HAZ ULTRASÓNICO	45
FIGURA 24 ZONA MUERTA DEL HAZ ULTRASÓNICO.....	45
FIGURA 25 PRESENTACIÓN A-SCAN	48
FIGURA 26 UBICACIÓN DE DEFECTOS.....	49
FIGURA 27 PRESENTACIÓN B-SCAN	49
FIGURA 28 PRESENTACIÓN C-SCAN	50
FIGURA 29 PRESENTACIÓN S-SCAN	51
FIGURA 30 DESPLAZAMIENTO DEL TRANSDUCTOR EN UT CONVENCIONAL.....	51

FIGURA 31 INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO PA, CON HAZ RECTO	52
FIGURA 32 DIFERENCIAS ENTRE ULTRASONIDO CONVENCIONAL Y ARREGLO DE FASES	53
FIGURA 33 MORFOLOGÍA DE UNA INDICACIÓN REGULAR	54
FIGURA 34 MORFOLOGÍA DE UNA INDICACIÓN IRREGULAR	54
FIGURA 35 MORFOLOGÍA DE DOS O MÁS INDICACIONES.....	55
FIGURA 36 INSPECCIÓN EN ÁNGULOS DISTINTOS.....	55
FIGURA 37 BLOQUE DE REFERENCIA PARA UT MANUAL	66
FIGURA 38 ESTABLECIMIENTO DE DISTANCIA, ÁNGULO DE REFRACCIÓN, Y VELOCIDAD	67
FIGURA 39 FORMATO BÁSICO DE UN PROCEDIMIENTO POR ULTRASONIDO	84
FIGURA 40 MEMBRETE DE ENCABEZADO DEL PROCEDIMIENTO.....	85
FIGURA 41 MEMBRETE DE FIRMAS	86
FIGURA 42 EQUIPO OLYMPUS EPOCH 1000I	91
FIGURA 43 COMPARTIMIENTOS DEL EQUIPO EPOCH 1000I	91
FIGURA 44 ELEMENTOS DEL EQUIPO EPOCH 1000I.....	92
FIGURA 45 PANTALLA DE EQUIPO OLYMPUS EPOCH 1000I.....	93
FIGURA 46 ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO EN MODO AREGLO DE FASES	94
FIGURA 47 BLOQUE DE CALIBRACIÓN II W TIPO 2.....	95
FIGURA 48 BLOQUE NAVSHIPS TEST BLOCK ACERO 1018.....	95
FIGURA 49 BLOQUE ASME N-625.....	95
FIGURA 50 BLOQUE 30FBH ACERO 1018	96
FIGURA 51 TRANSDUCTOR DE CONTACTO	96
FIGURA 52 TRANSDUCTOR LEMO 0.....	97
FIGURA 53 TRANSDUCTOR 5L16-A10P	97
FIGURA 54 ZAPATA ANGULAR DE 60°.....	98
FIGURA 55 ZAPATA ANGULAR DE 45°.....	98
FIGURA 56 ZAPATA ANGULAR DE 70°.....	98
FIGURA 57 ZAPATA RECTA SA10P-OL	99
FIGURA 58 ZAPATA PARA ARREGLO DE FASES	99
FIGURA 59 BLOQUE 2214E	101

FIGURA 60	PROBETA DE TUBERÍA.....	102
FIGURA 61	QUEMÓN EN LA SOLDADURA	102
FIGURA 62	FALTA DE FUSIÓN EN EL BISEL DE LA SOLDADURA.....	103
FIGURA 63	ESCORIA ALARGADA EN LA SOLDADURA	103
FIGURA 64	LOCALIZACIÓN DE DEFECTOS EN TUBERÍA	104
FIGURA 65	WPS DE LA JUNTA SOLDADA.....	105
FIGURA 66	PROBETAS CERTIFICADAS CON DEFECTOS CONOCIDOS	107
FIGURA 67	PROBETAS DE ENTRENAMIENTO CERTIFICADAS.....	107
FIGURA 68	SECCIONES MACRO DE LOS DEFECTOS DE SOLDADURA	108
FIGURA 69	DIMENSIONAMIENTO DEL BLOQUE DE CALIBRACIÓN II W TIPO 2	117
FIGURA 70	MENÚ DEL BEAM.....	118
FIGURA 71	AJUSTE DE GANANCIA	120
FIGURA 72	AJUSTE DEL ÁNGULO	120
FIGURA 73	AJUSTE DEL RANGO DE INSPECCIÓN	121
FIGURA 74	LOCALIZACIÓN DE LA COMPUERTA.....	122
FIGURA 75	TECLAS DE PARÁMETROS Y FUNCIONES DEL EQUIPO EPOCH 1000I...	123
FIGURA 76	CALIBRACIÓN POR VELOCIDAD	123
FIGURA 77	PRIMER VALOR DE REFERENCIA DEL PATRÓN DE CALIBRACIÓN	124
FIGURA 78	SEGUNDO VALOR DE REFERENCIA DEL PATRÓN DE CALIBRACIÓN	124
FIGURA 79	CALIBRACIÓN POR RETARDO DE ZAPATA	125
FIGURA 80	LOCALIZACIÓN DEL CAMINO SÓNICO	126
FIGURA 81	PRIMER VALOR DE REFERENCIA EN RETARDO DE ZAPATA.....	126
FIGURA 82	CALIBRACIÓN DE LÍNEA DEL RETARDO DE ZAPATA	127
FIGURA 83	FORMA DE ENCONTRAR EL REFLECTOR EN UN BLOQUE IIW TIPO 2....	128
FIGURA 84	AJUSTE DEL ECO DE ONDA.....	129
FIGURA 85	CALIBRACIÓN POR GANANCIA.....	129
FIGURA 86	CALIBRACIÓN DE LA LÍNEA DE GANANCIA	130
FIGURA 87	AJUSTE DE SENSIBILIDAD	131
FIGURA 88	REPORTE DE INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO	155
FIGURA 89	REPORTE DEL EQUIPO EPOCH DEL QUEMÓN EN LA SOLDADURA	156

FIGURA 90 REPORTE DEL EQUIPO EPOCH DE ESCORIA ALARGADA EN LA SOLDADURA.....	157
FIGURA 91 REPORTE DEL EQUIPO EPOCH DE FALTA DE FUSIÓN EN LA SOLDADURA.....	158
FIGURA 92 INFORME DE RESULTADOS APLICANDO LA NORMA API 1104	159
FIGURA 93 INFORME DE RESULTADOS APLICANDO EL CÓDIGO ASME B31.3.....	160

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFERENTES ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	9
TABLA 2 DENSIDADES, VELOCIDADES E IMPEDANCIAS ACÚSTICAS EN MATERIALES METÁLICOS	25
TABLA 3 DENSIDADES, VELOCIDADES E IMPEDANCIAS ACÚSTICAS EN MATERIALES NO METÁLICOS	26
TABLA 4 DENSIDADES, VELOCIDADES E IMPEDANCIAS ACÚSTICAS EN LÍQUIDOS.....	27
TABLA 5 NIVELES RECOMENDADOS DE ENTRENAMIENTO INICIAL Y EXPERIENCIA....	80
TABLA 6 IMPERFECCIONES VS TIPOS DE MÉTODOS EN END	88
TABLA 7 RANGOS PERMITIDOS PARA INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO	112
TABLA 8 PRESENTACIÓN S-SCAN DE PENETRACIÓN INCOMPLETA EN SOLDADURA.....	141
TABLA 9 PRESENTACIÓN A-SCAN DE PENETRACIÓN INCOMPLETA EN SOLDADURA.....	142
TABLA 10 VALIDACIÓN DE PENETRACIÓN INCOMPLETA	142
TABLA 11 PRESENTACIÓN S-SCAN DE FALTA DE FUSIÓN EN SOLDADURA	143
TABLA 12 PRESENTACIÓN A-SCAN DE FALTA DE FUSIÓN EN SOLDADURA	143
TABLA 13 VALIDACIÓN DE LA FALTA DE FUSIÓN.....	144
TABLA 14 PRESENTACIÓN S-SCAN CON POROSIDAD EN SOLDADURA.....	144
TABLA 15 PRESENTACIÓN A-SCAN CON POROSIDAD EN SOLDADURA.....	145
TABLA 16 VALIDACIÓN DE POROSIDAD.....	145
TABLA 17 RADIOGRAFÍA DEL QUEMÓN EN LA SOLDADURA	161
TABLA 18 RADIOGRAFÍA DE LA ESCORIA ALARGADA EN LA SOLDADURA	162
TABLA 19 RADIOGRAFÍA DE LA FALTA DE FUSIÓN EN LA SOLDADURA	162
TABLA 20 DATOS DE PROFUNDIDAD AL REFLECTOR	164
TABLA 21 DATOS DE DISTANCIA SUPERFICIAL.....	164
TABLA 22 DATOS DE CAMINO SÓNICO.....	164
TABLA 23 DATOS DE ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	165
TABLA 24 MANO DE OBRA DIRECTA	166
TABLA 25 MATERIALES Y EQUIPOS DIRECTOS.....	166

TABLA 26 MANO DE OBRA DIRECTA	167
TABLA 27 MATERIALES INDIRECTOS	167
TABLA 28 GASTOS GENERALES	168
TABLA 29 TABLA DE PORCENTAJES Y AÑOS DE AMORTIZACIÓN.....	169
TABLA 30 TABLA PARA CÁLCULO DE LA DEPRECIACIÓN DEL EQUIPO	
EPOCH 1000I	169
TABLA 31 RESUMEN DE COSTOS.....	170

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Inicialmente los equipos de Ultrasonido fueron desarrollados para ser usados como herramientas de laboratorio y no como equipos de inspección. En la actualidad, el equipo de Ultrasonido es un instrumento multifacético en diferentes áreas de aplicación.

Debido a que la inspección ultrasónica se basa en un fenómeno mecánico se puede adaptar para que pueda determinarse la integridad estructural de los materiales para uso en la ingeniería. Se utiliza en el control de calidad e inspección de materiales, en diferentes ramas de la industria para:

1. Detectar y caracterizar discontinuidades.
2. Medir espesores, extensión y grado de corrosión.
3. Determinar características físicas (estructura metalúrgica, tamaño de grano y constantes elásticas).
4. Definir características de enlaces (uniones).
5. Evaluar la influencia de variables de proceso en el material.

Tomando en cuenta que la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” tiene a disposición un equipo de Ultrasonido para análisis de defectos, con la tecnología de Arreglo de Fases se da la factibilidad de realizar proyectos de grado.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente el equipo de Ultrasonido marca OLYMPUS, modelo EPOCH 1000i del laboratorio de Ciencia de los Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” se encuentra sin uso por parte de los estudiantes de la Institución, debido a que no tiene todos los materiales de apoyo, tales como probetas de entrenamiento necesarias para realizar la explotación del equipo según normativas especificadas.

Por esto, nace la idea de poner en marcha el proyecto de “ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA LA INSPECCIÓN EN UNIONES A TOPE PARA TUBERÍA DE ACUERDO A LA NORMA API 1104 Y CÓDIGO ASME B31.3, CON EL EQUIPO DE ULTRASONIDO OLYMPUS EPOCH 1000i”, con el fin de diseñar un procedimiento general que sirva para el control de calidad en tuberías de estación y transporte de petróleo, el cual va a formar parte de un manual que ayude a inspeccionar uniones soldadas a tope en tuberías según la norma API 1104 y código ASME B31.3 y con esto involucrar a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica en el área de Ensayos No Destructivos mediante las pruebas de Ultrasonido por Arreglo de Fases.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 GENERAL

Realizar un manual completo de utilización del equipo, diseñando los procedimientos necesarios para el análisis de fallas en uniones soldadas a tope de tuberías mediante probetas y materiales de apoyo certificados en un equipo de Ultrasonido Olympus EPOCH 1000i, siguiendo la Norma API 1104 y Código ASME B31.3, y de esa manera complementar al equipo para su utilización en Ensayos No Destructivos por el método de Ultrasonido por Arreglo De Fases, dentro de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”.

1.3.2 ESPECÍFICOS

- Implementar en el laboratorio probetas certificadas y materiales para complemento del equipo de Ultrasonido Olympus Epoch 1000i.
- Elaborar procedimientos de inspección de uniones soldadas a tope en tubería, siguiendo la Norma API 1104 y Código ASME B31.3 para el método de Ultrasonido por Arreglo de Fases.
- Realizar procesos de calibración del equipo y estandarizarlos para el control en defectología de soldadura rigiéndose a la Norma API 1104 Y Código ASME B31.3.
- Elaborar una guía de práctica de laboratorio para inspección de uniones soldadas a tope, con el equipo Olympus Epoch 1000i.
- Generar un manual para guía en el diseño de procedimientos para END, mediante Ultrasonido utilizando el modo de Arreglo de Fases.

1.4 ALCANCE

Con la ejecución de este proyecto se busca aplicar los conceptos de Ingeniería en el área de Ciencia de los Materiales, Metrología y Soldadura, enfocados en el estudio de los Ensayos No Destructivos con el método de Ultrasonido por Arreglo De Fases, para la detección y análisis de fallas en soldadura de uniones a tope en tuberías de proceso y transporte para la industria petrolera.

Se elaborará procedimientos adecuados para la utilización del equipo de Ultrasonido Olympus EPOCH 1000i, haciendo referencia a los criterios de aceptación y rechazo de acuerdo a la Norma API 1104 y Código ASME B31.3, complementándolos con material técnico certificado para la validación del método de Ultrasonido, para una correcta inspección e interpretación de defectos en uniones soldadas a tope en tuberías.

1.5 JUSTIFICACIÓN

En los últimos años los Ensayos No Destructivos han llegado a ser una herramienta indispensable en la industria, para determinar la calidad de diferentes productos, siguiendo procesos que no tienen un impacto ambiental que perjudique el entorno.

En el país, los Ensayos No Destructivos mediante Ultrasonido por Arreglo De Fases es una técnica relativamente nueva, que sirve para el control de calidad, análisis de defectos e integridad mecánica en la construcción de líneas de proceso de una forma precisa, eficaz y amigable con el medio ambiente, por lo cual es una rama de la ingeniería que se debería tomar en cuenta en el pensum académico dentro de la institución, debido a la factibilidad de optar con esta tecnología muy importante para el conocimiento del estudiante de Ingeniería Mecánica.

Debido a que en la institución posee un equipo de Ultrasonido por “Arreglo de Fases”, surge la necesidad de aportar con la documentación y material necesarios para el estudio de esta tecnología, la cual es de vital importancia en los conocimientos generales de un Ingeniero Mecánico.

CAPÍTULO 2.

MARCO TEÓRICO

2.1 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Los Ensayos No Destructivos se pueden definir como ensayos basados en fenómenos físicos, cuyo principal objetivo es el de obtener información sobre los diferentes defectos o el estado en el que se encuentra el material, sin provocar daños químicos, mecánicos o dimensionales.

Estos Ensayos No Destructivos cubren las siguientes áreas de aplicación:

1. Defectología.- Identificación de heterogeneidades, discontinuidades e impurezas.
2. Caracterización de los materiales.- Propiedades físicas, químicas, estructurales y mecánicas.
3. Metrología.- Control de espesores.

2.2 INCIDENCIA DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN EL CONTROL DE CALIDAD

La calidad es un concepto tradicional cuyo significado se ha ampliado y cuya importancia se pone de manifiesto en el sistema de producción moderno. La definición común relacionada con el producto es “conformidad con las especificaciones” (Sipper, 1998).

Dentro de los aspectos fundamentales en los cuales se ha basado el desarrollo tecnológico que la ingeniería moderna ha plasmado en la actualidad, se tiene la utilización de materiales cuyas características están en concordancia con los requerimientos cada vez más exigentes y a la posibilidad

de unir estos materiales por medio de la soldadura, logrando de esta forma que la geometría de la pieza mantenga su diseño original y con esto lograr que el mismo soporte los esfuerzos existentes de una manera eficaz.

En la construcción de materiales y procesos de soldadura en forma industrial cabe destacar que es imposible obtener estos sin que contengan un cierto grado de defectos por lo cual es necesario establecer una correlación entre el defecto máximo admisible y los límites de utilización. Por esta razón todos los códigos de diseño toman en cuenta la presencia de defectos en los materiales.

Debido a la existencia de defectos en los materiales, obliga al análisis de los mismos (determinando su forma, tamaño y tipo), y de esta manera determinar una clasificación de los que puedan ser tolerables para el trabajo que va a ser utilizado el material y con esto establecer rangos de admisibilidad en los cuales se aceptarán o rechazarán para el trabajo previsto.

Tomando en cuenta estos aspectos, surge la necesidad del control de los materiales para determinar su calidad, siendo un punto fundamental el de determinar la integridad física del material.

La discontinuidad es la falta de cohesión en la estructura interna del material, por lo que incide directamente en la reducción de sus propiedades mecánicas. Para la detección de estas discontinuidades los Ensayos No Destructivos han logrado un avance importante en el aumento de la fiabilidad de los componentes soldados y por ende también en la prevención de los fallos de los mismos.

Aplicando en forma coherente los Ensayos No Destructivos y ayudados de unos límites de aceptación adecuados para el servicio que se vaya a exigir al elemento soldado se obtienen parámetros más certeros que los que se obtendrían mediante pruebas mecánicas, con la ventaja de no afectar en la vida útil y propiedades del conjunto.

Los Ensayos No Destructivos son pruebas que se basan en la aplicación de fenómenos físicos, en los cuales la efectividad es directamente

proporcional a la adecuada interpretación del inspector y a la correcta aplicación del procedimiento.

Por lo tanto, utilizando los procedimientos correctos se obtengan resultados evaluados correctamente y de esta manera asegurar la repetibilidad de los resultados logrando la posibilidad de una cuantificación uniforme de las indicaciones relevantes.

2.3 CONTROL DE CALIDAD EN UNIONES SOLDADAS

La inspección de cualquier construcción soldada, consta en el análisis de:

1. El material
2. El dimensionado
3. La unión soldada

El primero trata sobre la verificación de las diferentes características mecánicas, la composición del material base y las modificaciones introducidas por el forjado del material.

El segundo especifica las tolerancias permisibles del elemento.

El tercero trata sobre la inspección de las diferentes uniones soldadas al presentar defectos, tanto internos como externos, deberá incluir un examen visual, ya sea a simple vista o con la ayuda de diferentes técnicas, como la de los líquidos penetrantes o partículas magnéticas, que facilitará la visualización de determinados defectos superficiales y, por medio de Ultrasonido o Radiografiado poder detectar los defectos internos.

La finalidad de una inspección es, en primer lugar, la de revelar defectos cuya severidad podría afectar la vida útil para la cual fue diseñado el elemento soldado, y también la de realizar la evaluación al soldador del elemento.

Basado en el conocimiento adquirido, el inspector adjuntará en el informe realizado una interpretación de los resultados obtenidos en la investigación, junto con una especificación de los defectos hallados. Cuando se haya establecido que el trabajo va a cumplir con alguna norma de construcción, el inspector podrá determinar si los defectos son admisibles.

Las normas no catalogan los defectos según la severidad de los mismos, sino que establecen niveles de calidad de construcción.

Tomando en cuenta sobre la finalidad de la inspección, es evidente que para que ésta se lleve a cabo mediante una forma lógica y consecuente con los resultados que se deseen obtener, debe realizarse siguiendo una serie de etapas que determinarán el tipo de inspección a efectuarse. Estas etapas, en el caso de aplicarse los métodos de Ensayos No Destructivos pueden ser las siguientes:

- Selección del método y técnica operatoria más adecuada al caso que se trate.
- Obtención de una información o indicación propia.
- Interpretación de la información o indicación obtenida.
- Evaluación de los resultados del ensayo.

Para la selección del método de ensayo y técnica operatoria más indicada será determinante tener en cuenta la naturaleza del material y su estado estructural, tamaño y forma del producto, así como contar con la información suficiente sobre el procedimiento de soldadura empleado, lo que va a permitir tener conocimiento del tipo de defecto que se pretende determinar. Teniendo en cuenta que todos los métodos presentan limitaciones, velocidad de ejecución que el ensayo permite y cierta ubicación del defecto que pueda encontrarse, determinarán el costo de la inspección que se va a realizar. También cada uno de los métodos de Ensayos No Destructivos tiene su manera propia de facilitar la información de los defectos que con cada uno de ellos se puede detectar, esto detallado de mejor manera en la tabla 1.

Tabla 1

Características de los diferentes Ensayos No Destructivos

TIPO DE ENSAYO NO DESTRUCTIVO	REPRESENTACIÓN DEL DEFECTO	LOCALIZACIÓN DEL DEFECTO	TIEMPO ESTIMADO DEL ENSAYO EN UNA JUNTA SOLDADA	LIMITACIONES
Radiografía	Película radiográfica	Superficial, Sub-superficial o interno	120 minutos	Requiere grandes medidas de seguridad
Ultrasonido	Oscilograma en la pantalla del equipo	Superficial, Sub-superficial o interno	30 minutos	Requiere un medio acoplante
Partículas Magnéticas	Modificaciones en las líneas de campo magnético	Superficial	60 minutos	Materiales ferromagnéticos
Tintas Penetrantes	Ampliación visual de la heterogeneidad por fenómeno capilar	Superficial	50 minutos	No útil en materiales porosos

Sin embargo, a pesar de aquellas diferencias de la tabla 1, todos los Ensayos No Destructivos tienen una particularidad común y es la de seguir procedimientos, que podrían calificarse como indirectos, ya que proporcionan la información buscada a través de cualquier propiedad relacionada con ella.

Conseguida la información es necesario hacer una interpretación, es decir establecer la relación entre la indicación observada con la naturaleza, forma y tamaño de la heterogeneidad que la ha provocado. La interpretación es una actividad de mayor trascendencia y la explicación de la presencia de un defecto, y la información o indicación que este defecto pueda proporcionar sólo se deduce mediante una larga experiencia y un perfecto conocimiento de las técnicas realizadas.

Por último, obtenida la indicación y efectuado su análisis, tiene que ser evaluada. Una evaluación consiste en hallar la relación entre el defecto encontrado y cómo este puede afectar a las características del material.

2.4 DISCONTINUIDAD, DEFECTO E INDICACIÓN EN LA SOLDADURA

Una discontinuidad se puede producir por la falta de cohesión, como ejemplo las grietas, inclusiones, etc. Estas discontinuidades pueden presentarse como intencionales o no intencionales. Estas se clasifican por:

- Su forma
- Su ubicación
- Otras clasificaciones

Por su forma se encuentran las volumétricas planas, que se caracterizan por ser delgadas en una dimensión y grandes en las otras dos dimensiones.

Por su ubicación se clasifican en internas y superficiales.

Otra clasificación de discontinuidades, se encuentran las relevantes, que son aquellas que por su longitud, ubicación, forma y diámetro, deben ser interpretadas, evaluadas y reportadas; las no relevantes son aquellas que por su característica se interpretan pero no se evalúan y que deberían ser registradas.

Un defecto se define como una o más discontinuidades cuyo tamaño, forma, propiedades y ubicación no cumplen con criterios de aceptación de acuerdo a un Código o Norma y por ende se rechazan, debido a que estas provocarían que el material falle cuando se encuentre en servicio.

La indicación se manifiesta como una evidencia que resulta al aplicar Ensayos No Destructivos, estas se clasifican en tres tipos:

- Indicaciones falsas.- Son aquellas que se producen por diferentes causas que no sean una discontinuidad.
- Indicaciones verdaderas.- Se producen por tipos de discontinuidades que obligatoriamente requieren evaluación para prevenir fallas futuras en la vida útil del material.
- Indicaciones no relevantes.- Al igual que una indicación relevante, estas se producen por discontinuidades, pero difieren en que estas no son rechazadas.

2.5 SOLDADURA DE UNIONES A TOPE EN TUBERÍA

Para la soldadura por arco se utiliza un electrodo que tiene forma de alambre o de barra. El arco se establece entre el electrodo y la pieza que se va a soldar, aportando así el calor necesario para la fusión y el material necesario para formar el cordón de soldadura. La operación de soldeo se puede realizar manual o automáticamente y se utiliza para reforzar una pieza o unir dos piezas entre sí (Franz, 1982, pág. 215).

La operación de soldeo se puede hacer con corriente continua o con corriente alterna; la naturaleza de la corriente depende de las piezas que se van a soldar y del tipo de electrodo utilizado. Cuando se utiliza corriente continua, el polo negativo se conecta al electrodo y el polo positivo se conecta a la pieza que se va a soldar. Es el cátodo el que comienza a fundirse primero porque alcanza una temperatura mayor (Franz, 1982).

Antes de un trabajo de soldadura, los biselados de la tubería deben estar limpios, de manera que las superficies se encuentren lisas, uniformes, libres de laminaciones, corrosión, escoria, grasa, pintura u otros materiales que dañen la calidad de la soldadura.

2.5.1 GENERALIDADES DE LA SOLDADURA SMAW

Es un proceso de soldadura en el que se produce coalescencia de metales por medio del calor de un arco eléctrico que se mantiene entre la punta de un electrodo cubierto y la superficie del metal base en la unión que se está soldando.

La varilla del núcleo conduce la corriente eléctrica del arco y suministra metal de aporte a la unión. Las funciones principales de la cobertura del electrodo son estabilizar el arco y proteger el metal derretido de la atmósfera por medio de los gases que se crean cuando el recubrimiento se descompone por el calor del arco (<https://sites.google.com>, 2014).

En la tubería las uniones circunferenciales por lo general son realizadas por juntas a tope bisel en V, estas son alineadas con respecto a las paredes

exteriores, generalmente formando un ángulo de 30° con respecto al eje vertical de la suelda, como se muestra en la figura 1:

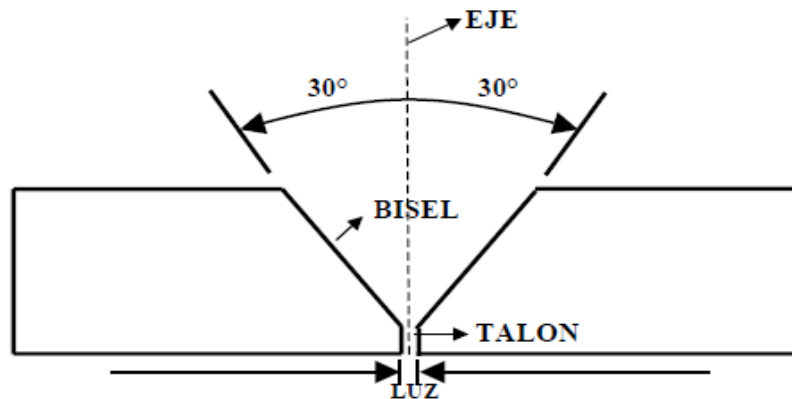


Figura 1 Esquema del biselado de la tubería

Fuente: (<http://repositorio.ute.edu.e>, 2012)

2.5.2 DEFECTOLOGÍA EN LA SOLDADURA

Cualquiera que sea el proceso de soldeo, se pueden producir defectos o heterogeneidades, cuya presencia en la unión soldada obliga a una inspección de la misma.

Teniendo en cuenta la existencia de defectos en la soldadura, es importante el estudio de estos, por lo cual se enumerarán los más importantes:

DEFECTOS SUPERFICIALES:

1. Exceso de penetración
2. Falta de penetración
3. Concavidad externa
4. Concavidad interna
5. Socavaduras
6. Quemones
7. Salpicaduras
8. Falta de continuidad del cordón

DEFECTOS INTERNOS:

1. Fisuras
 - Longitudinales
 - Transversales
2. Falta de penetración
3. Falta de fusión
 - En la raíz
 - Entre pasadas
4. Inclusiones
5. Porosidad
 - Esférica
 - Aislada
 - Agrupada
 - Alineada
 - Alargada
6. Escoria
7. Desalineamiento

Para ejemplificar como se presentan estos defectos en la soldadura, los cuales se observan en las figuras 2, 3, 4, 5 y 6, que contienen en la parte superior la representación del defecto en un corte transversal y en la parte inferior la película radiográfica del elemento inspeccionado, se detallarán a continuación los más comunes:

- a) Quemones.-** Se define como el sector de la pasada de raíz en donde la penetración excesiva ha provocado que el aporte de la soldadura penetre dentro de la misma soplándose, este defecto se observa en la figura 2:

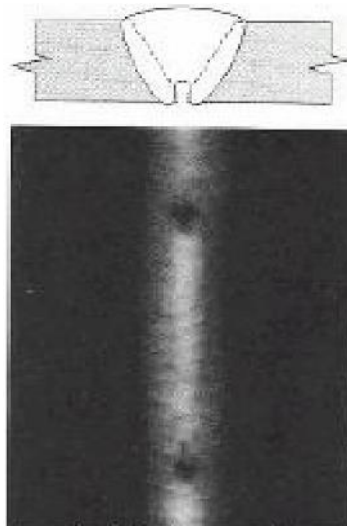


Figura 2 Quemones

Fuente: (<http://es.scribd.com>, 2012)

Causas para que se produzca este defecto es una excesiva corriente, manejo incorrecto del electrodo y velocidad lenta del electrodo.

b) Falta de penetración en la raíz.- En ocasiones la raíz de la soldadura no queda adecuadamente rellena con el metal de aporte la cual aparecerá como una línea oscura marcada tal y como se observa en la figura 3. Este defecto se produce generalmente por una corriente de soldadura insuficiente o por una excesiva velocidad de pasada.

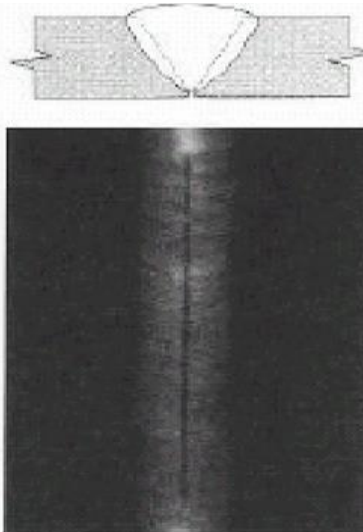


Figura 3 Falta de penetración en la raíz

Fuente: (<http://es.scribd.com>, 2012)

- c) **Falta de fusión de un bisel en la raíz.-** Se crean cuando falta la abertura de la raíz y la temperatura no es lo suficientemente elevada, esto se debe a una incorrecta alineación de los elementos a soldar, causado generalmente por las diferencias de espesores o diámetros, o también por una incorrecta penetración de parte del soldador al realizar la primera pasada, este defecto se observa en la figura 4:

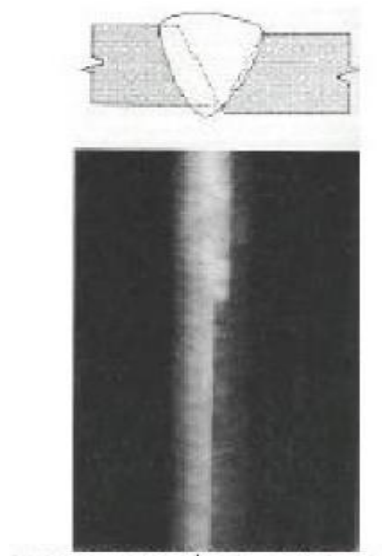


Figura 4 Falta de fusión de un bisel en la raíz

Fuente: (<http://es.scribd.com>, 2012)

- d) **Inclusiones aisladas.-** Por combinaciones químicas de varios elementos que intervienen en la soldadura se suelen no fundir partículas de tungsteno que quedan aisladas en el cordón de soldadura generalmente en aceros inoxidable. Para poder identificar este defecto se observa en la figura 5 puntos de forma irregular en el cordón de la soldadura.

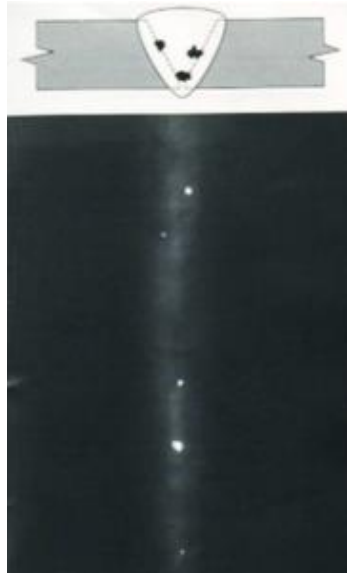


Figura 5 Inclusiones aisladas

Fuente: (<http://es.slideshare.net>, 2012)

- e) Porosidad agrupada.-** Denominada también nido de poros, por lo general este tipo de porosidad es creada por un agente oxidante o una excesiva humedad del revestimiento, el tamaño de estos es aproximadamente igual en toda la zona, este defecto se observa en la figura 6:

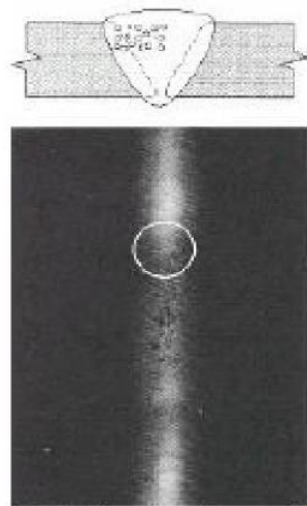


Figura 6 Porosidad agrupada

Fuente: (<http://es.scribd.com>, 2012)

2.6 ULTRASONIDO

Es una técnica de Ensayos No Destructivos empleada en la observación de defectos de soldadura.

Está fundamentada en las atenuaciones del flujo de ondas acústicas ultrasónicas que suceden al interactuar con los defectos encontrados.

El campo de ondas ultrasónico comprende las frecuencias superiores a 20 KHz, límite superior de las frecuencias audibles para el oído humano.

La aplicación de esta técnica requiere una fuente de emisión, interacción de las ondas con la pieza y con los defectos; y un registrador de indicaciones. (Cil, 2005).

Como origen de este método de ensayo se puede considerar el conocido ensayo de percusión en el que la muestra se golpea con un martillo y el sonido emitido se percibe por el oído. Sin embargo, los primeros ensayos mediante ultrasonidos fueron aplicados por Sokolov, en 1929, para detectar la presencia de heterogeneidades, midiendo la caída de la intensidad acústica transmitida en el material cuando el haz de Ultrasonido atraviesa zonas del objeto examinado en las que existen heterogeneidades o defectos (Rubio, 1992).

Las ondas ultrasónicas pueden propagarse dentro de todos los medios donde haya fracciones de materia, átomos o moléculas capaces de vibrar, por lo que su propagación podrá tener lugar en los gases, líquidos y sólidos (Rubio, 1992).

El principio en el que se fundamenta el Ensayo de Ultrasonido es la impedancia acústica, que se define como la resistencia que oponen los diferentes materiales al paso de una onda ultrasónica.

2.7 TÉCNICA DEL ULTRASONIDO CONVENCIONAL

Para que exista el fenómeno ultrasónico debe existir un medio en el cuál se propaguen las ondas ultrasónicas, este va a ser el elemento que se desea inspeccionar.

En inspecciones típicas por Ultrasonido en modo convencional, el haz ultrasónico sale desde un solo elemento que tiene el transductor y viaja en un ángulo generado por la zapata, por el elemento o pieza, ésta onda transversal llega hasta la parte inferior de la pieza de ensayo y se refleja hacia arriba en el mismo ángulo por leyes de difracción, hasta llegar al cordón de soldadura.

En la figura 7 se observa lo antes mencionado para un elemento inspeccionado que no tiene ningún defecto, donde el transductor (de color plateado) que está conectado al cable coaxial (de color negro) es el encargado de emitir el haz ultrasónico (flechas de color rojo) que viaja por el elemento hasta que se pierde, debido a que no se encuentra ningún defecto en el cordón de soldadura, esto se visualiza en la pantalla que se encuentra en la parte inferior de la figura 7, que es la presentación A-Scan (para mayor información de esta pantalla revisar sección 2.12) al no tener un oscilograma (picos de color verde) que supere el límite de la compuerta (línea de color rojo).

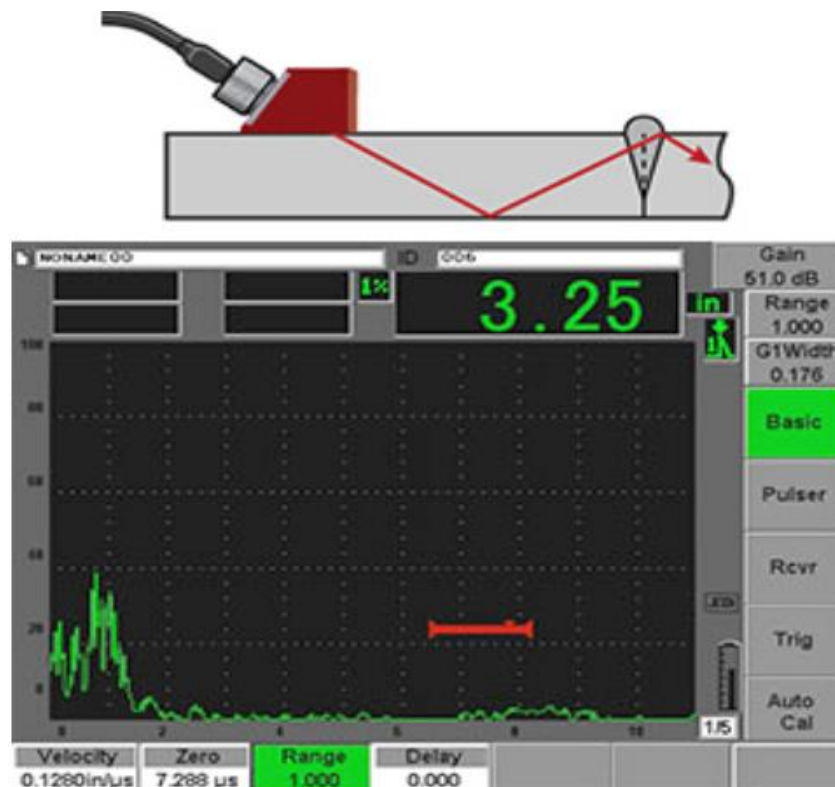


Figura 7 Inspección en UT de cordón de soldadura sin defectos

Fuente: (<http://www.olympus-ims.com>, 2012)

En la figura 8 se tiene un elemento que un defecto, que igualmente analizado con UT la onda transversal viaja por el material hasta encontrar un reflector (indicación relevante, de color gris) y es reflejada hacia el transductor nuevamente, este se encarga de leer la señal y mostrarla en la presentación A-Scan de la pantalla, dando un oscilograma que evaluado en su ubicación, profundidad y tamaño en la posición de la compuerta se determina que es un defecto, al tener una amplitud de eco de 85.75%, que sobrepasa el límite que determinan las Normas y Códigos.

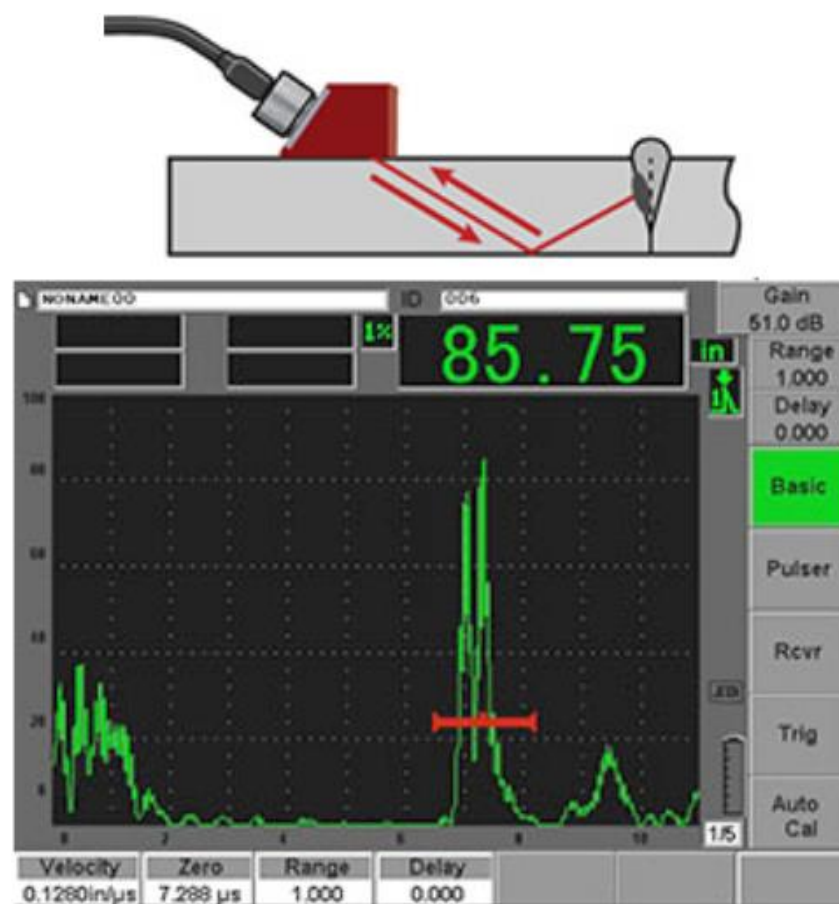


Figura 8 Inspección en UT de cordón de soldadura con defectos

Fuente: (<http://www.olympus-ims.com>, 2012)

2.8 FÍSICA DE LOS ULTRASONIDOS

2.8.1 ONDAS ULTRASÓNICAS

La oscilación sonora puede imaginarse como un movimiento de las partículas dentro del material, describiendo este movimiento a través del desplazamiento máximo de una partícula, de su posición de reposo o posición cero, que será una función de la posición y del tiempo (Rubio, 1992).

Por ende una onda ultrasónica se define como una onda acústica o sonora cuya frecuencia está por encima del espectro del oído humano, es decir mayor a 20 KHz.

Los tipos de ondas existentes son los siguientes:

a) Ondas longitudinales o de compresión:

Son aquellas oscilaciones de las partículas que ocurren en la dirección longitudinal, a causa de que en estas ondas están presentes fuerzas de compresión y dilatación, se puede distinguir que unas partículas se están comprimiendo mientras que otras se están dilatando tal y como se observa en la figura 9, todo esto en la dirección de propagación de la onda.

Cabe recalcar que las ondas longitudinales son las encargadas de transmitir el sonido a través de cuerpos sólidos y líquidos.

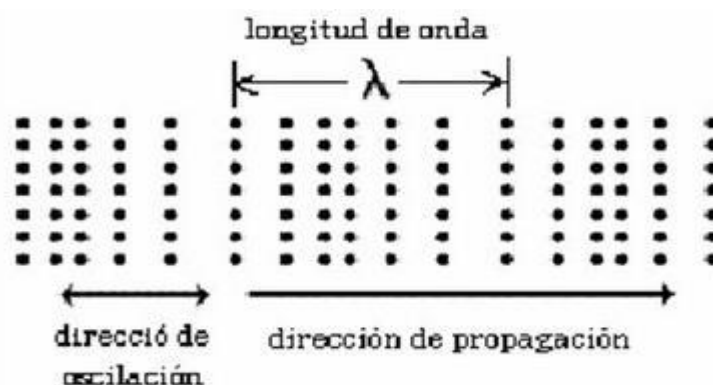


Figura 9 Onda longitudinal

Fuente: (<https://sites.google.com>, 2012)

b) Ondas transversales o de corte

Son aquellas oscilaciones de las partículas que ocurren en dirección transversal, es decir, formando ángulo recto con la dirección de propagación de la onda, como se observa en la figura 10.

El viaje de una onda transversal es aproximadamente la mitad de la velocidad de una onda longitudinal cuando estas se desplazan en un mismo material, por ende su longitud de onda es más corta que las ondas longitudinales.

Los líquidos y los gases a diferencia de lo que se produce en las ondas longitudinales, son incapaces de transmitir ondas transversales debido a que sus moléculas ofrecen una resistencia casi nula al desplazamiento transversal, por lo que no existen vínculos elásticos. Esta circunstancia coincide con la propiedad de tener un módulo de elasticidad transversal (G) igual a cero, el cual es una constante elástica que especifica el cambio de forma que sufre un material elástico al aplicar esfuerzos cortantes.

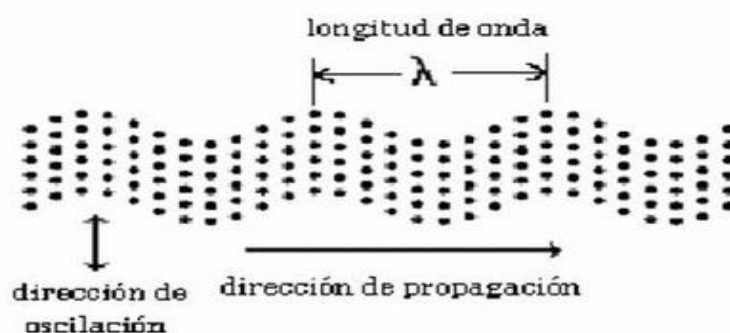


Figura 10 Onda Transversal

Fuente: (<https://sites.google.com>, 2012)

2.8.2 NATURALEZA Y GENERACIÓN DE LAS ONDAS ULTRASÓNICAS

La generación, propagación y recepción del Ultrasonido se caracteriza por vibraciones mecánicas periódicas, las cuales son representadas por ondas sinusoidales, las cuales se generan por diferentes efectos tales como:

- **Efecto piezoeléctrico**

Es un fenómeno físico que presentan algunos cristales, debido al cual, aparece un diferencial de potencial eléctrico entre ciertas caras del cristal cuando éste se somete a una deformación mecánica, generando ondas ultrasónicas a frecuencias superiores a 100 KHz con cristales muy delgados.

- **Efecto Magnetostrictivo**

Abarca un cambio en las dimensiones de un material magnético dentro de la influencia de un campo magnético.

2.8.3 PARÁMETROS DE LA ONDA ULTRASÓNICA

1. Frecuencia (f) [Hz]

La frecuencia de una onda de Ultrasonido consiste en el número de ciclos o de cambios de presión que ocurren en un segundo. La frecuencia se cuantifica en ciclos por segundo (Hz). La frecuencia está determinada por la fuente emisora del sonido y por el medio a través del cual está viajando (Pineda, 2009).

2. Longitud de onda (λ) [m]

La longitud de onda es la distancia entre dos planos en los que las partículas se encuentran en el mismo estado de movimiento. La longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia. El período y la longitud de onda están relacionados, pues el período es el tiempo que toma una partícula en recorrer una longitud de onda. Para todos los tipos de onda se cumple la siguiente relación (Curso de ultrasonido básico, 2012):

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

Donde:

λ : Longitud de onda [m]

c : Velocidad acústica [m/s]

f : Frecuencia [Hz]

3. Velocidad acústica (c) [m/s]

Es una velocidad de transmisión del tipo de energía sonora a través de un medio en la dirección que se propaga, siendo este un valor constante para cada tipo de material. Los valores de esta velocidad están tabulados dentro de las tablas 2, 3 y 4.

4. Amplitud de oscilación (A) [m]

Se le asigna al máximo desplazamiento de una partícula de su posición cero, siendo la distancia perpendicular a la dirección de propagación de la onda.

5. Impedancia acústica(Z) [kg / m².s]

Se define como la resistencia de un material al tipo de vibraciones de una onda ultrasónica, siendo el producto de la velocidad acústica del material por la densidad del mismo, teniendo la siguiente fórmula:

$$Z = \rho \times c \quad (2)$$

Donde:

ρ =Densidad [kg / m³]

c = Velocidad acústica [m/s]

Z =Impedancia acústica [kg / m².s]

Se debe tomar en cuenta que la impedancia es mayor en los cuerpos solidos que en los líquidos y en los gases, ya que la impedancia es directamente proporcional a la densidad del material.

6. Energía acústica específica (E_e) [$W \cdot s/m^3$]

Una de las características en una propagación de una onda es el transporte de energía y no de la masa, por ende la energía acústica específica es la que se encuentra presente en la unidad de volumen del medio que avanza con la velocidad acústica.

7. Intensidad acústica (I) [w/m^2]

La intensidad acústica de una onda sonora, está definida como la potencia promedio transmitida por unidad de área en la dirección de propagación de la onda (Seto, 1973), teniendo como resultado la siguiente fórmula:

$$I = \frac{p^2}{\rho \times c} \quad (3)$$

Donde;

P = Presión acústica [N/m^2]

ρ =Densidad [kg / m^3]

c = Velocidad acústica [m/s]

En las tablas 2, 3 y 4 se puede observar los valores de densidades, velocidad acústica longitudinal (CL), velocidad acústica transversal (CT) e impedancias acústicas de los diferentes materiales, los cuales son valores constantes que servirán para el cálculo de ángulos críticos que serán mencionados en la sección 2.8.6 del presente proyecto de grado, e inspección de elementos.

Además estas tablas sirven como referencia para la calibración de equipos de Ultrasonido, como se aprecia en la sección 4.4 del presente proyecto de grado.

Tabla 2

Densidades, velocidades e impedancias acústicas en materiales metálicos

Material	Densidad en 10 ³ kg/m ³	Velocidad acústica en 10 ³ m/s		Impedancia acústica en 10 ⁴ kg/m ² *s
		CL	CT	
Aceros (baja aleación)	7,85	5,92	3,21	45,7
Acero inoxidable austenítico, 18.8	8,03	5,66	3,19	45,5
Acero inoxidable martensítico 13 Cr	7,67	7,39	2,99	56,7
Aluminio	2,71	6,32	3,08	17,1
Aleación AL L3120 (Al-Cu)	2,78	6,25	3,10	17,4
Aleación AL L3140 (Al-Cu)	2,78	6,19	3,11	17,2
Antimonio (Sb)	6,69	4,15	-	28
Berilio (Be)	1,82	12,8	8,71	23,3
Bismuto (Bi)	9,8	2,18	1,10	21
Bronce (Cu-Sn)	7,4-8,9	4,40-4,98	2,34	32,5-44,5
Cadmio (Cd)	8,6	2,78	1,50	24
Cinc (Zn)	7,1	4,17	2,41	30
Constantan (Cu- Ni)	8,8	5,24	2,64	46
Cobre (Cu)	8,9	4,70	2,26	42
Estaño (Sn)	7,3	3,32	1,67	24
Fundición (Fe-C)	7,2	3,5-5,6	2,2-3,2	24-40
Hierro(Fe)	7,7	5,85	3,23	45
Inconel (laminado)	8,25	7,82	3,02	64,6
Iridio (Ir)	22,42	5,4	-	137
Latón (Cu-Zn)	8,5-8,6	3,83	2,05	33
Magnesio (Mg)	1,74	5,77	3,05	10,1
Manganeso (Mn)	8,4	4,66	2,35	39
Metal duro	11-15	6,8-7,3	4-4,7	75-110
Mercurio(Hg)	13,6	1,45	-	20
Monel (Laminado)	8,83	6,02	2,72	53,1
Molibdeno (Mo)	10,09	6,29	3,35	63,5
Níquel (Ni)	8,9	5,63	2,69	50
Oro (Au)	19,3	3,24	3,35	63,5
Plata (Ag)	10,5	3,60	1,59	38

CONTINÚA



Plata alemana (Cu-Zn-Ni)	8,4	4,76	2,16	40
Platino(Pt)	21,4	3,96	1,67	85
Plomo (Pb)	11,4	2,16	0,70	24,6
Plomo -6% Antimonio	10,9	2,16	0,81	23,6
Tántalo	16,6	4,2	-	69
Titanio	4,51	6,005	3,019	27
Volframio (W)	19,3	5,46	2,62	105

Fuente: (www.nebrija.es, 2006)

Tabla 3

Densidades, velocidades e impedancias acústicas en materiales no metálicos

Material	Densidad en 10^3 kg/m ³	Velocidad acústica en 10^3 m/s		Impedancia acústica en 10^4 kg/m ² .s
		CL	CT	
Alúmina Al ₂ O ₃	3,7-3,9	10	-	37-39
Caucho, sin vulcanizar	1,3-2,1	1,48	-	1,9-3,1
Caucho vulcanizado	1,1-1,6	2,3	-	2,5-3,7
Cera de parafina	0,86-0,92	2,2	-	1,9-2,0
Corcho	0,24	0,50	-	0,12
Cristales piezoeléctricos:				
Cloruro de potásio (C1K),X	1,988	4,38	-	8,7
Cloruro sódico (C1Na), X	2,28-2,41	4,78	-	10,9-11,5
Densidades, velocidades e impedancias acústicas en materiales no metálicos(Continuación)				
Bromuro potásico (BrK), X	2,75	3,48	-	9,5
Bromuro sódico (BrNa), X	3,20	3,2	-	40,2
Cuarzo (SiO ₂),X	2,65	5,76	-	15,3
Fluorita (CaF ₂), X	3,18	7,18	-	23
Fosfato monoamónico(Po ₄ H ₂ NH ₄)	1,80	4,92	-	8,8
Metaniobato de Pb (PbNb ₂ O ₆)	5,8	2,8	-	16
Sal de Rochela (C ₄ OH ₄ NaK ₄ H ₂ O) ₄₅ *Y	1,77	-	2,47	-
Sal de Rochela (C ₄ OH ₄ NaK ₄ H ₂ O) ₄₅ *X	1,77	5,36	-	8,6
Sulfato de litio (Li ₂ SO ₄)	2,06	4,72	-	11,2
Titanio de bario (BaTiO ₃)	5,7	4,40	-	35
Turmalina XY ₃ Al ₆ (BO ₃)(SiO ₁₃)(OH) ₄	33,25	7,54	-	22,5-24

CONTINÚA



Granito	2,51-3,05	3,95	-	10,4-12
Hielo	0,9	3,98	1,99	3,6
Maderas (Olmo)	0,56-0,82	1,01	-	0,56-0,8
Marfil	1,83-1,92	3,01	-	5,5-5,8
Mármol	2,52-2,85	3,81	-	9,6-10,9
Pizarra	2,65-2,70	4,51	-	12-12,2
Poliamida (nylon, perlón)	1-1,2	1,8-2,2	-	1,8-2,7
Poliestireno	1,05	2,67	1,12	2,28
Plexiglass	1,18	2,73	1,43	3,2
Politetrafluoretileno	2,2	1,35	-	3
Porcelana	2,4	5,6-6,2	-	13-14
Resina Epóxica	1,15-1,3	2,5-2,8	1,1	2,8-3,7
Resina fenólica	1,4	2,59	-	3,6
Vidrios				
Cristal denso	3,90	3,76	-	14,7
Cristal ultraligero	3,15	4,80	-	15,1
Vidrio de cuarzo	2,2	5,57	3,52	12,3
Vidrio denso	2,72	5,26	-	14,3
Vidrio fino	3,6	4,26	2,56	15
Vidrio Crown	2,51	5,66	3,42	14
Vidrio de boro silicato	2,23	5,57	3,44	12,4

Fuente: (www.nebrija.es, 2006)

Tabla 4

Densidades, velocidades e impedancias acústicas en líquidos

Material	Temperatura en C	Densidad en 10^3 kg/m ³	Velocidad acústica en 10^3 m/s	Impedancia acústica en 10^4 kg/m ² .s
Aceite diésel	-	0,88-1,02	1,25	1,1-1,3
Aceites lubricantes (SAE 20 a 30)	-	0,89-0,96	1,74	1,5-1,7
Aceite de transformador	-	0,92	1,39	1,28
Acetona	20	0,79	1,19	0,94
Agua destilada (H ₂ O)	20	1	1,483	1,48
Agua destilada (H ₂ O)	25	0,997	1,497	1,49

CONTINÚA



Agua de mar	17	-	1,51	-
Agua pesada (D2O)	25	1,104	1,40	1,55
Alcohol etílico	20	0,79	1,17	0,92
Alcohol metílico	20	0,79	1,12	0,18
Anilina	20	1,02	1,66	1,69
Benzeno	20	0,88	1,33	1,17
Bisulfuro de carbono	20	1,26	1,16	1,46
Cloroformo	20	1,49	0,99	1,48
Eter etílico	20	0,71	0,98	0,70
Esencia de trementina	27	0,86-0,88	1,28	1,10-1,12
Glicerina	20	1,26	1,92	2,4
Mercurio	-	13,6	1,45	20
Nitrotolueno	20	1,16	1,43	1,66
Pentano	20	0,63	1,02	0,64
Queroseno	15	0,7-0,9	1,33	0,9-1,2
Tolueno	20	0,87	1,33	1,15
Xilol	20	0,86	1,33	1,15
Yoduro de metileno	-	3,33	0,98	3,3
Aire	-	0,0012	0,330	0,000398

Fuente: (www.nebrija.es, 2006)

2.8.4 COMPORTAMIENTO DE LAS ONDAS ULTRASÓNICAS EN SUPERFICIES LÍMITES

En la propagación de la onda acústica se considera “superficie límite” a aquella que separa dos medios con propiedades elásticas diferentes.

Para el estudio del comportamiento de las ondas ultrasónicas en superficies límites conviene distinguir dos casos:

a) Incidencia normal.

En una onda acústica plana que incide perpendicularmente sobre una superficie plana y uniforme que separa dos medios diferentes, una parte de la onda se refleja y vuelve en la misma dirección, mientras que la otra parte de la onda se propaga en el segundo medio conservando su dirección y sentido como se muestra en la figura 11:

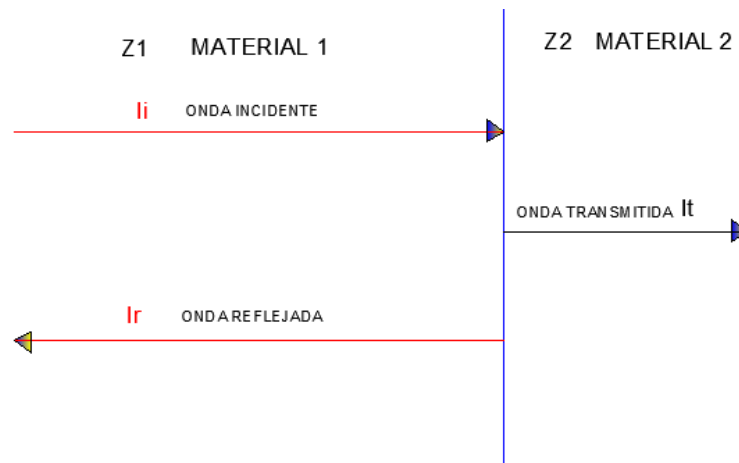


Figura 11 Incidencia Normal

Fuente: (Rubio, 1992)

Donde:

I_i = Intensidad de la onda incidente [W/m^2]

I_r = Intensidad de la onda reflejada [W/m^2]

I_t = Intensidad de la onda transmitida [W/m^2]

Z_1 y Z_2 = Impedancias de los distintos materiales [$kg / m^2 \cdot s$]

Los parámetros I_i , I_r e I_t , se encuentran relacionados mediante los coeficientes de reflexión y de transmisión.

Siendo el coeficiente de reflexión R:

$$R = \frac{I_r}{I_i} \quad (4)$$

Coficiente de transmisión T:

$$T = \frac{I_t}{I_i} \quad (5)$$

Un balance de la energía, que se expresa en intensidad de la energía acústica se expresa como:

$$I_i = I_r + I_t \quad (6)$$

b) Incidencia angular.

Cuando la onda, ya sea longitudinal o transversal cruza oblicuamente dos materiales de diferente impedancia acústica y velocidad, un fragmento del sonido se refleja y la otra se refracta.

En la figura 12 se describen los fenómenos de reflexión y refracción de una onda en una superficie plana, donde la onda con ángulo α es la incidente, la onda con ángulo β es la reflejada y la onda con ángulo θ es la transmitida.

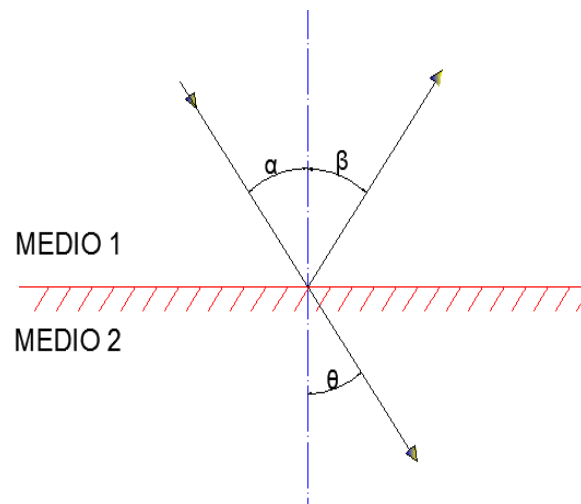


Figura 12 Incidencia Angular

Fuente: (Rubio, 1992)

Siendo:

α = Ángulo de incidencia.

β = Ángulo de reflexión.

θ = Ángulo de transmisión o refracción

2.8.5 REFRACCIÓN Y LEY DE SNELL

Refacción de ondas

El fenómeno de refracción se produce en una interfaz debido a las diversas velocidades de las ondas acústicas que se presentan dentro de los materiales. En la figura 12 se observa este fenómeno de refracción, donde un rayo incidente determinado por un ángulo α que viaja en un medio 1, genera un rayo refractado determinado por un ángulo β en un medio 2.

Ley de Snell

Esta ley describe la relación que existe entre las velocidades acústicas (c) y los ángulos de ondas, tanto de ondas incidentes como reflejadas.

Esta ley tiene una ecuación, que permite comparar el coeficiente de velocidades acústicas de los materiales con el cociente del seno del ángulo incidente y el ángulo transmitido o refractado, teniendo:

$$\frac{\text{Sen } \theta_1}{c_{L1}} = \frac{\text{Sen } \theta_2}{c_{L2}} = \frac{\text{Sen } \theta_3}{c_{T1}} = \frac{\text{Sen } \theta_4}{c_{T2}} \quad (7)$$

Donde:

c_{L1} = Velocidad de la onda longitudinal en el material 1.

c_{L2} = Velocidad de la onda longitudinal en el material 2.

c_{T1} = Velocidad de la onda de corte en el material 1.

c_{T2} = Velocidad de la onda de corte en el material 2.

Cabe destacar que la ecuación 7 se genera de la figura 13, en la cual se tiene de forma gráfica la explicación de la ley de Snell, donde una onda incidente longitudinal (c_{L1}) generó dos ondas reflejadas (c_{L1} y c_{T1}) y dos ondas refractadas (c_{T2} y c_{L2}).

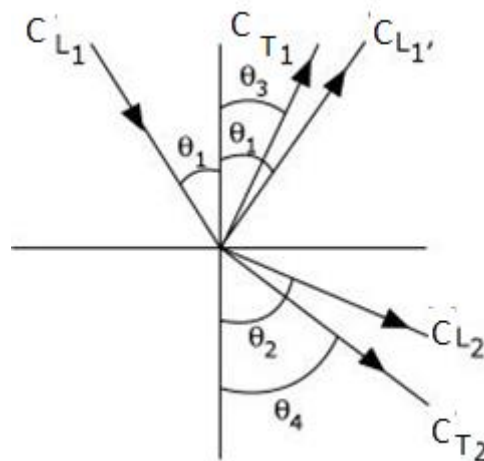


Figura 13 Ley de Snell

Fuente: (<https://www.nde-ed.org>, 2009)

2.8.6 ÁNGULOS CRÍTICOS

En inspección ultrasónica no se debe trabajar con dos ondas transmitidas diferentes (ondas longitudinales y transversales) ya que da lugar a problemas de interpretación debido a que presentan diferentes velocidades y tamaños de longitud de onda.

En el material a inspeccionar por defectología debe existir solamente un tipo de onda que es la onda de corte, para esto se analiza con la ley de Snell para eliminar la onda longitudinal transmitida. Esto se verifica determinando el primero y el segundo ángulo crítico.

a) Primer ángulo crítico

Es el valor del ángulo de la onda incidente que se va a obtener al ubicar la onda longitudinal refractada (L2) a 90° con respecto a la normal. Esto se realiza para eliminar esta onda del medio 2. El valor del ángulo de 27° para el primer ángulo crítico es el resultado de trabajar en un medio 1 que es el plexiglass (material común de las zapatas) y un medio 2 que es el acero de baja aleación. Todo esto se puede observar en la figura 14:

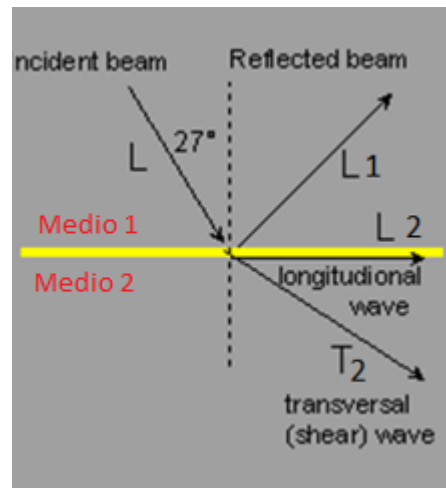


Figura 14 Primer ángulo crítico

Fuente: (<http://www.ndt.net>, 2015)

Guiándose en la figura 13 de la ley de Snell, se procede a calcular el primer ángulo crítico utilizando la velocidad del material del plexiglass como medio 1 y el acero de baja aleación utilizado como medio 2, datos que corresponden de las tablas 2 y 3 del presente proyecto de grado. El primer ángulo crítico es:

$$\frac{\text{sen } \theta_1}{C_{L1}} = \frac{\text{sen } \theta_2}{C_{L2}}$$

$$\frac{\text{sen } \theta_1}{2.73} = \frac{\text{sen } 90}{5.92}$$

$$\theta_1 = 27.46 \text{ grado}$$

b) Segundo ángulo crítico

Es el valor del ángulo de la onda incidente para obtener la onda transversal refractada (T2) a 90° con respecto a la normal. Esto se realiza para determinar cuál es el ángulo máximo de onda incidente que se puede lograr con una onda transversal en el medio 2, esto se observa en la figura 15:

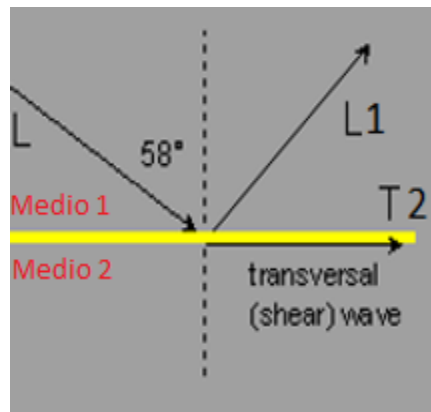


Figura 15 Segundo ángulo crítico

Fuente: (<http://www.ndt.net>, 2015)

El valor de segundo ángulo crítico se calcula de la siguiente manera utilizando la fórmula 7.

$$\frac{\text{sen } \theta_1}{C_{L1}} = \frac{\text{sen } \theta_4}{C_{T2}}$$

$$\frac{\text{sen } \theta_1}{2.73} = \frac{\text{sen } 90}{3.21}$$

$$\theta_1 = 58.26 \text{ grados}$$

2.9 ULTRASONIDO POR ARREGLO DE FASES

A principios del siglo XXI el desarrollo y aplicación del Ultrasonido por Arreglo de Fases como una tecnología única ha alcanzado un estado de madurez, esto debido a que la tecnología de Ultrasonido por Arreglo de Fases cambió del campo médico al sector industrial al principio de la década de los 80, a mediados de esta década los materiales piezocompuestos fueron desarrollados y estuvieron disponibles para inspecciones en materiales. Para el comienzo de la década de los 90, la tecnología por Arreglo De Fases fue incorporada como un nuevo método de evaluación no destructiva en los manuales de Ultrasonido.

Nuevos avances en la tecnología de materiales piezocompuestos, micromaquinaria, microelectrónica y poder computacional, todos

contribuyeron al desarrollo revolucionario de la tecnología de Arreglo de Fases para el final de la década de los 90. La tecnología de Arreglo de Fases se ha estado desarrollando en estos años, y representa el futuro próximo en la aplicación del Ultrasonido industrial por su versatilidad y facilidad en la interpretación de resultados.

El Ultrasonido que utiliza el Arreglo de Fases es una herramienta de avanzada técnica eco-pulso que utiliza múltiples elementos en un mismo transductor, que ayudados con retardos en el tiempo dan forma a un haz ultrasónico en un ángulo y enfoque deseado. La versatilidad que presenta este tipo de sistemas permite vistas simultáneas de diferentes presentaciones en el equipo.

Por estas razones el Ultrasonido por Arreglo De Fases se convierte en un método de inspección muy versátil, por lo cual se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, las cuales pueden ser:

- Inspección de soldaduras.
- Detección de defectos.
- Medición de espesores.
- Corrosión.

2.9.1 TRANSDUCTORES

El efecto piezoeléctrico es el más utilizado para la generación y recepción de las ondas ultrasónicas, en especial en su aplicación a los métodos de Ensayos No Destructivos, en lo referente al examen de los materiales metálicos.

Para estos ensayos las ondas transversales se generan casi exclusivamente aprovechando los fenómenos de transformación o conversión de ondas que se producen al incidir una onda longitudinal oblicuamente a la superficie de la muestra ensayada, de acuerdo con las leyes de la refracción expuestas en 2.8.4.

El transductor es una pieza muy importante dentro del sistema ultrasónico de instrumentación, debido a que tiene un elemento piezoeléctrico, el cual se encarga de convertir señales eléctricas en vibraciones mecánicas y a su vez vibraciones mecánicas en señales eléctricas. Cabe destacar que muchos factores (material, construcción mecánica, condiciones de carga mecánica, etc.) influyen en el comportamiento del transductor.

En la figura 16 se puede observar los componentes de un transductor de onda longitudinal que se encuentra conformado por los siguientes elementos:

- Cristal.- Placa pequeña construida de material piezoeléctrico y que se caracteriza por ser el elemento principal.
- Material de respaldo.- Su función principal es servir como soporte del cristal y como amortiguador mecánico y acústico. Este se encuentra adherido al cristal permitiendo amortiguar las vibraciones por la inercia del cristal.
- Carcasa metálica.- Sirve como blindaje proporcionando una resistencia mecánica.
- Electrodo.- Placas conductoras de corriente eléctrica ubicadas en las caras del cristal.
- Placa protectora o de uso.- Sirve como elemento de protección.

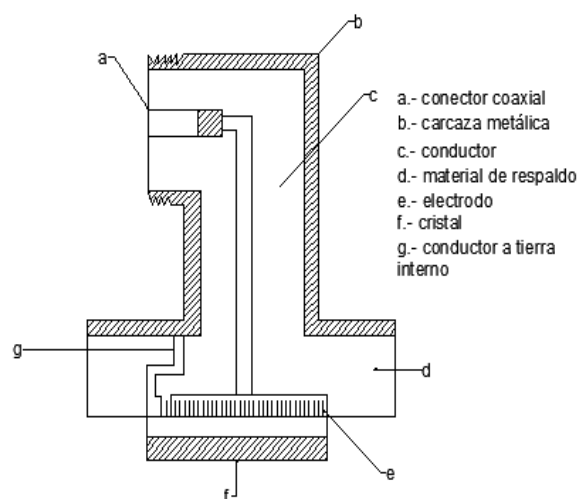


Figura 16 Componentes de un transductor de onda longitudinal

Fuente: (Rubio, 1992)

Con respecto a la dirección del haz y a las superficies, se clasifican en:

- Transductores de incidencia normal
- Transductores de incidencia angular

2.9.1.1 Transductores de incidencia normal

Son aquellos que emiten ondas longitudinales con frecuencias de 0.5 a 10 MHz. Su aplicación es para ensayos donde se puede realizar contacto directo con el material de prueba (sobre el área de interés) y para realizar inspección en medición de espesores. La forma de aplicación de este transductor al material se observa en la figura 17:

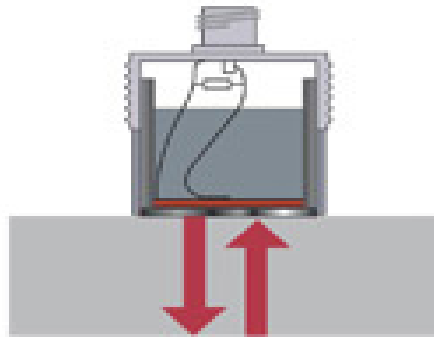


Figura 17 Transductor de incidencia normal

Fuente: (<http://www.olympus-ims.com/>, 2012)

2.9.1.2 Transductores de incidencia angular

Este tipo de transductores generan ondas de corte. Se emplean generalmente en los equipos de pulso-eco y su función es específicamente para la detección de discontinuidades (inspección en defectología).

Este tipo de transductores se los utiliza generalmente para producir una onda refractada de corte en el material de prueba. Se los puede conseguir en una gran variedad de ángulos fijos para Ultrasonido Convencional o en versiones que se ajustan dependiendo del ángulo de incidencia para Ultrasonido por Arreglo de Fases.

Generalmente la zapata de estos transductores está fabricada con un tipo de resina (plexiglass) para facilitar que el Ultrasonido viaje en forma inclinada y a su vez permitiendo que la onda no pierda energía.

Los ángulos de refracción comunes para este tipo de transductores son de 35, 45, 60,70, 80 y 90°, los cuales generalmente se los denomina ángulos de entrada. Cabe destacar que estos ángulos son para Ultrasonido Convencional.

En la figura 18 se observa los elementos que conforman un transductor diseñado para que funcione como angular, con la zapata acoplada a todo el conjunto.

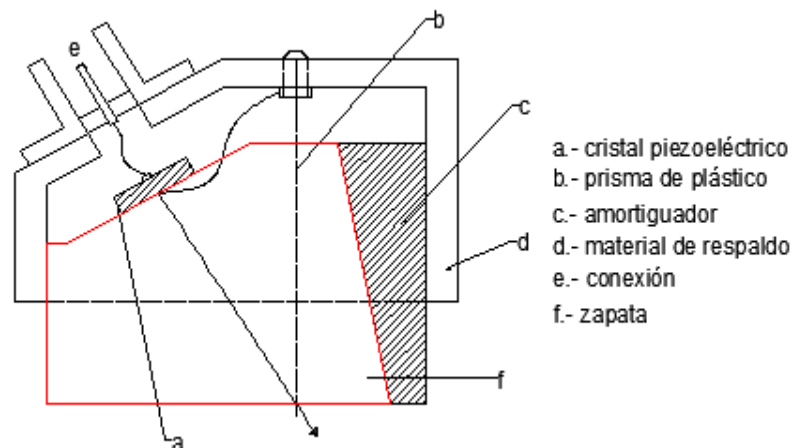


Figura 18 Elementos de un transductor angular

Fuente: (Rubio, 1992)

Los transductores, por el hecho de ser los portadores del material piezoeléctrico, que actúa como generador y receptor de las ondas ultrasónicas y teniendo en cuenta que de este conjunto dependen las características y cualidades del haz de Ultrasonido que se propaga en el material que se examina, hace que sean considerados como un constituyente básico del equipo de Ultrasonido.

Hay que tomar en cuenta que si se aumenta la frecuencia en un transductor, aumenta también su sensibilidad, pero disminuye la penetración (López, 2009).

2.9.1.3 Características de los transductores de Arreglo de Fases

Para determinar las características de este tipo de transductores se considera la clasificación de las siguientes funciones:

Tipo.- La mayoría son de haz angular, diseñados con una zapata de resina plástica para su uso.

Frecuencia.- Para la detección de fallas por Ultrasonido en su mayor parte se realizan con frecuencias que varían entre 2 MHz y 10MHz.

Número de elementos.- Por lo general se encuentran transductores de 16 a 128 elementos.

2.9.1.4 Eficiencia del transductor, ancho de banda y frecuencia

Varios transductores se fabrican generalmente para ser transmisores más eficientes y otros para ser receptores más eficientes. Un transductor que funciona correctamente en una aplicación no proporcionará siempre los resultados deseados en una aplicación diferente. Por ejemplo, la sensibilidad, que se define como la capacidad de identificar discontinuidades lo más pequeñas posibles es proporcional al producto de la eficiencia del transductor como transmisor y receptor. La resolución se puede definir de dos diferentes maneras, la primera es la resolución cercana, que se refiere a la habilidad del sistema de inspección para detectar discontinuidades localizadas cerca de la superficie de entrada. Por otro lado la resolución lejana es la habilidad del sistema de inspección de separar dos o más ecos de discontinuidades cercanas entre sí en distancia.

Es también importante comprender el concepto del ancho de banda, o de la gama de frecuencias, que se asocian con el transductor. Según una

definición de banda ancha, contenida en la norma ASTM E-1065 “Guía Estándar para la Evaluación de las Características de las Unidades de Rastreo Ultrasónico”, es aquella parte de la frecuencia de respuesta, que cae dentro de los límites dados.

La ecuación usada para obtener el ancho de banda se denota como BW, que proviene de las siglas de bandwidth, la cual es:

$$BW = \frac{(f_s - f_i)}{f_c} \times 100 \quad (8)$$

Donde:

f_s = Frecuencia superior [Hz]

f_i = Frecuencia inferior [Hz]

f_c =Frecuencia central [Hz]

Cabe destacar que la frecuencia conocida en un transductor es la frecuencia central f_c que depende del material de respaldo, siendo amplio el rango de frecuencias que entrega el transductor se obtiene mejor resolución, teniendo que los transductores de alta frecuencia .cuando se los utiliza con la instrumentación apropiada, ayudan a mejorar la resolución de la discontinuidad y capacidad de medición de espesores.

Los transductores según el tipo de frecuencia que reciben se dividen en:

a) Transductores altamente amortiguados.

Son los que responden a frecuencias que se hallan sobre y debajo de la frecuencia central f_c .

b) Transductores menos amortiguados.

Son aquellos que muestran una gama de frecuencias más estrecha y una energía de resolución más pobre, pero una mayor penetración.

Estos dos tipos de transductores están en función de la frecuencia central, una de las características de la frecuencia central f_c es definir las capacidades de un transductor, es decir: a frecuencias más bajas entre 0.25 MHz y 2.25MHz, proporcionan mayor energía y penetración en un material, mientras

que los cristales de alta frecuencia, que varían entre 15MHz y 25MHz, proporcionan una penetración reducida, pero mayor sensibilidad a las discontinuidades de menor tamaño.

2.9.1.5 Tipos de transductores tomando en cuenta el número de cristales

a) Transductores de cristal único, emisor y receptor tipo E+R.

En la figura 19 se muestra un esquema básico de un transductor de este tipo, en el cual se observa los elementos principales.

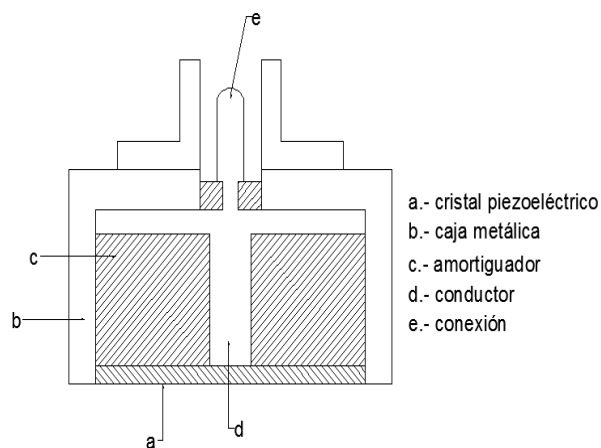


Figura 19 Transductor de cristal único

Fuente: (Rubio, 1992)

Para detectar distancias grandes este tipo de transductores debe poseer una buena sensibilidad y un gran poder de resolución.

Para que exista una buena sensibilidad la característica del transductor será la de tener un diámetro y frecuencia máximas compatibles con el material a examinar, manteniendo en valores mínimos la amortiguación, con el fin de que el cristal pueda detectar impulsos acústicos débiles.

b) Transductores de cristal doble, uno emisor y otro receptor, tipo E-R

En la figura 20 se observa este tipo de transductores tienen dos cristales perfectamente aislados de la acústica y de la electricidad por una lámina. Uno

de los cristales actúa solo como emisor y el otro como receptor; ambos cristales se ubican con una determinada inclinación sobre una columna de plástico la cual produce un efecto focalizador y de esta forma concentra el haz ultrasónico para conseguir una máxima sensibilidad de las fronteras de la superficie.

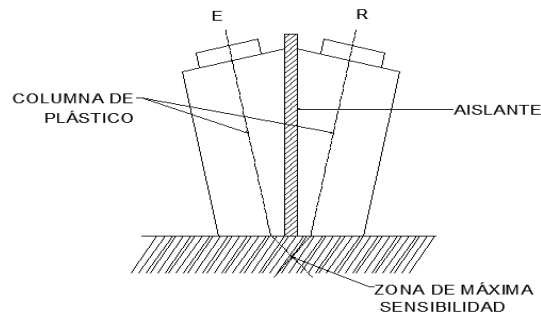


Figura 20 Transductor de cristal doble

Fuente: (Rubio, 1992)

Utilizando equipos adecuados es posible medir espesores con estos transductores de cristal doble y de esta manera detectar heterogeneidades a partir de una profundidad equivalente a una longitud de onda.

La principal ventaja que posee este tipo de transductor es el de poder utilizar los cristales más indicados para cada trabajo según convenga.

c) Transductores de cristales múltiples para aplicaciones especiales

Están diseñados para satisfacer determinadas aplicaciones especiales. Estos transductores se caracterizan por poseer varios cristales acoplados en forma de "Mosaico", montados sobre un adaptador de plástico, que tiene el efecto de lente, consiguiendo el haz sin divergencia.

2.10 CAMPOS DEL HAZ ULTRASÓNICO

En el haz ultrasónico deben distinguirse dos áreas, las cuales son:

- Campo cercano: zona de Fresnel.
- Campo lejano: zona de Fraunhofer.

Estos dos campos se pueden observar en la figura 21:

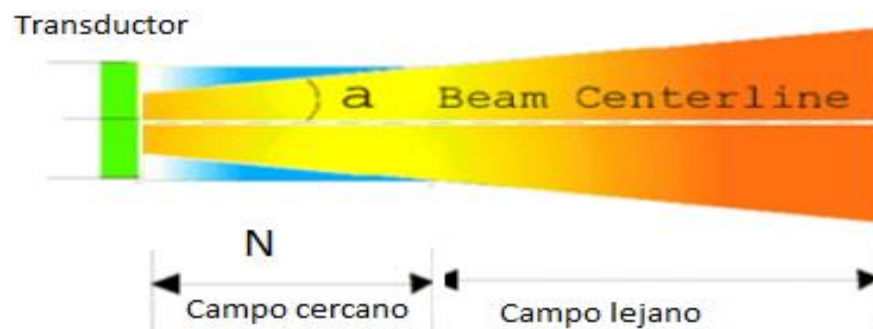


Figura 21 Haz ultrasónico en un transductor

Fuente: (<http://tksprobe.com>, 2005)

2.10.1 CAMPO CERCANO DEL HAZ ULTRASÓNICO

El campo cercano (N) se caracteriza por dos puntos principales, el primero trata sobre la ausencia de divergencia del haz ultrasónico (zona de color azul) representado en la figura 21 y el segundo trata sobre los fenómenos de interferencia en el haz ultrasónico que puede llevar a variaciones marcadas de su intensidad de amplitud (picos de color verde) tal como se observa en la figura 22.

En este campo la inspección no es recomendada, debido a las variaciones en amplitud inherentes.

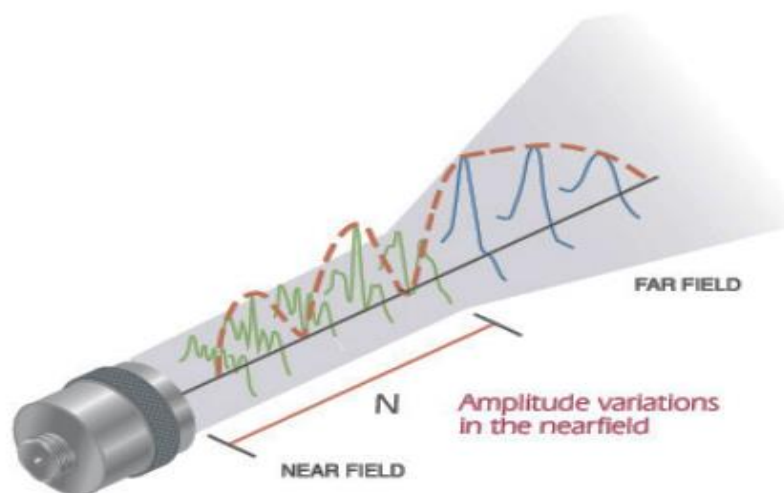


Figura 22 Campo cercano de un haz ultrasónico

Fuente: (<http://www.ultrasoniccleaning.com>, 2012)

Con frecuencias y diámetros de elementos transductores más pequeños se obtiene longitudes de campo cercano más cortas, el cálculo de la longitud del campo cercano de una forma teórica se puede realizar con la ecuación:

$$N = \frac{D^2 f}{4c} \quad (9)$$

Donde:

N= Longitud del campo cercano [m]

D= Diámetro del transductor [m]

f= Frecuencia del transductor [Hz]

c= Velocidad acústica [m/s²]

2.10.2 CAMPO LEJANO DEL HAZ ULTRASÓNICO

El campo distante o lejano en cambio presenta ausencia casi completa de los fenómenos de interferencia, provocando un haz sónico uniforme, pero a su vez, al aumentar la distancia hasta el transductor la intensidad disminuye gradualmente. Otra característica del campo distante es que el haz ultrasónico tiene un diámetro mayor que depende del tipo de haz sónico y también tiene una extensión más amplia de la energía sónica debido a dos causas, a la divergencia y al hecho de que la distribución de la intensidad perpendicular al eje longitudinal del haz sónico adquiere cada vez una forma de campana, esto debido a que el haz ultrasónico se aleja de la zona del campo cercano (N) y por ende se pierden paulatinamente las interferencias inherentes y se obtiene un eco de medición correcto, este efecto se observa en la figura 23 de izquierda a derecha. Además en este campo se produce la divergencia del haz ultrasónico.

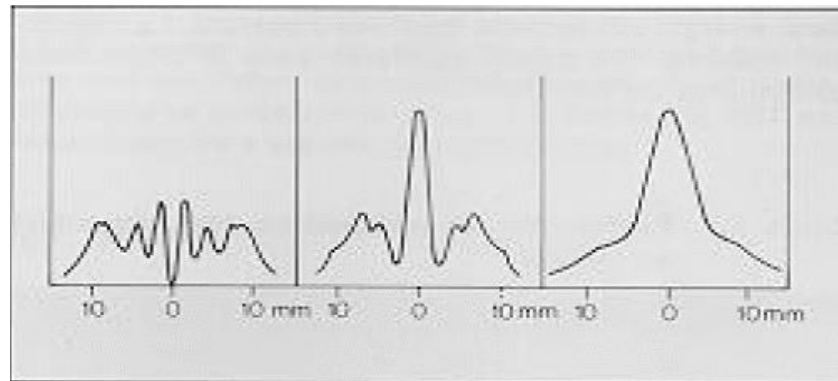


Figura 23 Forma de onda en el campo lejano del haz ultrasónico

Fuente: (R.Hoogland, 2012)

2.10.3 ZONA MUERTA DEL HAZ ULTRASÓNICO

La zona muerta se puede describir como la distancia entre el punto eléctrico cero (impulso inicial) y el punto mecánico cero (superficie de la pieza), en esta zona no existe ninguna reflexión de una discontinuidad ya que el pulso inicial de la pantalla es demasiado grande, esto se observa en la figura 24, donde un transductor incide sobre un elemento y este genera un pulso inicial mostrado en la presentación A-Scan del lado derecho de la figura, el cual no es una indicación relevante sino una señal provocada por la zona muerta del haz ultrasónico.

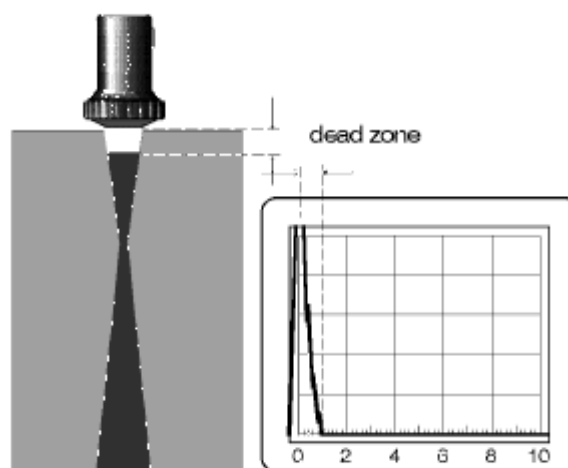


Figura 24 Zona muerta del haz ultrasónico

Fuente: (<http://www.ndt.net>, s.f.)

En la práctica, para disminuir la longitud de la zona muerta se utilizan transductores con alto amortiguamiento.

2.11 DIVERGENCIA DEL HAZ ULTRASÓNICO

La divergencia del haz es una medida del ángulo a partir de un lado del haz ultrasónico al eje central del haz, en el campo lejano. Por lo tanto, la extensión del haz es dos veces la divergencia del mismo. (Pineda, 2009). Esto se visualiza en la figura 21, donde “a” representa el ángulo que corresponde a la divergencia.

Cuando el haz ultrasónico se encuentra en el campo cercano este se propaga en forma de una línea recta desde la cara del transductor, cuando se localiza el sonido en el campo lejano se esparce hacia afuera (presenta divergencia).

Para una frecuencia dada se presenta las siguientes relaciones:

- Entre mayor sea el diámetro del transductor el haz ultrasónico será más recto.
- Si se cuenta con transductores de menor diámetro el haz tendrá una mayor divergencia.
- Los transductores de mayor frecuencia tendrán una menor divergencia.

2.12 FORMAS DE PRESENTACIÓN DE PANTALLAS EN EQUIPOS DE ULTRASONIDO

En los equipos de Ultrasonido para analizar las señales encontradas se vale de diferentes tipos de presentaciones que son diagramas que están en función de variables necesarias para la interpretación de resultados de diferente forma.

Las siguientes presentaciones son las básicas en un equipo de Ultrasonido en modo de Arreglo de Fases, las cuales son:

a) Presentación Tipo A-Scan

Cabe destacar que esta presentación es la única que utiliza el Ultrasonido en modo Convencional, pero también forma parte del modo de Arreglo de Fases.

Esta visualización se caracteriza principalmente por mostrar un oscilograma del eco de amplitud del reflector encontrado. La relación que existe en este tipo de presentación considera como variables del diagrama el tiempo y amplitud del reflector encontrado. En este caso el eco (numeral 3 de la figura 25) corresponde al reflector del bloque de calibración II W tipo 2.

En esta presentación se tiene una compuerta (numeral 4 de la figura 25) la cual limita el área de interés a ser inspeccionada que en este caso es el eco de amplitud evaluado en los parámetros del numeral 5 de la figura 25, donde estos parámetros son las dimensiones de la ubicación del defecto que se encuentra en el elemento inspeccionado, las cuales se detallan en la figura 26.

La presentación A-Scan, está compuesta por dos escalas, las cuales son:

- Escala horizontal de la pantalla (numeral 1 de la figura 25).- Consta de 11 divisiones equidistantes, cada división se compone por 4 subdivisiones, los cuales suman un total de 44 subdivisiones, permitiendo medir el tiempo de recorrido de una onda ultrasónica.
- Escala vertical de la pantalla (numeral 2 de la figura 25).- Consta por 110 divisiones, repartidas en 4 partes equidistantes, esta presentación proporciona el porcentaje de la altura o amplitud.

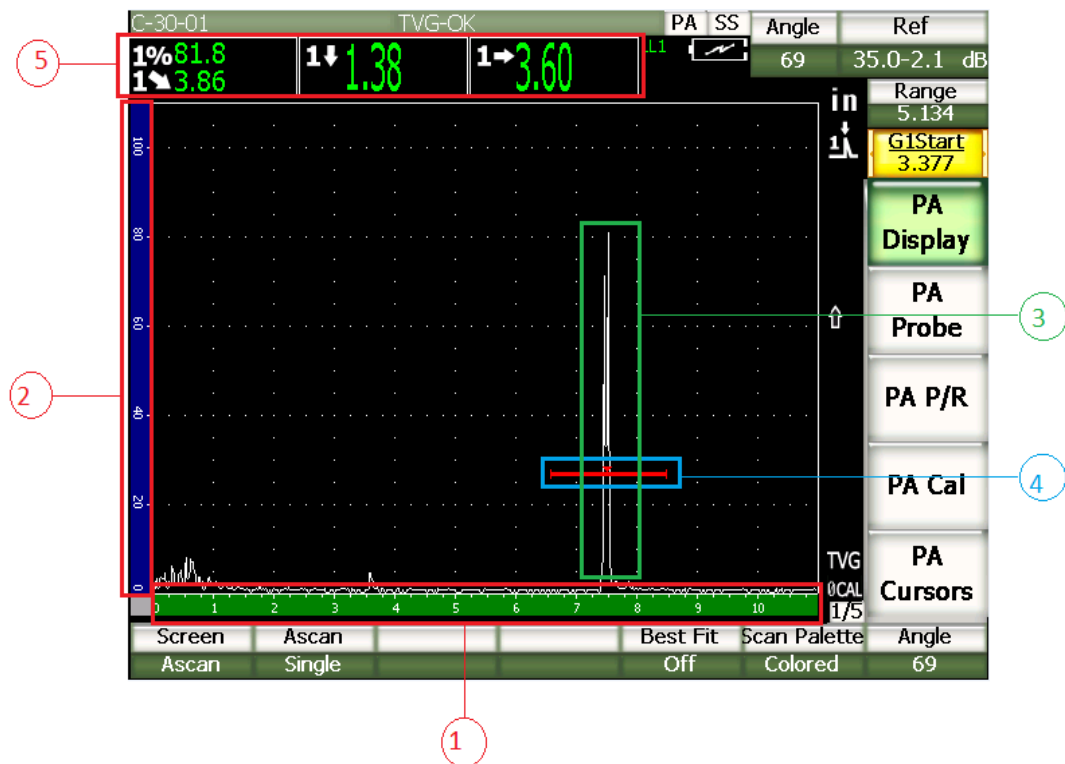


Figura 25 Presentación A-Scan

La figura 26 muestra un transductor en incidencia angular inspeccionando un elemento que contiene un reflector en su interior, el cual genera los parámetros indicativos que se detallan a continuación:

1↓ = DA.- Profundidad al reflector.

1→ = PA.- Distancia horizontal desde el reflector hacia el inicio de la zapata.

1↘ = SA.- Camino sónico de la onda ultrasónica hasta el reflector

RA.- Distancia horizontal entre el punto de referencia de la zapata al reflector

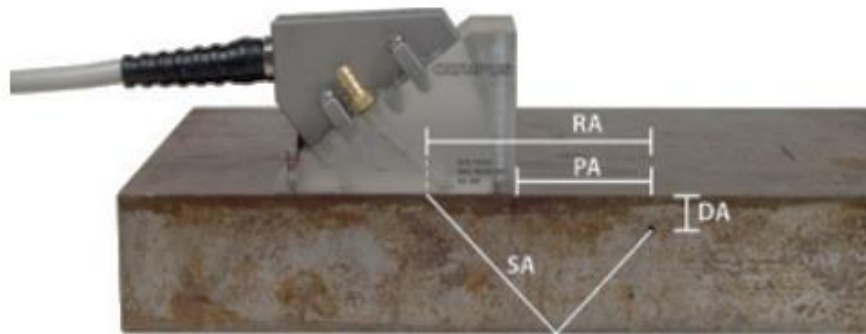


Figura 26 Ubicación de defectos

Fuente: (<http://www.olympus-ims.com>, 2012)

b) Presentación Tipo B-Scan

Este tipo de presentación muestra la sección transversal del material inspeccionado, en la cual se tiene como referencia la superficie frontal del elemento (franja de color verde de la figura 27), mostrando la información de la profundidad y longitud de las discontinuidades, que en la figura 27 representa la corrosión interna (especificada en color rojo).



Figura 27 Presentación B-Scan

Fuente: (<http://www.defectoscoape.ro>, 2012)

c) Presentación Tipo C-Scan

Muestra una presentación donde se visualiza una vista superior del elemento inspeccionado en forma de mapa, similar a una imagen radiográfica.

Si existe una discontinuidad o varias en el elemento se obtienen el contorno de la misma en la pantalla, siendo representada la intensidad de la discontinuidad en una gama de colores, donde el defecto es más relevante si tiende a colores más cálidos, siendo el color rojo la señal de alta intensidad de energía de la indicación, tal como se observa en la figura 28:

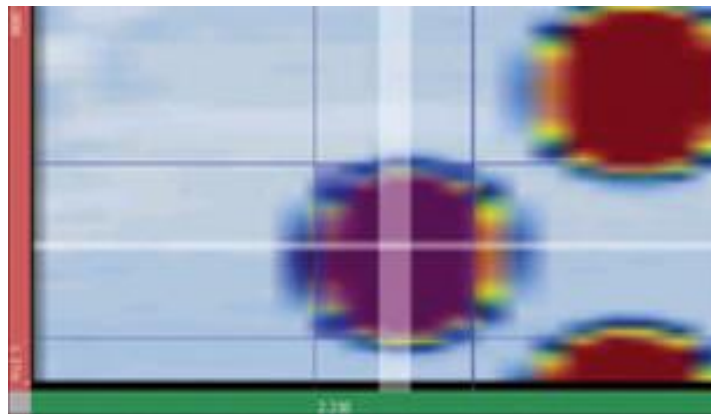


Figura 28 Presentación C-Scan

Fuente: (<http://static5.olympus-ims.com>, 2012)

d) Presentación Tipo S-Scan

Llamada también presentación sectorial, que enlaza las características de un transductor de arreglo de fases con la profundidad de la pieza inspeccionada, teniendo en un eje la distancia proyectada y en el otro el recorrido del Ultrasonido obteniendo un sector angular (zona de color blanco), que es el resultado de todos los barridos generados por la leyes focales, esto se observa en la figura 29. Al igual que en la presentación C-Scan la indicación encontrada se muestra en una gama de colores.

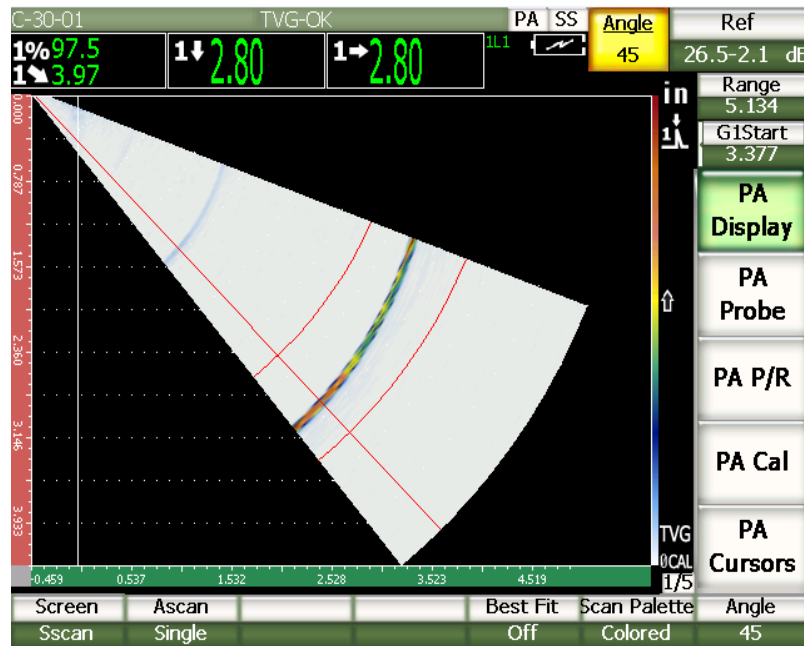


Figura 29 Presentación S-Scan

2.13 VENTAJAS DEL ULTRASONIDO CON ARREGLO DE FASES EN RELACIÓN CON EL ULTRASONIDO CONVENCIONAL

En Ultrasonido convencional, para la inspección de un material se cuenta con un solo elemento piezoeléctrico que genera un único haz ultrasónico, ya que se debe analizar todo el cordón de soldadura desde la raíz hasta la capa, se tiene que mover el transductor realizando un barrido de desplazamiento en el material para lograr la completa inspección, tal como se observa en la figura 30:

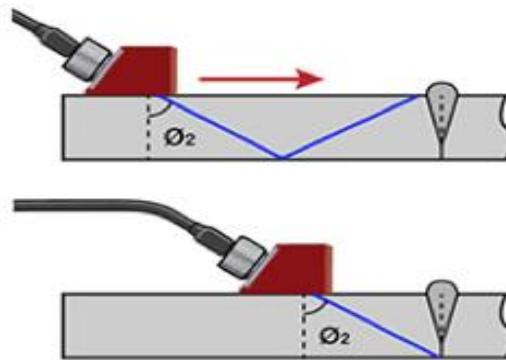


Figura 30 Desplazamiento del transductor en UT convencional

Fuente: (<http://www.olympus-ims.com>, 2012)

En cambio en el modo de Arreglo de Fases esto se elimina, ahorrando tiempo y siendo más versátil la inspección, debido a que el escaneo sectorial que se obtiene por los múltiples elementos que conforman el transductor para este tipo de modo ayuda a obtener un proceso más eficaz, preciso y confiable, al optar con un escaneo sectorizado (en la pantalla S-Scan) que permite encontrar la indicación en un rango bastante amplio, discriminarla con una ley focal específica y evaluarla rápidamente en la pantalla A-Scan su amplitud de eco encontrando los parámetro específicos.

Un ejemplo es utilizando un transductor de haz recto, el cual sin necesidad de moverse analiza toda un área del elemento inspeccionado, y lo presenta al instante en la pantalla S-Scan, tal como se muestra en la figura 31:

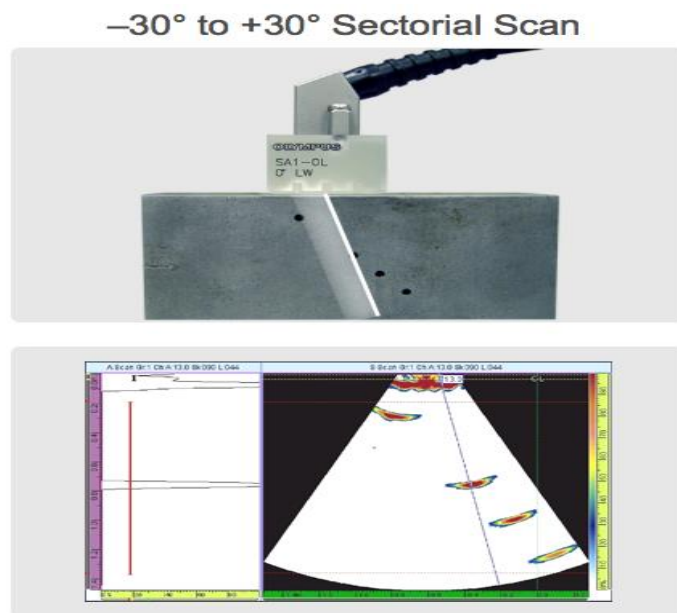


Figura 31 Inspección por Ultrasonido PA, con haz recto

Fuente: (<http://www.olympus-ims.com>, 2012)

Los beneficios de un Ultrasonido con el modo de Arreglo de Fases inciden en la capacidad de utilizar múltiples elementos para dirigir, enfocar y analizar elementos con un único transductor, obteniendo disminución de tiempo de inspección con un modo de escaneo más avanzado y preciso que un Ultrasonido convencional, y el aumento de la posibilidad de detección de

anomalías en un cordón de soldadura con múltiples ángulos utilizando un solo transductor, como lo demuestra en la figura 32:

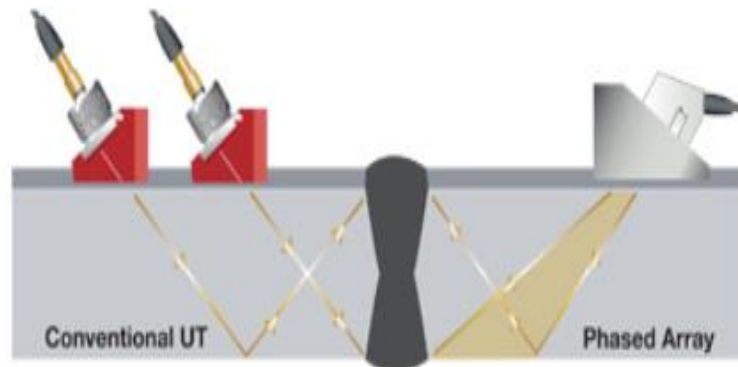


Figura 32 Diferencias entre Ultrasonido Convencional y Arreglo de Fases

Fuente: (<http://www.olympus-ims.com>, 2012)

Otra opción de bastante ayuda es la de tener una presentación de escaneo sectorial (S-Scan) en el equipo, función única del modo de Arreglo de Fases, la cual permite realizar un mapeo del elemento en ángulos apropiados. Esto puede simplificar en gran medida la inspección de componentes de geometría compleja.

También el Arreglo de Fases ayuda a que en sitios con acceso limitado, o de poca área para el barrido se pueda realizar el escaneo sin necesidad de mover el transductor al tener el escaneo sectorial.

2.14 MORFOLOGÍA DE LA DISCONTINUIDAD

Al inspeccionar un elemento con un transductor de incidencia angular la forma del eco que se presenta en la pantalla A-Scan del equipo de Ultrasonido, proporciona información de la morfología del tipo de discontinuidad encontrado, como ejemplo se tiene los siguientes casos:

a) El resultado de la inspección al tener una discontinuidad regular, es un eco que alcanza una altura total en pocos escalones, esto se observa en la figura 33:



Figura 33 Morfología de una indicación regular

b) Mientras que al tener una discontinuidad irregular normalmente la altura del eco suele ser gradual y más ancha, tal como se observa en la figura 34:



Figura 34 Morfología de una indicación irregular

c) Cuando se tiene dos o más discontinuidades la forma del eco es parecida al tener una discontinuidad irregular en una inspección, esto se observa en la figura 35:

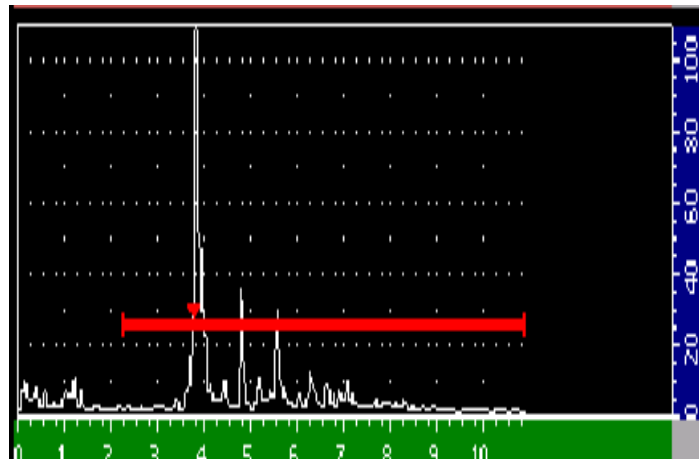


Figura 35 Morfología de dos o más indicaciones

Para la determinación de la orientación de la discontinuidad que se presenta por el haz ultrasónico, es fundamental realizar la inspección mediante tres ángulos distintos, esto se observa en la figura 36:

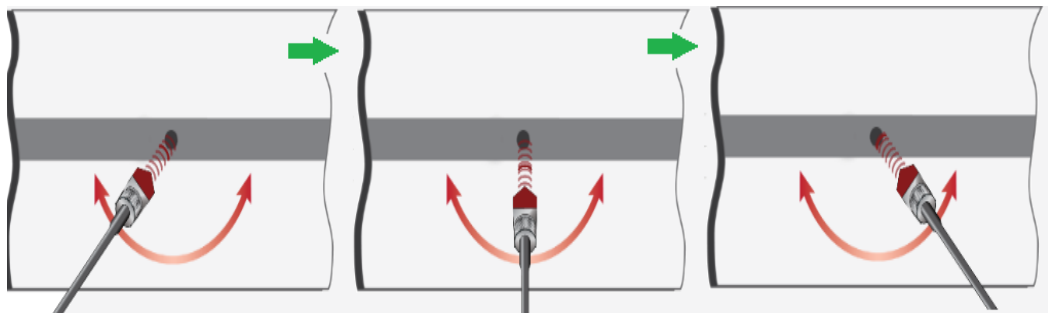


Figura 36 Inspección en ángulos distintos

Fuente: (<http://www.olympus-ims.com>, 2012)

CAPÍTULO 3.

NORMAS REFERENCIALES PARA ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS MEDIANTE MÉTODO ULTRASÓNICO PARA INSPECCIÓN DE UNIONES SOLDADAS A TOPE

Cuando se realiza una inspección por el método de Ensayos No Destructivos se tiene como objetivo principal el de demostrar y dejar constancia de que los materiales ensayados se encuentren exentos de defectos perjudiciales que afecten a la función para el cual han sido diseñados.

Para llevar a cabo una inspección satisfactoria, se consideran normas y códigos, que validen el trabajo realizado por parte de un operario, el cual determinará si el elemento inspeccionado es aprobado o a su vez rechazado.

3.1 NORMAS Y CÓDIGOS APLICABLES EN EL CONTROL DE CALIDAD DE UNIONES SOLDADAS A TOPE DE TUBERÍA

Para el desarrollo de los procedimientos en un Ensayo No Destructivo de Ultrasonido, utilizando tubería en aplicaciones de estación y proceso, se debe tomar en consideración el cumplimiento de Normas y Códigos que describen el uso correcto de este tipo de Ensayo No Destructivo, a continuación se citan las Normas y Códigos que influyen en el control de calidad de tuberías:

API 1104.- Instituto Americano del Petróleo (Norma para tuberías de transporte)

API 11.4.5.- Referencia de la Sensibilidad de la Norma API.

ASTM E164-97. - Standard Practice for Ultrasonic Contact Examination of Weldments.

ISO 2400.- Especificaciones para la calibración de bloques.

ASME B31.3.- Norma para tuberías de estación.

3.2 NORMA API 1104

El propósito de esta Norma es presentar métodos para la producción de soldaduras de alta calidad mediante el uso de:

- Soldadores calificados.
- Procedimientos de soldadura.
- Materiales y equipos aprobados.

Para el estudio y la realización de un manual de procedimientos, esta Norma da las pautas que incluyen el análisis de uniones soldadas a tope de tuberías de acero de baja aleación, utilizadas en la compresión, bombeo y transmisión de petróleo crudo, derivados del petróleo, gases combustibles, dióxidos de carbono, nitrógeno y en donde sea aplicable.

3.2.1 ALCANCE

Para el desarrollo del procedimiento, específicamente en Ultrasonido, la Norma Edición 2011 hace referencia de este Ensayo exclusivamente en las secciones 8, 9 y 11 de la misma.

La sección 8 trata sobre la Inspección y Ensayo de soldadura de Producción, la sección 9, se basa en Normas de Aceptación para Ensayos No Destructivos, mientras que en la sección 11 constan los Procedimientos para Ensayos No Destructivos.

3.2.2 RECOMENDACIONES DE LA NORMA EN LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE INSPECCIÓN EN UNIONES SOLDADAS A TOPE

Sección 8.- Inspección y Ensayo de Soldaduras de Producción

Sección 8.1.- Derecho de inspección

La norma recomienda que una inspección puede realizarse terminado el proceso de soldadura o durante el mismo.

Sección 8.2.- Método de inspección

El método de Ensayo No Destructivo a ser utilizado debe proporcionar indicaciones de defectos, los cuales pueden ser evaluados e interpretados con exactitud.

Sección 8.3.- Calificación de personal de inspección

El personal que va a ser encargado de la inspección de soldadura, tiene que ser calificado por entrenamiento y experiencia para la tarea específica que se va a realizar, cabe destacar que la entidad contratante debe estar conforme con la calificación.

Sección 8.4.- Certificación de personal de Ensayos no Destructivos**Sección 8.4.1 Procedimientos**

El personal nivel I, II o III de Ensayos No Destructivos deberá validar su rango mediante certificación, lo cual está especificado en la práctica No. SNT-TC-1A descrita en la sección 3.4 del presente proyecto, de la Sociedad Americana para Ensayos No Destructivos (ASNT).

Sección 9.- Normas de aceptación para Ensayos No Destructivos**Sección 9.1.- General**

Todo el inciso 9 es aplicado a imperfecciones localizadas por los métodos siguientes:

- Radiografiado,
- Partículas magnéticas,
- Líquidos penetrantes,
- Métodos de ultrasonido, e
- Inspección Visual.

Cabe destacar que la Norma recomienda que el Ensayo No Destructivo no debe usarse para seleccionar soldaduras que están sujetas a Ensayo Destructivo.

Sección 9.2.- Derechos de Rechazo

Los métodos de Ensayos No Destructivos se limitan a la información que resulta de las indicaciones producidas.

La entidad solicitante, si en su criterio dictamina que la profundidad de una imperfección pudiese ser perjudicial para la soldadura está en la potestad de rechazarla al verificar con estas normas de aceptación.

3.2.2.1 Criterios de aceptación-rechazo de acuerdo a la norma API 1104 para Ultrasonido

Sección 9.6.- Ensayo Ultrasonico

Sección 9.6.1.-Clasificación de indicaciones

La norma dice que las indicaciones producidas por el Ensayo de Ultrasonido no son necesariamente defectos.

Siendo una indicación un dato o señal que aporta información para su interpretación, por el método de ensayo por Ultrasonido, se tiene cuatro tipos de indicaciones:

- Indicaciones lineales.
- Indicaciones transversales.
- Indicaciones volumétricas.
- Indicaciones relevantes.

Indicaciones lineales son aquellas con una mayor dimensión en la dirección de la longitud de la soldadura. Son causadas por los siguientes tipos de imperfecciones: IP (Penetración inadecuada sin desalineación), IPD (Penetración inadecuada debido a desalineación), ICP (Penetración incompleta cruzada), IF (fusión incompleta), IFD (fusión incompleta debido a una pasada fría). ESI (Inclusión alargada de escoria), C (fisura), EU (socavado

adyacente a la pasada de cobertura), IU (socavado adyacente a la pasada de raíz) y HB (porosidad del cordón hueco).

Indicaciones transversales son las que tienen una mayor dimensión a través de la dirección de la soldadura. Las siguientes imperfecciones causan indicaciones transversales cuando se comienza o se detiene en los pasos de la soldadura: C (fisura), ISI (inclusión de escoria aislada) y IFD (fusión incompleta debido a una pasada fría).

Indicaciones volumétricas son indicaciones tridimensionales, causadas por inclusiones simples o múltiples, huecos, o poros. Los siguientes tipos de imperfecciones son causados por las indicaciones volumétricas: IC (concavidad interna), BT (quemadura), ISI (inclusión de escoria aislada), P (porosidad) y CP (conjunto de poros).

Hay que tomar en cuenta que las indicaciones lineales, transversales y volumétricas no se limitan solo a este tipo de imperfecciones.

Las indicaciones de tipo relevantes son causadas por imperfecciones. Las indicaciones relevantes se determinan por el inciso del nivel de evaluación y examen en las normas de aceptación para Ensayo Ultrasónico.

Se podrá además validar utilizando otros métodos de comprobación de Ensayos No Destructivos cuando existan dudas acerca del tipo de discontinuidad que se encontrare en una indicación.

Sección 9.6.2 Criterios de aceptación

Las indicaciones de fisuras determinadas se considerarán defectos.

Las fisuras y las LS (indicaciones en superficie lineal), interpretadas como abiertas a la superficie ID (diámetro interno) u OD (diámetro externo), deben ser consideradas defectos si existe una de las siguientes condiciones:

- a) La suma de indicaciones LS en una longitud continua de 12" (300mm) de soldadura excede 1" (25mm).
- b) La suma de indicaciones LS excede 8% de la longitud de la soldadura.

Las fisuras y las LB (indicaciones lineales internas), interpretadas como subsuperficiales dentro de la soldadura y no conectadas con la superficie ID u OD, deben ser consideradas defectos si existe una de las siguientes condiciones:

- a) La suma de indicaciones LB en una longitud continua de 12" (300mm) de soldadura excede 2" (50mm).
- b) La suma de indicaciones LB excede 8% de la longitud de la soldadura.

Las fisuras y las T (indicaciones transversales) deben ser consideradas volumétricas y a la vez evaluadas utilizando los criterios para indicaciones volumétricas. La letra T debe ser utilizada para designar todas las indicaciones transversales reportadas.

Las VC (indicaciones agrupadas volumétricas) deben considerarse defectos cuando la dimensión máxima de indicaciones de VC excede $\frac{1}{2}$ " (13mm).

Las VI (indicaciones individuales volumétricas) deben considerarse defectos cuando la dimensión máxima excede $\frac{1}{4}$ " (6mm), tanto en ancho como en longitud.

Las VR (indicaciones de raíz volumétricas) interpretadas como abiertas a la superficie ID deben considerarse defectos si existe una de las siguientes condiciones:

- a) La dimensión de indicaciones VR excede $\frac{1}{4}$ " (6mm).
- b) La longitud total de indicaciones VR excede $\frac{1}{2}$ " (13mm) en una longitud continua de 12" (300mm).

Cualquier acumulación de AR (indicaciones relevantes) debe ser considerada como defecto cuando existe una de las siguientes indicaciones:

- a) La suma de indicaciones sobre el nivel de evaluación excede 2" (50mm) en 12" (300mm) de longitud de la soldadura.
- b) La suma de indicaciones sobre el nivel de evaluación excede el 8% de la longitud total de la soldadura.

Sección 11.- Procedimientos para Ensayos No Destructivos**Sección 11.4.- Métodos de Ensayo Ultrasonico****Sección 11.4.1.- General**

Los requerimientos de este inciso son aplicables cuando la entidad solicitante especifique Ensayo Ultrasonico para la inspección de soldadura circunferencial a tope nueva y/o en servicio. Se establecerá y registrará un detalle del procedimiento para la técnica de Ultrasonido individual. El uso y el alcance del ensayo de ultrasonido serán a opción de la entidad solicitante.

Se recomienda precaución cuando se aplique este método a una soldadura en servicio debido al material base e imperfecciones de la superficie que pueden interferir con el uso de la técnica de Ultrasonido.

Un punto fundamental que determina la norma API 1104 es, que toda superficie examinada por Ultrasonido deberá ser efectuada cumpliendo la condición de estar sin recubrimiento. Para nuevos proyectos de construcción, la longitud de la tubería descubierta será especificada con anterioridad antes de que la misma sea revestida, a fin de que la tubería cumpla con los requisitos para ser examinada con Ultrasonido. En relación a las costuras de la tubería, estas deben estar parejas y limpias, a una distancia necesaria para el examen por ensayo UT.

Sección 11.4.2.- Detalles del Procedimiento**Sección 11.4.2.1.- General**

Mediante normativa se debe obligatoriamente registrar los detalles de cada procedimiento por Ultrasonido, teniendo que entregar una copia del registro a la entidad solicitante para su archivo. Como mínimo, cada procedimiento basado en esta norma incluirá los detalles aplicables listados a continuación en el inciso 11.4.2.2.

Sección 11.4.2.2.- Procedimiento Ultrasónico

Como mínimo el procedimiento para ensayo Ultrasónico de soldaduras deberá incluir los siguientes datos específicos:

- a) Tipo de soldadura a ensayar, dimensiones de preparación de la junta y procesos de la soldadura.
- b) Tipo de material.
- c) Análisis o preparación del escaneo superficial.
- d) Etapa en la que el examen se va a realizar.
- e) Instrumento o sistema ultrasónico y transductores.
- f) Automático o manual.
- g) Acoplante.
- h) Técnica de ensayo:
 - 1. Ángulos.
 - 2. Frecuencia.
 - 3. Temperaturas y rangos.
 - 4. Barridos y velocidades.
 - 5. Datos de referencia y marcas de ubicación.
- i) Normas de referencia.- Esquema de detalle de vista en planta y vista de la sección transversal de la dimensión del bloque de referencia y todos los reflectores de referencia.
- j) Requerimientos de calibración.- La calibración es requerida previa la inspección de la soldadura, la que incluye los bloques de calibración a usarse, los reflectores de sensibilidad referenciales, el ajuste del nivel de sensibilidad (DAC o TCG) y los intervalos de verificación del ajuste de calibración.
- k) Nivel de escaneo.- El ajuste de la sensibilidad en decibeles (dB), se adhiere a la sensibilidad de referencia del escaneo.
- l) Nivel de evaluación.- Dictamina si la altura de los ecos detectados durante la examinación es más amplia a la que se requiere, de ser así, en la calibración se realizará el ajuste de la sensibilidad antes de evaluar los criterios de aceptación o rechazo.
- m) Registro de resultados.

n) Reporte del examen ultrasónico.

Sección 11.4.3.- Requisitos del personal de Ensayos de Ultrasonido

Un nivel III de Ensayos No Destructivos en el método de Ultrasonido, deberá desarrollar la técnica de aplicación y también debe encargarse de preparar y aprobar el procedimiento de prueba.

El personal de ensayo de Ultrasonido, será el que ejecute los exámenes de acuerdo con los procedimientos calificados y aceptados; y será capaz de determinar los criterios de aceptación según lo listado en el inciso 9.6.

Sección 11.4.4.- Calificación del Procedimiento de Ensayo

Antes de la aprobación final del procedimiento, la entidad solicitará al contratista demostrar la aplicación del ensayo de Ultrasonido y del procedimiento.

Se generará un informe de calificación del procedimiento y también de los resultados documentados antes de su uso en las soldaduras de campo existentes. Para lo cual el proceso de calificación será el siguiente:

- a) Soldaduras (mínimo 2 por procedimiento de soldadura) que contengan defectos e imperfecciones aceptables, serán preparadas por producción con probetas de la tubería, utilizando el procedimiento de soldadura aprobado. El soldador calificado realizará las probetas.
- b) Se realizarán radiografías a las soldaduras y los resultados se documentarán.
- c) Será aplicable el procedimiento de ultrasonido industrial con el detalle de los rangos de la temperatura; los resultados se documentarán y compararán con las radiografías señaladas en el punto b).
- d) Las diferencias (detectabilidad y resolución) del ultrasonido y las placas radiográficas serán documentados.

Si la entidad requiere realizar un ensayo destructivo para confirmar los resultados obtenidos mediante ultrasonido esto se realiza en la probeta de la tubería.

- e) El uso del procedimiento de ultrasonido industrial en producción de soldaduras, debe basarse en la capacidad de implementar métodos/técnicas/ensayos de ultrasonido para: 1) indicaciones circunferenciales 2) tamaño por longitud 3) determinar la profundidad respecto a la superficie del diámetro exterior e 4) indicaciones axiales consideradas como imperfecciones o defectos en pruebas; adicionalmente el procedimiento debe precisar la determinación y aceptabilidad de las soldaduras de acuerdo con los criterios mencionados en 9.6 y 11.4.7.

Sección 11.4.5 Estándar de Referencia de Sensibilidad API

La sensibilidad del ensayo de Ultrasonido manual se fundamenta en dos o tres puntos de nivel de referencia, los cuales pueden ser para calibrar mediante curva de corrección de amplitud de distancia (DAC) o para calibrar mediante curva de corrección de amplitud en ganancia (TCG), las cuales se derivan para una entalla tipo N10 realizada en la muestra de la tubería a examinar.

En la figura 37 se establece como deben ir los entalles y dimensiones para la probeta de tubería, o mejor llamada bloque de referencia.

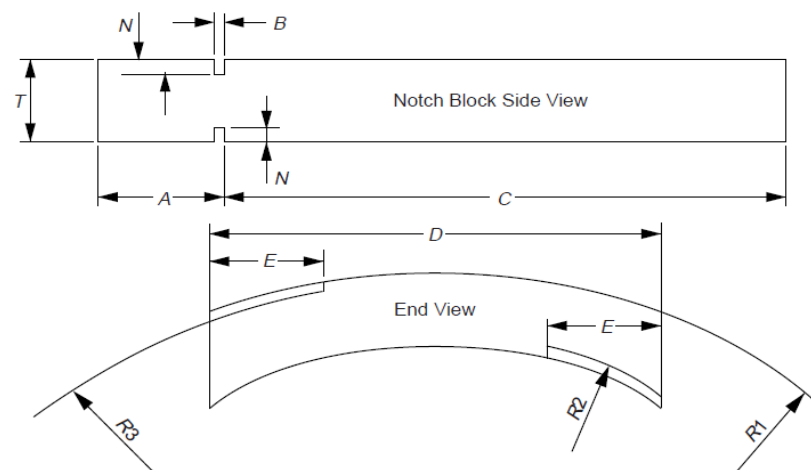


Figura 37 Bloque de Referencia para UT manual

Fuente: (Norma API 1104, 2011)

Dimensiones:

T: Espesor nominal de la tubería

N: Profundidad de la entalla

A: Mínima longitud (50mm)

B: Máximo espesor de la entalla

C: Mínima longitud $11.35 T + 2$

D: Ancho mínimo de la probeta

E: Longitud mínima de la entalla

R1: Diámetro externo de la tubería

R2: Radio de la entalla interior= $R1 - 0.9 T$

R3: Radio de la entalla exterior = $R1 - 0.10T$

El punto más alto del DAC o del TCG no deberá ser menor que 80% de la altura de la pantalla, esto se realiza en los puntos A y B del bloque de referencia de la figura 38:

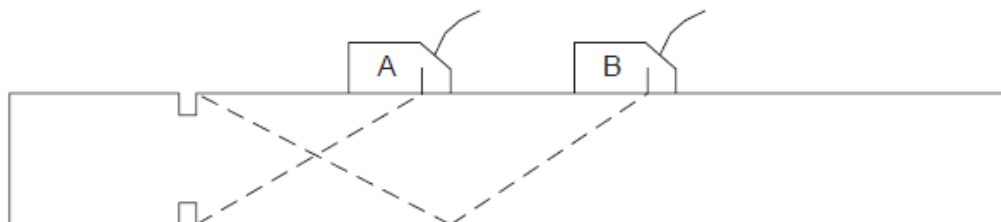


Figura 38 Establecimiento de distancia, ángulo de refracción, y velocidad

Fuente: (Norma API 1104, 2011)

La Norma de referencia se usará también para determinar el camino sónico, velocidad, ángulo de refracción y la medida del camino sónico en el material de la tubería nominal a ser inspeccionado.

Cuando no se conoce la velocidad ni el ángulo de refracción estos deberán determinarse cuando la soldadura en la tubería sea de diferente especificación química, espesor de pared o diámetro.

Para el ensayo de ultrasonido automatizado y cuando sea requerido por la entidad solicitante para el ensayo ultrasónico manual, se mecanizarán agujeros de fondo plano en una muestra de la tubería que va a ser inspeccionada, como se mostró en la figura 37, se deberá utilizar como reflectores de calibración en adición a las entallas N10 en las superficies internas y externas. La norma define que los diámetros de cada agujero del fondo plano deberán ser aproximadamente iguales al espesor de la pasada de relleno de soldadura.

Para ensayos en otras nuevas construcciones, una muestra de la tubería del mismo grado, espesor de pared y diámetro de la tubería a inspeccionar se utilizará para hacer el patrón de referencia.

Sección 11.4.7 Nivel de Evaluación y Escaneo

Sección 11.4.7.1 Ensayo Ultrasónico del Material Base

El ensayo de la onda de compresión manual del material base, deberá ser ejecutado con una segunda onda del patrón de referencia ajustado por lo menos al 80% de altura total de la pantalla.

Sección 11.4.7.2 Ensayo de Soldadura por Ultrasonido manual

El ensayo de soldadura por Ultrasonido Manual debe se realiza por el escaneo de la sensibilidad del DAC/TCG más una sensibilidad de referencia mínima de 6 dB. Toda indicación que exceda el 50% de la DAC/TCG en altura de la compuerta debe ser evaluada.

La evaluación de sensibilidad por Ultrasonido Manual en el ensayo de soldadura debe tener la sensibilidad de referencia DAC/TCG más 6dB, con un nivel de evaluación para todas las indicaciones con 50% en la altura de la pantalla del DAC/TCG.

Luego de la sensibilidad de referencia, la sensibilidad del examen y niveles que se han establecido serán calificados y se incorporarán en el procedimiento final y en el reporte final de calificación.

Sección 11.4.8 Ensayo de Ultrasonido en Producción

Los técnicos en Ultrasonido deberán reportar a la entidad todo defecto, a menos que la misma requiera que todas las indicaciones observadas (nivel de evaluación) sean reportadas. La entidad será la que determine la disposición final de la soldadura.

Sección 11.4.9 Identificación de las Indicaciones reportadas

El reporte de Ensayo por Ultrasonido de las soldaduras inspeccionadas deberá incluir por normativa el número de soldadura, datos de ubicación, longitud, profundidad superficial del O.D. y la clasificación del defecto (lineal, transversal o volumétrico) de todas las indicaciones reportadas.

3.3 CÓDIGO ASME B31.3

Esta sección trata sobre el código de la Sociedad Americana de ingenieros Mecánicos, el cual da las pautas para el diseño, construcción, inspección y pruebas en recipientes sujetos a presión, y específicamente para tuberías de presión utilizadas para proceso en refinerías.

El estudio de este código sirve para obtener las bases necesarias para una aplicación apropiada, segura y económica de los lineamientos y requisitos establecidos para tuberías de proceso.

El uso del código no elimina la necesidad de un diseñador para la construcción, diseño y fabricación de equipos y tubería a presión, o del juicio de ingeniería competente para el personal que va a realizar la inspección o el control de calidad de las tuberías mediante este código.

El código incluye lo siguiente:

- a) Referencias a especificaciones de materiales aceptables y componentes estándar, incluidos requisitos dimensionales y clasificaciones de presión - temperatura.
- b) Requisitos para el diseño de componentes y ensamblajes, incluidos soportes de tubería.
- c) Requisitos y datos para la evaluación y limitación de esfuerzos, reacciones y movimientos asociados con la presión, los cambios de temperatura y otras fuerzas.
- d) Orientación y limitaciones para la selección y aplicación de materiales, componentes y métodos de unión.
- e) Requisitos para la fabricación, el ensamblaje y el montaje de tuberías.
- f) Requisitos para exámenes, inspecciones y pruebas de tubería.

Algo importante y que se debe tener en cuenta es que el código B31.3 no debe ser aplicado en forma retroactiva, teniendo que utilizarse la última edición publicada al menos seis meses antes de la fecha del contrato original y que cubra la primera fase de actividad de la instalación de la tubería, siendo esto normativa reguladora para el diseño, selección de materiales, fabricación, montaje, exámenes y pruebas de tubería, teniendo que aplicarse ésta hasta la finalización del trabajo y el inicio de la operación.

El código cambia continuamente para mantenerse actualizado con los desarrollos de materiales y tecnologías nuevas, sin afectar en parte a los procedimientos ya establecidos.

3.3.1 ALCANCE

Las reglas que están dictaminadas en este código son únicamente para tuberías de proceso desarrolladas, considerando solo las tuberías utilizadas en refinerías de petróleo, para este proyecto de grado.

3.3.2 RESPONSABILIDAD

El inspector es el responsable de asegurar que los requisitos del código para la inspección, examen y prueba hayan sido cumplidos. Si la entidad solicitante especifica el empleo de un Sistema de Calidad determinado, el inspector es el responsable de verificar que este se implemente.

3.3.3 OBJETIVOS DEL CÓDIGO EN BASE A LA INSPECCIÓN

De manera opcional, los criterios establecidos en este código se pueden aplicar para los propósitos de operación, examinación, inspección, pruebas, mantenimiento o reparación de tuberías que hayan sido puestas en servicio.

3.3.4 DETERMINACIÓN DE LOS REQUISITOS DEL CÓDIGO

Este código tiene una parte denominada “Código Básico” el cual consta en los Capítulos I al VI, donde se encuentran requisitos explícitamente determinados para tuberías metálicas, las cuales no se encuentran incluidas en la categoría M, tampoco en el servicio de fluidos de alta presión o de alta pureza.

Al estar incluida en estos capítulos la sección: Inspección, Examen y Prueba, se debe basar en estos criterios para el análisis e inspección de tuberías que son utilizadas para transporte de petróleo.

3.3.5 EXCLUSIONES

Como en todo código, existen exclusiones, por lo cual, la B31.3 excluye para la inspección de las uniones soldadas lo siguiente:

- a) Sistemas de tuberías diseñados para presiones manométricas internas, mayores o iguales a cero, pero menores a 105 Kpa (15 psi), se aplica esto siempre y cuando el fluido manejado no es inflamable ni tóxico, y cuya temperatura de diseño se encuentre entre -29 °C (-70 °F) y 186°C (366 °F).
- b) Recipientes a presión, intercambiadores de calor, bombas, compresores y otros equipos para manejo o procesamiento de fluidos.

3.3.6 CAPITULO VI: INSPECCIÓN, EXÁMEN Y PRUEBA

Párrafo 340: Inspección

Cabe destacar que el código hace diferencia entre la Inspección y Examen. Para lo cual describe que la Inspección se aplica a funciones realizadas por el inspector contratado por el propietario.

La responsabilidad de la Inspección recae en el propietario, pero es ejercida a través del Inspector contratado por el mismo, este Inspector debe verificar que todos los exámenes y las pruebas requeridas se hayan completado y también que se hayan inspeccionado las tuberías en la extensión necesaria para corroborar que todos los exámenes estén en conformidad con los requisitos aplicables que solicita el Código B31.3 y el diseño de Ingeniería.

Párrafo 340.4: Calificaciones del Inspector contratado por el Propietario

Como requerimientos que pide el código con respecto a la calificación del inspector que va a realizar el examen, están que el Inspector estará asignado por el propietario; la función de inspector será ejercida por:

- El propietario
- Un empleado del propietario
- Un empleado de una organización científica o de ingeniería.
- Una compañía de Inspección que se desempeñe como agente del propietario.

El inspector, cualquiera de los anteriormente enunciados, no será un empleado del fabricante o constructor de la tubería, ni representará a la misma.

Al delegar una inspección, el Inspector contratado por el propietario es el responsable del funcionamiento de ésta y también es el responsable de determinar que la persona a quien se le ha delegado la función de inspección esté calificada para realizar esta función.

Párrafo 341: Examen

El Código B31.3 hace referencia al término “examinador” a la persona que realiza exámenes de Control de Calidad, en este caso, para tuberías utilizadas en procesos petrolíferos.

El examen se aplicará a la función del Control de Calidad por el fabricante (solo de componentes), ensamblador o instalador, siendo también requerido por los mismos si fuera el caso, como se mencionó en “Calificaciones del Inspector del Propietario”.

Cabe destacar que la Inspección no exime de responsabilidades al fabricante, al ensamblador o al instalador de lo siguiente:

- a) Proveer materiales, componentes y mano de obra de acuerdo con los requisitos que pide el Código B31.3.
- b) Realizar todos los exámenes requeridos.
- c) Preparar registros adecuados de exámenes y pruebas para uso del Inspector.

Párrafo 341.3.2: Criterio de aceptación

Para el examen, además de lo indicado en el “Alcance para Inspección en uniones soldadas para tubería en procesos petrolíferos”, el criterio de aceptación será aquel definido en el diseño de ingeniería, y cumplirá por lo menos con los requisitos estipulados en los “Criterios de aceptación por el método de examinación con Ultrasonido”.

Un elemento con uno o más defectos (imperfecciones de un tipo o magnitud que excede el criterio de aceptación de este Código) deberá repararse o reemplazarse, y el nuevo trabajo deberá volver a examinarse usando los mismos métodos, en la misma magnitud y por el mismo criterio de aceptación exigidos para el trabajo original.

Párrafo 341.4: Extensión del Examen requerido

Para un sistema de tuberías en servicio de fluidos normal este será examinado en la extensión especificada en este punto. Se tomará en cuenta los criterios de aceptación, a menos que se indique lo contrario, teniendo que cumplir lo siguiente:

a) Examen Visual.- Como mínimo se examinará:

- Materiales y componentes, seleccionados al azar, para demostrar al examinador que estos cumplen con las especificaciones y están libres de defectos.
- Por lo menos el 5% de la fabricación. Para juntas soldadas, el trabajo de soldadura de cada soldador y operador de soldadura estará representado dentro de este porcentaje.
- Cien por ciento de fabricación de las soldaduras longitudinales.

b) Otros Exámenes

En este literal se presenta los requerimientos para la verificación de una extensión dada para el examen requerido, dependiendo del Ensayo no Destructivo a utilizar.

Para lo cual, para los END, exceptuando el Examen Visual se tiene que cumplir los siguientes requerimientos:

a) No menos del 5% de las soldaduras en ranuras circunferenciales se examinarán completamente por medio de radiografía al azar o por exámenes de ultrasonido al azar de acuerdo con el párrafo 344.6. Las soldaduras a examinarse se seleccionarán para asegurar que se incluya el trabajo realizado por cada soldador u operador de soldadura. Cuando se examine una soldadura circunferencial en la intersección con una soldadura longitudinal,

cada soldadura de la intersección se examinará en al menos 38mm (3/2") adyacentes. El examen durante la fabricación puede sustituirse en su totalidad o en parte por el examen radiográfico o ultrasónico para cada soldadura en particular, si así está especificado en el diseño de ingeniería o está específicamente autorizado por el Inspector.

b) No menos del 5% de todas las juntas soldadas con "brazing" deberán examinarse por examen durante la fabricación, las juntas que van a examinarse se seleccionarán para asegurar que se incluya el trabajo de cada soldador con "brazing" que haya participado en la producción.

c) Certificación y registros. El examinador se asegurará, por medio de certificaciones de examen, de registros y otras evidencias, que los materiales y componentes sean de los grados especificados y que se hayan sometido al tratamiento térmico, a los exámenes y las pruebas requeridos. El examinador deberá entregarle al inspector las certificaciones de que todos los requisitos de control de calidad del Código y del diseño de ingeniería se hayan realizado.

Párrafo 342: Personal de Examen

Dentro de la calificación y certificación del personal que examinará las uniones soldadas, determina que los Examinadores deberán tener entrenamiento y experiencia, conforme con las necesidades de los exámenes especificados, para este propósito recomienda el código que se rija en la práctica para Calificación y Certificación de personal de Ensayos No Destructivos SNT-TC-1A. El empleador deberá certificar los registros de los examinadores, donde se indiquen fechas y resultados de las calificaciones del personal, y deberá mantenerlos y ponerlos a disposición del Inspector.

Párrafo 343: Procedimientos de Examen

En relación al procedimiento, se indica que cualquier examen deberá realizarse de acuerdo con un procedimiento por escrito que esté conforme a uno de los métodos especificados en el párrafo 344. Los procedimientos estarán redactados según lo exija el Código BPV (Boiler and Pressure Vessel), Sección V, Artículo 1, T-150. El empleador deberá certificar los

registros de los procedimientos de examen empleados, donde se indiquen fechas y resultados de calificaciones de procedimientos, y deberán mantenerlos y ponerlos a disposición del Inspector.

Párrafo 344: Tipos de Examen

El código es bastante directo en este punto, determinando que cualquier examen exigido por este, por el diseño de ingeniería o por el inspector se debe realizar de acuerdo con alguno de los métodos especificados en esta sección, para lo cual se va a enfocar en este proyecto de grado al Examen por Método Ultrasónico.

Párrafo 344.6: Examen Ultrasónico

Este es el examen, en el cual está basado este proyecto de grado. El examen ultrasónico va a especificar el Método que se debe seguir y sus criterios de aceptación establecidos por el Código ASME B31.3.

Párrafo 344.6.1: Método

El examen de soldaduras por Ultrasonido deberá realizarse en conformidad con el Código BPV, Sección V, Artículo 4, excepto que la alternativa especificada en el literal a). Y a continuación, están permitidos los bloques de calibración básica especificados en T-434.2.1 y T-434.3 del mismo código.

a) Cuando los bloques básicos de calibración no han recibido tratamiento térmico en conformidad con T-434.1.5, se usarán los métodos de transferencia para correlacionar las respuestas de bloques de calibración básica y el componente. La transferencia se logra determinando la diferencia entre las respuestas recibidas desde el mismo reflector de referencia en su bloque de calibración básica.

b) El reflector de referencia puede ser un entalle en forma de V (el cual deberá eliminarse posteriormente), un transductor angular que actúa como reflector, o cualquier otro reflector que ayude a lograr la transferencia.

c) Cuando se selecciona el método de transferencia como una alternativa, este se deberá usar, como mínimo:

1.- Para tamaños menores o iguales a DN 50 (NPS 2), una vez en cada 10 juntas soldadas a examinar.

2.- Para tamaños mayores a DN 50 y menores o iguales a DN 450 (NPS 18), una vez en cada 1,5 m (5 pies) de soldadura a examinar.

3.- Para tamaños mayores a DN 450, una vez por cada junta soldada a examinar.

d) Cada tipo de material, cada tamaño y espesor de pared deberán considerarse de forma individual al aplicar el método de transferencia. Adicionalmente, el método de transferencia deberá usarse por lo menos dos veces en cada tipo de junta soldada.

e) El nivel de referencia para monitorear discontinuidades deberá modificarse para reflejar la corrección de transferencia cuando se usa el método de transferencia.

3.3.6.1 Criterios de aceptación de acuerdo al Código B31.3

Párrafo 344.6.2: Criterio de aceptación

Una discontinuidad tipo lineal es inaceptable si el intervalo de la indicación excede el nivel de la referencia y su longitud excede:

a) 6 mm (1/4 in.) para $T_w \leq 19$ mm (3/4 in.).

b) $T_w/3$ para $19\text{mm} < T_w \leq 57\text{mm}$ (2 1/2 in.).

c) 19mm para $T_w > 57\text{mm}$.

Párrafo 345: Prueba

Previo a la operación inicial y después de completar los exámenes aplicables requeridos en el párrafo 341, cada sistema de tuberías debe

examinarse para asegurar su hermeticidad. La comprobación consistirá en una prueba hidrostática de fugas, o también puede ser una prueba de fugas neumática, o una prueba de fugas hidrostática-neumática.

3.4 PRÁCTICA No. SNT-TC-1A PARA CALIFICACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE PERSONAL EN ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

De acuerdo a la Norma API 1104 y Código ASME B31.3, estas recomiendan que para la calificación y certificación de personal se basen en esta práctica, ya que esta aplica el método de ensayo por Ultrasonido.

3.4.1 ALCANCE

La práctica se ha creado con el fin de establecer lineamientos para la calificación y certificación de personal en Ensayos No Destructivos, estos lineamientos se fundamentan en lo establecido por la Sociedad Americana de Ensayos No Destructivos (ASNT), con el objetivo de identificar factores primordiales que deben ser tomados en cuenta para la calificación del personal en los diferentes métodos de END.

3.4.2 NIVELES DE CALIFICACIÓN.

Se tiene tres niveles básicos de calificación, los cuales son:

a) Nivel I en Ensayos No Destructivos.- Es aquel individuo que está calificado para: realizar calibraciones específicas adecuadas del equipo con el que se va a desarrollar el ensayo, realizar END específicos y evaluaciones específicas. Debe estar capacitado para realizar un registro de resultados de los exámenes y evaluaciones.

b) Nivel II en Ensayos No Destructivos.- Aquel que es calificado para efectuar el ajuste y calibración del equipo con el que se va a realizar el ensayo, también está en la capacidad de interpretar y evaluar resultados con respecto a Normas, Códigos y especificaciones, siendo capaz de organizar y emitir reportes de los resultados logrados en las inspecciones. Es también responsable de las actividades de análisis e interpretación de resultados.

c) Nivel III en Ensayos No Destructivos.- Es aquel individuo capaz de desarrollar, calificar y aprobar procedimientos; interpretar códigos, normas, especificaciones y procedimientos de inspección; establecer y aprobar técnicas; designar el método de Ensayo No Destructivo particular, las técnicas y procedimientos que deberían ser utilizados para una correcta examinación en el elemento a ser inspeccionado. El nivel III es el responsable directo de las operaciones completas de los END, en los cuales está calificado y asignado, y está en capacidad de interpretar y evaluar los resultados obtenidos en base a códigos, normas y especificaciones aplicables. El nivel III debe estar familiarizado con otros métodos de END apropiados en los cuales no está calificado.

3.4.3 PRÁCTICA ESCRITA

La práctica SNT-TC-1A establece los siguientes puntos para la práctica escrita:

- a) La entidad solicitante es la encargada de establecer una práctica escrita, la cual va a ser utilizada para el control del entrenamiento, examen y certificación del personal de Ensayos No Destructivos.
- b) La práctica escrita, mencionada en el literal a) como mínimo debe describir la responsabilidad de cada nivel de certificación para determinar la aceptación de componentes o materiales de acuerdo con especificaciones y procedimientos aplicables.
- c) La práctica del literal a) debe describir los requisitos de examen, entrenamiento y experiencia para cada nivel de certificación.
- d) También debe ser revisada y aprobada por el Nivel III en Ensayos No Destructivos de la entidad solicitante.
- e) Y como último, la práctica escrita debe mantenerse en un archivo.

3.4.4 REQUISITOS DE EDUCACIÓN, ENTRENAMIENTO Y EXPERIENCIA PARA LA CALIFICACIÓN INICIAL

Existen requisitos para los tres niveles de certificación existentes, los cuales se mencionan a continuación:

- a) Los aspirantes a una certificación en Ensayos No Destructivos deben tener una educación, entrenamiento y experiencia que aseguren la calificación en aquellos métodos de Ensayos no Destructivos en los cuales están siendo considerados para la certificación.
- b) La experiencia y/o el entrenamiento documentado ganados en actividades comparables a aquellas de Niveles I, II y/o III, antes del establecimiento de la práctica escrita de la entidad solicitante pueden ser considerados para satisfacer el criterio del literal c).
- c) Para ser considerado para la certificación, un candidato debe satisfacer uno de los siguientes criterios para el nivel de Ensayos No Destructivos aplicable:

- 1) Niveles I y Niveles II, en Ensayos No Destructivos

Para estos niveles existe un listado de factores recomendados de entrenamiento y experiencia a ser considerados por el empleador en el establecimiento de la práctica escrita para la calificación inicial de individuos Nivel I y Nivel II enlistados en la Tabla 5.

- 2) Niveles III en Ensayos No Destructivos

Los factores recomendados de experiencia y entrenamiento para niveles III a ser considerados por la entidad solicitante en el establecimiento de la práctica escrita para la calificación inicial de individuos Nivel III están descritos en las notas de la tabla 5.

Los requerimientos citados por la práctica para un aspirante para Nivel III son:

- 2.1) Haberse graduado en una universidad, con un grado de licenciatura en Ciencias o Ingeniería, más un año

adicional de experiencia, que va más allá de los requisitos para Nivel II en Ensayos No Destructivos, en una asignación comparable a la de un Nivel II en Ensayos No Destructivos en los métodos aplicables, o:

- 2.2) Haber completado satisfactoriamente con grado de pasante al menos dos años en licenciatura o ingeniería, estudiando en una universidad, adicionalmente dos años de experiencia más allá de los requisitos para Nivel II en Ensayos No Destructivos en una asignación al menos comparable a la de un Nivel II en Ensayos No Destructivos en los métodos aplicables, o:
- 2.3) Tener cuatro años de experiencia más allá de los requisitos para Nivel II en Ensayos No Destructivos en una asignación al menos comparable a la de un Nivel II en Ensayos No Destructivos en los métodos aplicables.

Para aspirar a un Nivel III hay la posibilidad de que estos requisitos señalados sean parcialmente reemplazados por la experiencia como un Nivel II certificado en Ensayos No Destructivos, o por asignaciones al menos comparables a las del Nivel II en Ensayos No Destructivos, como se ha definido en la práctica escrita de la entidad solicitante.

Tabla 5

Niveles recomendados de entrenamiento inicial y experiencia

Método de Inspección	Nivel	Graduado de Bachillerato o Equivalente	Al menos 2 años terminados con grado de pasante, en Ingeniería o estudios en Ciencias en una Universidad	Experiencia mínima requerida en el método. (horas)	Tiempo permitido de entrenamiento (para obtener experiencia requerida de trabajo en el método) (meses)
Ultrasonido	I	40	30	210	1.5-9
	II	40	40	840	4.5-27

Fuente: (Práctica SNT-TC-1A, 2006)

Notas:

- 1) Para la certificación de Nivel II, la experiencia debe consistir del tiempo para Nivel I o equivalente. Si una persona está siendo calificada directamente a Nivel II sin contar con tiempo de experiencia como Nivel I, la experiencia requerida debe consistir en la suma de los tiempos requeridos para Nivel I y Nivel II, y el tiempo requerido de entrenamiento debe consistir en la suma de las horas requeridas para Nivel I y Nivel II.
- 2) Para la certificación del Nivel III, la experiencia requerida debe consistir en la suma de los tiempos requeridos para el Nivel I y Nivel II, y los requisitos adicionales que están escritos en la sección 3.3.4, literal c), parte 2. El tiempo requerido para el entrenamiento formal debe consistir del entrenamiento para Nivel I y Nivel II, más cualquier entrenamiento formal adicional como esté definido en la práctica escrita del empleador.
- 3) El entrenamiento considerado en horas puede ser ajustado como se describa en la práctica escrita del empleador dependiendo del nivel de educación actual del candidato, por ejemplo, primaria, graduado en un colegio de ingeniería, etc.
- 4) Los lineamientos del entrenamiento deben encontrarse en la práctica escrita del empleador.

3.4.5 CERTIFICACIÓN

- a) La certificación del personal en cualquiera de los Niveles de Ensayos No Destructivos es responsabilidad de la entidad solicitante.
- b) La certificación del personal de Ensayos No Destructivos debe estar basada en la demostración de la calificación satisfactoria.
- c) A opción de la entidad solicitante, una agencia externa puede ser la calificada para proveer los servicios de un Nivel III en Ensayos No Destructivos. Para esto, la responsabilidad de la certificación de los empleados debe ser realizada por la entidad.
- d) Los registros de certificación del personal deben mantenerse archivados por la entidad solicitante, durante el tiempo especificado en la práctica escrita de la entidad, deben incluir lo siguiente:
 - 1) Nombre de la persona que se certifica.
 - 2) Nivel de la certificación y el método de END.

- 3) Grado de educación y el tiempo de experiencia de la persona certificada.
- 4) La declaración indicando el cumplimiento satisfactorio del entrenamiento, de acuerdo con los requisitos de la práctica escrita de la entidad solicitante.
- 5) Los resultados de los exámenes de la vista para el periodo de certificación vigente.
- 6) Evidencia de haber cumplido con los exámenes satisfactoriamente.
- 7) Calificación compuesta.
- 8) Firma del Nivel III que constató las calificaciones del aspirante para su certificación.
- 9) Fecha de certificación y/o recertificación, y la fecha de asignación para el END que se certificó.
- 10) Fecha en la que expira la certificación.
- 11) Firma de la autoridad certificadora de la entidad solicitante

CAPÍTULO 4.

INFORMACIÓN, FORMATO, EQUIPO Y PROBETAS PARA LA ELABORACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN CON ULTRASONIDO EN UNIONES SOLDADAS A TOPE

A continuación se detallan los lineamientos generales para la realización de un procedimiento de inspección para tubería aplicando el método de Ensayo No Destructivo por Ultrasonido con Arreglo de Fases. Este procedimiento cuenta con la Norma API 1104 y Código ASME B31.3, los cuáles dependiendo del tipo de inspección que se requiera se aplicará uno de ellos en los reportes e informes de inspección. Luego se describe el equipamiento que dispone el laboratorio de Ciencia de los Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” y el propósito que cumple cada uno de estos elementos que sirven para el Ensayo No Destructivo de Ultrasonido. Y finalmente los parámetros que se deben considerar para calibrar un equipo marca Olympus, modelo Epoch 1000i.

4.1 INFORMACIÓN DETALLADA PARA LA REALIZACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO GENERAL

El procedimiento de acuerdo con el cual se desarrolla el examen por Ultrasonido de las uniones soldadas y que deberá ser presentado por escrito, incluye como mínimo la siguiente información:

- a) Objetivo
- b) Alcance
- c) Medio acoplante
- d) Técnica de inspección

- e) Tipo de transductor
- f) Método de calibración
- g) Tipo y características de equipo de Ultrasonido
- h) Forma de realizar la toma de datos
- i) Calificación del personal que efectuará el examen

En la figura 39 se muestra un formato básico de un procedimiento de inspección por Ultrasonido:

	REFINERÍA DEL PACÍFICO ELOY ALFARO RDP CEM	
	ACUEDUCTO REPRESA LA ESPERANZA – REFINERÍA DEL PACÍFICO ELOY ALFARO	
	DOCUMENTO Nº: RDP-CO-0895-PL-PR-0016	
Rev. B	PROCEDIMIENTO DE ULTRASONIDO AUTOMATIZADO (AUT) EN SOLDADURAS CIRCUNFERENCIALES	Pág. 3 de 38

Contenido

1	OBJETIVO.....	5
2	ALCANCE.....	5
3	ABREVIATURAS.....	5
3.1	Abreviaturas.....	5
4	DOCUMENTOS DE REFERENCIA.....	5
5	TÉRMINOS Y DEFINICIONES.....	6
6	PERSONAL.....	8
7	RESPONSABILIDADES.....	8
7.1	Operador AUT.....	8
7.2	Operador De Escáner.....	8
7.3	Responsabilidades del NDT Nivel II - UT.....	9
7.4	Responsabilidades del NDT Nivel I - UT.....	9
7.5	Responsabilidades del ayudante NDT.....	9
8	PRINCIPIOS GENERALES DE INSPECCIÓN.....	9
9	DESCRIPCIÓN DE LA INSPECCIÓN AUT.....	10
9.1	Instrumentación Ultrasónica.....	10
9.1.1	Parámetros Globales.....	10
9.1.2	Parámetros del Umbral límite.....	10
9.1.3	General.....	10
9.1.4	Registro.....	11
9.2	Escáner Y Cable de conexión.....	11
9.3	Descripción Del Emulador.....	11
10	CONFIGURACIÓN DEL MONTAJE.....	12
10.1	Palpadores Utilizados Para La Inspección.....	12
10.2	POSICIÓN DE LOS PALPADORES EN EL MARCO.....	12
10.3	PARÁMETROS DEL PROGRAMA PipeWIZARD.....	12
11	BLOQUE DE CALIBRACIÓN.....	13
12	CALIBRACIÓN DE LOS COMPONENTES.....	13
13	CONFIGURACIÓN PARA INSPECCIÓN DE LAS COMPUERTAS.....	14

Figura 39 Formato básico de un procedimiento por Ultrasonido

Fuente: (<http://www.gopixpic.com>, 2006)

Cabe destacar que la información de la aplicación del procedimiento de acuerdo con el cual se realizará el examen de las uniones soldadas inspeccionadas, contendrá amplia información de cómo se desarrolló el trabajo, incluyendo si es necesario, planos o esquemas que permitan la localización de cualquier heterogeneidad que pueda presentarse.

4.2 FORMATO ESPECÍFICO PARA LA ELABORACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO MEDIANTE ULTRASONIDO POR ARREGLO DE FASES EN TUBERÍA

4.2.1 MEMBRETES

Al iniciar un procedimiento, se debe incluir membretes que identifiquen el origen y la validez del mismo, a continuación se muestran las características de cada uno de los membretes:

Membrete 1

El membrete 1 consta de 4 casilleros que pueden tener un orden como se muestra en la figura 40, los cuales se detallan a continuación. A la vez este tipo de membrete se incluye en todo el desarrollo del procedimiento como encabezado de página.

1	2	3
		4

Figura 40 Membrete de encabezado del procedimiento

Casillero 1.- En este casillero se ubica un logotipo de la institución a la que pertenece el procedimiento.

Casillero 2.- Aquí va el tipo de método de inspección que se va a realizar en el procedimiento, seguido del uso aplicativo.

Casillero 3.- Se ubica un código que sirve para el registro contable del procedimiento. En este mismo casillero se incluye el número de la revisión del mismo.

Casillero 4.- Se indica el número de página correspondiente, especificando también el total. Ejemplo: 1/10.

Membrete 2

El membrete 2, como se muestra en la figura 41 consta de 6 casilleros, los cuales se detallan a continuación. Este tipo de membrete solamente se lo incluye en la carátula del procedimiento al final de la página.

1	2	3
4	5	6

Figura 41 Membrete de firmas

Casillero 1.- En este se anota el nombre de la persona por quien fue elaborado el procedimiento descrito.

Casillero 2.- Se ubica el nombre de la persona por la que va a ser revisado el procedimiento.

Casillero 3.- Consta del nombre de la persona que aprobará el procedimiento.

Casillero 4.- En este casillero debe firmar la persona del casillero 1, y la fecha en la que se realizó el procedimiento.

Casillero 5.- En este casillero debe firmar la persona del casillero 2, y la fecha en la que se revisó el procedimiento.

Casillero 6.- En este casillero debe firmar la persona del casillero 3, y la fecha en la que se aprobó el procedimiento.

4.2.2 CARÁTULA

Aparte de los membretes, en la carátula se incluye el título, el cual describe para qué será utilizado el procedimiento, seguido de una tabla de contenido.

4.2.3 TABLA DE CONTENIDO DEL PROCEDIMIENTO

1. Objetivo

El objetivo debe ir encaminado a describir los requerimientos de trabajo y con qué tipo de Ensayo No Destructivo y modo de operación con los que se va a realizar el procedimiento.

2. Alcance

Dentro del alcance se incluye el total de requisitos máximos que permite el procedimiento.

3. Personal

En este ítem se describe al individuo autorizado según normativa para ejecutar el procedimiento en campo.

4. Normas y códigos de referencia

Se enlista la normas y códigos que se van a requerir para realizar un procedimiento específico.

5. Materiales y características dimensionales

Para realizar el trabajo de inspección se necesita saber con exactitud los parámetros dimensionales y constructivos del elemento a ser inspeccionado, al igual que el material del elemento a inspeccionar.

6. Geometría de la junta

En geometría de la junta se detalla el tipo de unión de soldadura en la cual se va a realizar la inspección.

7. Equipo de ultrasonido

En este ítem se describe el equipo a utilizar en la inspección.

8. Transductor y zapata

Se detalla con exactitud el tipo de transductor y zapata a utilizar.

9. Elemento acoplante

Dentro de este ítem va el tipo de compuesto que se utiliza en la inspección para evitar la interferencia del medio.

10. Técnica a ser usada

Dependiendo del trabajo a realizar, se especifica la técnica adecuada para el modo seleccionado, de acuerdo a la tabla 6, tomada del código ASME SECCIÓN V, artículo 1, para el desarrollo del procedimiento se toma en cuenta la técnica UTA, conjuntamente con las imperfecciones de soldadura.

Tabla 6

Imperfecciones vs tipos de métodos en END

	Superficial		Sub-S			Volumétricas			
	VT	PT	MT	ET	RT	UTA	UTS	AE	UTT
Imperfecciones en soldadura									
Quemón	●				●	●			○
Grietas	●	●	●	●	●	●	○	●	○
Refuerzo excesivo/inadecuado	●				●	●	○		
Inclusiones (escoria)			●	●	●	●	○	○	
Fusión incompleta	●		●	●	●	●	●	●	
Penetración incompleta	●	●	●	●	●	●	●	●	
Desalineación	●				●	●			
Traslape	●	●	●	○		○			
Porosidad	●	●	○		●	●	○	○	
Concavidad de raíz	●				●	●	○	○	○
Desbaste	●	●	●	○	●	●	○	○	

Leyenda: VT.- Inspección Visual UTA.- Inspección por Ultrasonido con haz angular
PT.- Inspección por Tintas Penetrantes UTS.- Inspección por Ultrasonido con haz recto
MT.- Inspección por Partículas Magnéticas AE.- Inspección por Emisiones Acústicas
ET.- Inspección por Electromagnetismo UTT.- Inspección por Ultrasonido para medición de espesores.
RT.- Inspección por Radiografiado

● Todos o la mayoría de las técnicas estándar detectarán esta imperfección bajo todas o la mayoría de condiciones

- Una o más técnicas estándar detectará esta imperfección bajo ciertas condiciones.
- Se requieren técnicas, condiciones y/o requisitos especiales de personal para detectar esta imperfección

Fuente: (Código B31.3, 2010)

11. Método de calibración

Dentro de la calibración requerida para cierto trabajo se determina qué tipo de transductor se utiliza y en qué posición se lo ocupa, también se especifica los parámetros de calibración dependiendo del equipo a utilizar, mencionando los bloques de calibración a utilizar.

12. Ajuste de sensibilidad

El ajuste de sensibilidad está en función de la Norma o Código a utilizar, misma que regirá el procedimiento de calibración.

13. Condición superficial

Existen condiciones básicas que se especifican en el Código B31.3, las cuales permiten tener las condiciones apropiadas de limpieza antes de realizar la inspección, dependiendo del tipo de ensayo a efectuarse.

14. Técnica de barrido

Para el método y modo utilizados, se define la técnica de barrido apropiada para la inspección, la cual se detalla en este ítem.

15. Demostración del método de ensayo

Basándose en las normas que se requieren en el diseño del procedimiento, estas pueden pedir demostraciones adicionales, que pueden requerirse, llamadas “liberación del equipo”, para lo cual en este ítem se incluyen estas para demostrar el método de ensayo seleccionado.

16. Criterio de registro e identificación

Para resultados de inspección se toma en cuenta ciertos criterios que serán los mandantes para la aceptación de las discontinuidades en el proceso del ensayo.

17. Criterios de aceptación de acuerdo a la norma API 1104

Aquí se detallan los criterios de aceptación-rechazo, que demanda la Norma API 1104 en END para el método de Ultrasonido.

18. Criterios de aceptación de acuerdo al código B31.3

Aquí se detallan los criterios de aceptación, que demanda el código B31.3 para el método de Ultrasonido.

19. Sistema de rastreabilidad

En este sistema se indica los tipos de visualizaciones de inspección que se deben incluir en el procedimiento para la correcta interpretación de resultados.

20. Reportes

En este ítem se detallan todos los resultados que se obtienen del ensayo, rigiéndose a los criterios de aceptación de acuerdo a la Norma API 1104 o Código Asme B31.3, dependiendo de los requerimientos de la entidad que solicita.

4.3 EQUIPAMIENTO PARA END POR ULTRASONIDO DEL LABORATORIO DE CIENCIA DE LOS MATERIALES

4.3.1 EQUIPO Y ACCESORIOS

a) Equipo Olympus Epoch 1000i

Es un equipo ultrasónico digital y portátil, detector de defectos. Combina el rendimiento de detección de defectos de los Ultrasonidos Convencionales con la eficacia de las presentaciones de Arreglo de Fases.

El equipo Olympus Epoch 1000i de la figura 42 se lo aplica en:

- Inspección general de soldaduras
- Detecciones y mediciones de grietas
- Medición de espesores
- Inspección de defectos en piezas fundidas y forjadas



Figura 42 Equipo Olympus Epoch 1000i

Fuente: (<http://www.olympus-ims.com>, 2012)

Para los componentes que tiene el equipo se tiene los siguientes compartimientos mostrados en la figura 43:

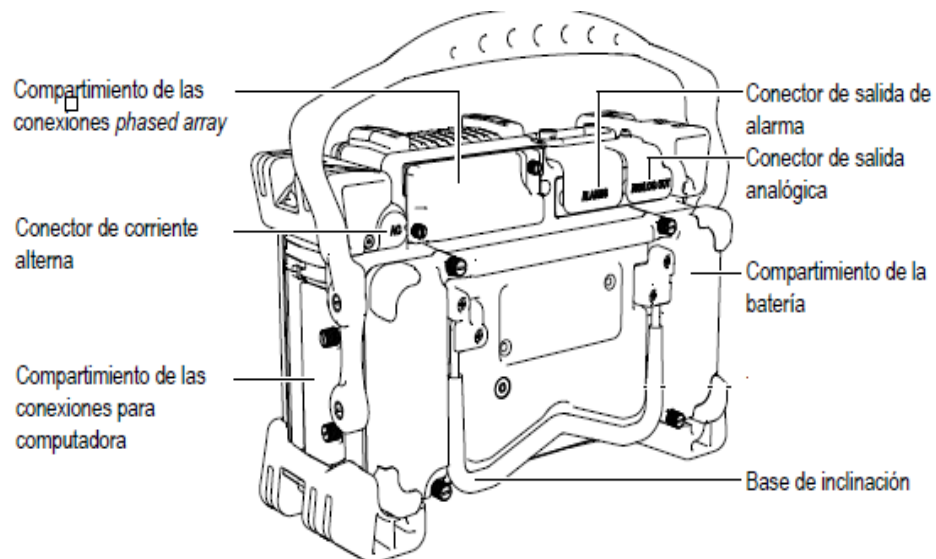


Figura 43 Compartimientos del Equipo Epoch 1000i

Fuente: (Manual de usuario equipo Epoch 1000i)

Dentro del panel frontal se tiene los siguientes elementos que sirven para el manejo del equipo, esto se muestra en la figura 44:

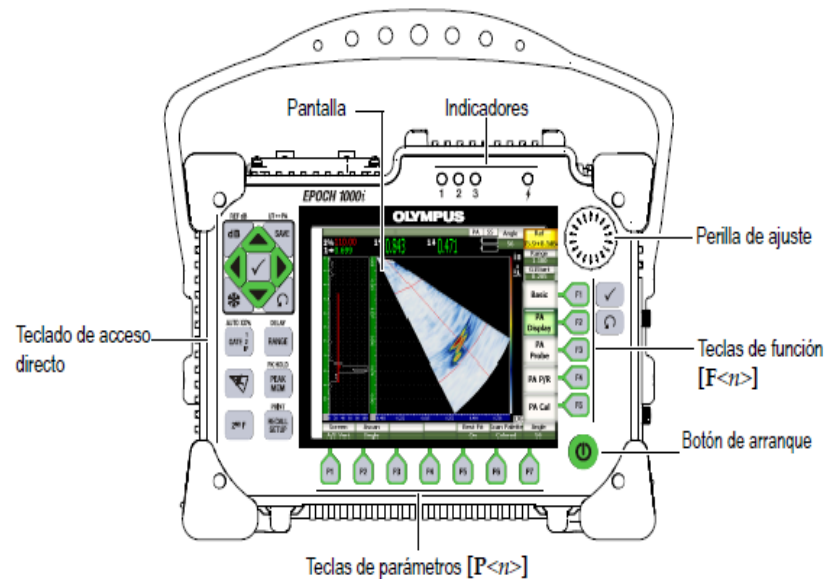


Figura 44 Elementos del equipo Epoch 1000i

Fuente: (Manual de usuario equipo Epoch 1000i)

La perilla de ajuste sirve para mover gradualmente los valores de los diferentes parámetros del equipo, las teclas de función sirven para desplazarse dentro de los menús que dispone el equipo, el botón de arranque permite el encendido o apagado del equipo, las teclas de parámetros permiten desplazarse en las opciones del submenú del equipo y las teclas de acceso directo son para una configuración rápida de los parámetros importantes utilizados en una inspección típica.

Los indicadores dan señales lumínicas de la activación de las compuertas y además del estado de carga del equipo.

La pantalla del equipo consta de los siguientes elementos mostrados en la figura 45:

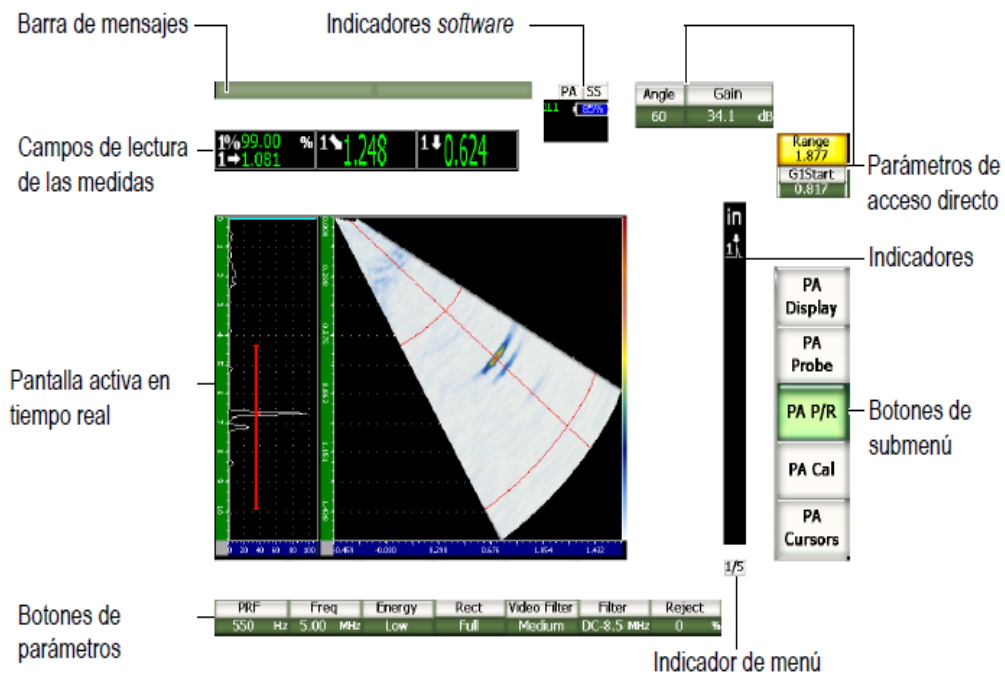


Figura 45 Pantalla de Equipo Olympus Epoch 1000i

Fuente: (Manual de usuario equipo Epoch 1000i)

Barra de mensajes.- Aquí se despliega cualquier información de la acción realizada en el equipo.

Campo de lectura de las medidas.- Muestra los parámetros indicativos de la señal recibida por el transductor.

Pantalla activa en tiempo real.- Se visualiza los diferentes tipos de presentaciones activadas en el equipo.

Botones de parámetros.- Estos valores son variables y depende de la función asignada en el menú.

Indicador de menú.- Muestra el menú en el que se está activo.

Botones de submenú.- Son las funciones que se encuentran en cada uno de los menús.

Indicadores.- Es una pantalla que muestra funciones activas.

Parámetros de acceso directo.- Son los parámetros fundamentales para una inspección típica.

NOTA: En este casillero se observa que un ícono está con fondo amarillo, esto representa que se encuentra seleccionado y se puede modificar su valor.

Indicadores de software.- Este sector consta de los siguientes operadores:

- Indicación de modo de operación.- Muestra el modo en el cual se trabaja ya sea Convencional o Arreglo de Fases.
- Indicador de salto.- Indica la compuerta que está haciendo la medición de la amplitud del eco.
- Indicador de carga de la batería.- Proporciona el nivel de carga existente en el equipo.
- Indicador de tipo de escaneo.- Especifica si está activado el escaneo sectorial (S-Scan).

Las especificaciones del equipo Olympus Epoch 1000i en modo de Arreglo de Fases se puede observar en la figura 46:

Especificaciones del modo <i>phased array</i> del Epoch 1000i	
Leyes focales	61
Elementos máximos	64 elementos
Apertura activa máxima	16 elementos
Filtro de video	Desactivado, bajo y alto
Imágenes	A-scan, S-scan, escaneo lineal, C-scan, A-scan más imagen
Velocidad de actualización de la imagen	60 Hz para todos los A-scan; 20 Hz para todas las imágenes

Figura 46 Especificaciones del Equipo en modo Arreglo de Fases

Fuente: (<http://www.olympus-ims.com>, 2012)

b) Accesorios

BLOQUES DE CALIBRACIÓN:

- **Bloque de calibración II W tipo 2**

En la figura 47 se observa este tipo de bloque, el cual sirve para calibración del Equipo de Ultrasonido en defectología.

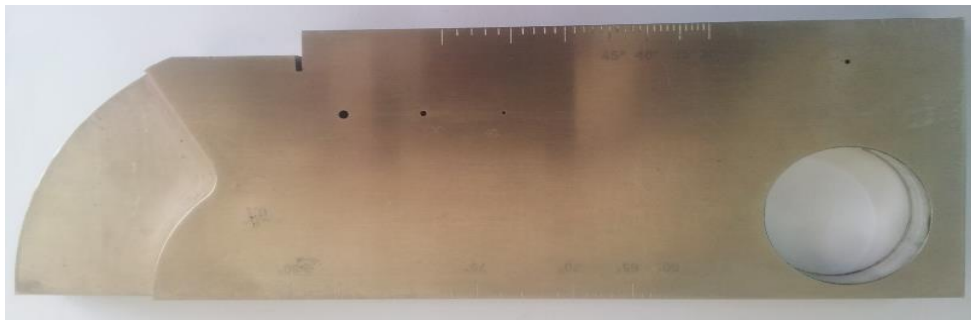


Figura 47 Bloque de calibración II W tipo 2

– **Navships Test Block Acero 1018**

En la figura 48 se observa este tipo de bloque el cual es usado para la corrección de amplitud de distancia, niveles de sensibilidad y de información de profundidad hacia el defecto.



Figura 48 Bloque Navships Test Block Acero 1018

– **ASME N-625 Plato de referencia acero 1018**

En la figura 49 se observa este tipo de bloque el cual es usado para calibraciones de la sensibilidad de ondas longitudinales y transversales.

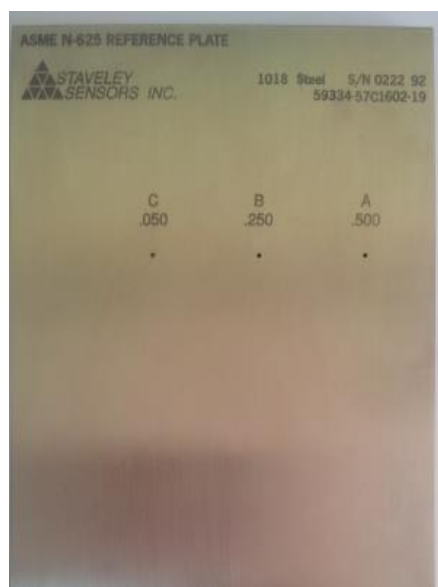


Figura 49 Bloque ASME N-625

– **30 FBH Bloque de resolución Acero 1018**

En la figura 50 se observa este tipo de bloque el cual sirve para determinar las capacidades de resolución y sensibilidad, para la producción de área de amplitud y gráficos de amplitud distancia para transductores de haz recto.



Figura 50 Bloque 30FBH Acero 1018

TRANSDUCTORES

– **De Contacto**

En la figura 51 se observa este tipo de transductor el cual es usado para medición de espesores.



Figura 51 Transductor de contacto

– **Lemo 0**

En la figura 52 se observa este tipo de transductor utilizado en el modo de Ultrasonido Convencional.



Figura 52 Transductor Lemo 0

– **Transductor Oympus 5L16-A10P**

En la figura 53 se observa este tipo de transductor utilizado en el modo de Arreglo de Fases.



Figura 53 Transductor 5L16-A10P

ZAPATAS

– Zapata angular de 60° ABWM-4T

En la figura 54 se observa este tipo de zapata la cual es usada en Ultrasonido Convencional utilizando un ángulo de incidencia de 60°.



Figura 54 Zapata angular de 60°

– Zapata angular de 45° ABWM-4T

En la figura 55 se observa este tipo de zapata, la cual es usada en Ultrasonido Convencional utilizando un ángulo de incidencia de 45°.



Figura 55 Zapata angular de 45°

– Zapata angular de 70° ABWM-4T

En la figura 56 se observa este tipo de zapata, la cual es usada en Ultrasonido Convencional utilizando un ángulo de incidencia de 70°.



Figura 56 Zapata angular de 70°

– **Zapata recta SA10P-OL**

En la figura 57 se observa este tipo de zapata, la cual es usada en Ultrasonido Convencional utilizando un ángulo de incidencia de 0°.

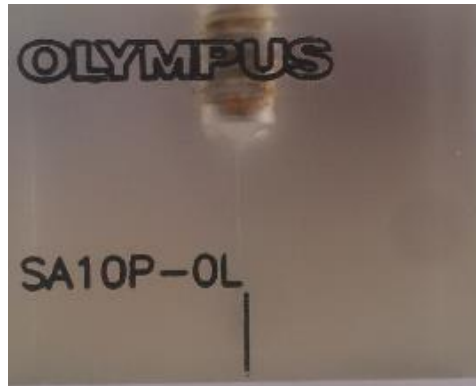


Figura 57 Zapata recta SA10P-OL

– **Zapata para Arreglo de Fases SA10P-N55S**

En la figura 58 se observa este tipo de zapata la cual es usada en Ultrasonido por Arreglo de Fases.



Figura 58 Zapata para Arreglo de Fases

4.3.2 DIFERENTES USOS DE LOS ACCESORIOS EN INSPECCIÓN ULTRASÓNICA

Los accesorios citados en 4.3.1 se usan dependiendo del tipo de inspección que se desea realizar ya sea para defectología o medición de espesores en elementos soldados.

USO EN DEFECTOLOGÍA

Para defectología se utiliza el siguiente conjunto de accesorios que permite utilizar el equipo Epoch 1000i, dependiendo del modo que se requiere utilizar:

a) Convencional

- Bloque de calibración II W tipo 2
- Navships Test Block Acero 1018
- ASME N-625 Plato de referencia acero 1018
- 30 FBH Bloque de resolución Acero 1018
- Transductor de contacto
- Transductor Lemo 0
- Zapata angular de 60° ABWM-4T
- Zapata angular de 45° ABWM-4T
- Zapata angular de 70° ABWM-4T

b) Arreglo de Fases

- Bloque de calibración II W tipo 2
- Transductor Olympus 5L16-A10P
- Zapata para Arreglo de Fases SA10P-N55S

USO EN MEDICIÓN DE ESPESORES

a) Convencional

- Transductor de contacto

b) Arreglo de Fases

- Zapata recta SA10P-OL
- Transductor Olympus 5L16-A10P
- Bloque de calibración II W tipo 2

NOTA: Para realizar inspección en medición de espesores, además de los accesorios mencionados anteriormente, se requiere de un bloque de calibración de precisión de 5 niveles de espesor (2214E), el cual no dispone el laboratorio de Ciencia de los Materiales; este tipo de bloque se observa en la figura 59:

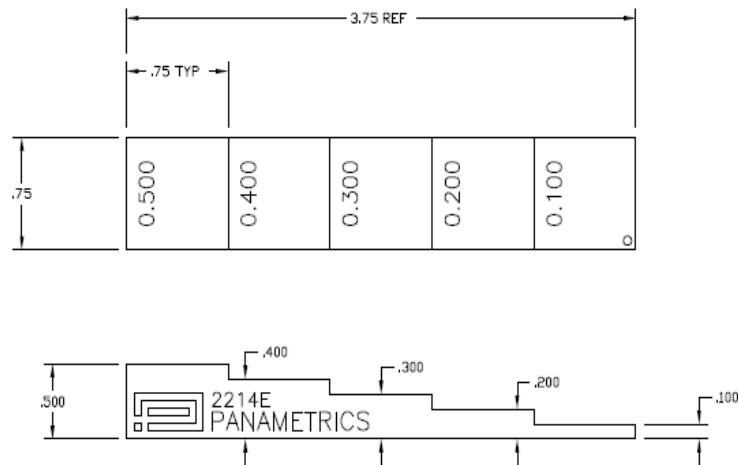


Figura 59 Bloque 2214E

Fuente: (Manual Equipo Olympus Epoch 1000i)

4.3.3 DISEÑO DE LA PROBETA DE TUBERÍA

Para el desarrollo del procedimiento por Ultrasonido, se implementó una probeta de tubería en la cual se encuentran defectos de soldadura provocados en la junta.

En la figura 60 se puede observar la probeta de tubería, la cual sirve como elemento a inspeccionar para el desarrollo del procedimiento.



Figura 60 Probeta de tubería

La probeta cuenta con los siguientes defectos provocados:

- Quemón en soldadura

Para generar un quemón en la soldadura se dio un avance lento del electrodo y una excesiva corriente de 180 Amperios, este defecto se lo observa en la figura 61, de una parte de la toma radiográfica de la tubería.



Figura 61 Quemón en la soldadura

- Falta de fusión en el bisel

Para generar una falta de fusión en el bisel, se provocó una disminución de temperatura, provocado con una corriente de 110 Amperios, este defecto se lo observa en la figura 62, de una parte de la toma radiográfica de la tubería.

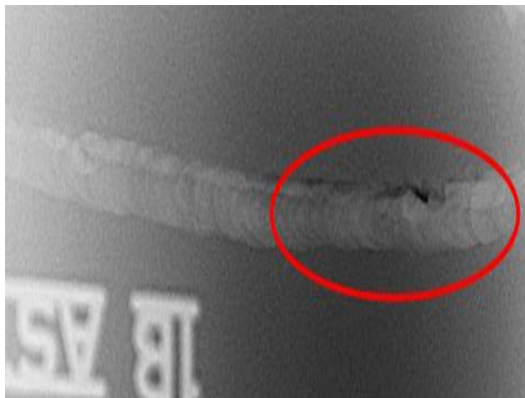


Figura 62 Falta de fusión en el bisel de la soldadura

- Escoria alargada

Para generar el defecto de escoria alargada se humedeció el electrodo en agua, este defecto se lo observa en la figura 63, de una parte de la toma radiográfica de la tubería.

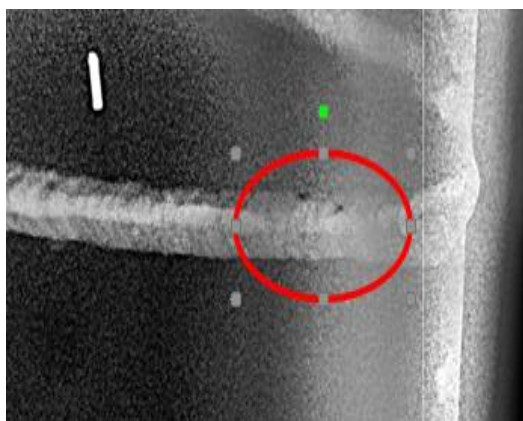
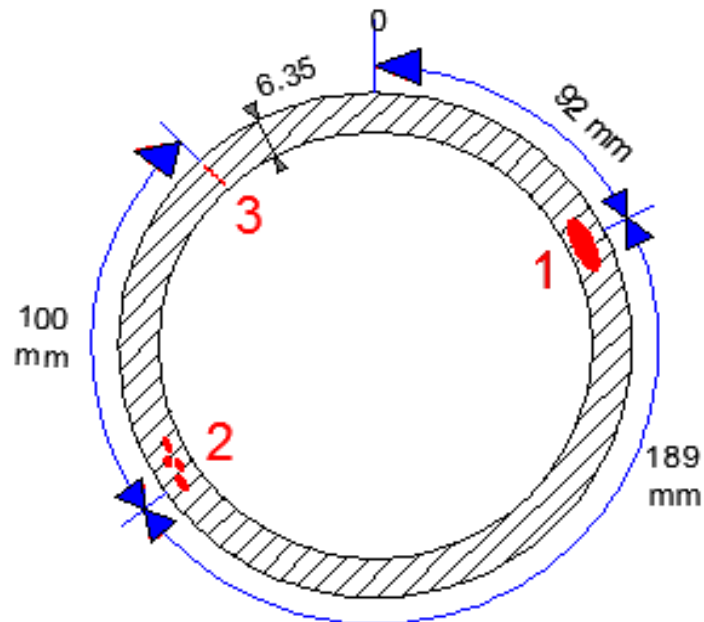


Figura 63 Escoria alargada en la soldadura

La localización de los defectos mencionados anteriormente se presenta en la figura 64. Ya en la probeta de tubería estos defectos se encuentran marcados en la superficie del espesor de la tubería, con numeración tal como se indica:



DEFECTOS EN LA TUBERÍA	
Marca	Descripción
1	Quemón
2	Escoria alargada
3	Falta de fusión en el bisel

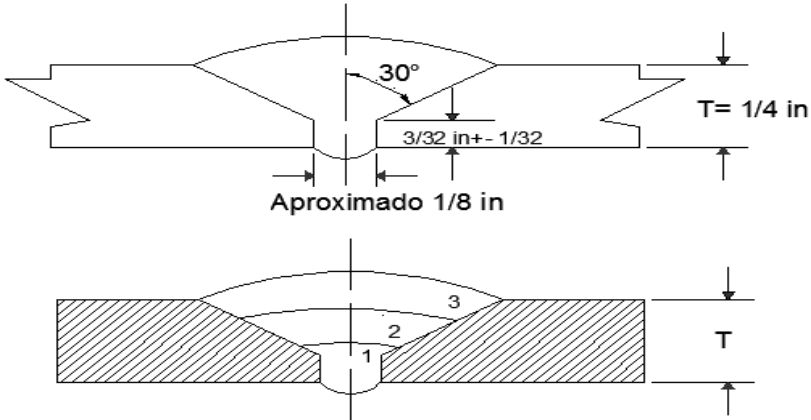
Figura 64 Localización de defectos en tubería

Para contar con una descripción clara del tipo de junta, en la figura 65 se detalla mediante una especificación del procedimiento de soldadura (WPS) las variables esenciales de diseño de la junta a construir.

	ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA API 1104
---	--

REFERENCIA: API STANDARD 1104	FECHA: 10-feb-15
--------------------------------------	-------------------------

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA No: ESPE-API 1104-01	
COMPAÑÍA: UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS	SOLDADURA DE: TUBERÍA
PROCESO: SMAW	
MATERIAL: API 5LX42	LÍMITE ELÁSTICO: 42000 PSI
DIÁMETRO: 6"	SCH: 40
ESPESOR DE PARED: 6,35 mm	
DISEÑO DE LA JUNTA: Bisel en "V"	
METAL DE APORTE: E 7010, E7018	NÚMERO DE PASES: 3
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS: DC (-) PARA E7010, DC (+) PARA E7018	
POSICIÓN: 6G	
DIRECCIÓN DE SOLDEO: Vertical ascendente	
NÚMERO DE SOLDADORES: 1	
TIEMPO ENTRE PASES: 6 minutos	
TIPO DE ALINEADORES: Platinas	REMOCIÓN ALINEADORES: Amoladora
LIMPIEZA Y/O PULIMENTO: Pulidora y grata	
PRECALENTAMIENTO: N.A	
FUNDENTE DE RESPALDO: N.A	
VELOCIDAD DE AVANCE: 9-11 inch/min pase 1, 9-10 inch/min pase 2, 10-12 inch/min pase3	

ESQUEMA DE LA JUNTA:						
						
TAMAÑO DEL ELECTRODO Y NÚMERO DE PASES						
PASE No	ELECTRODO	DIÁMETRO	VOLTAJE	AMPERAJE	POLARIDAD	VELOCIDAD
1	E 7010	1/8"	25-35	130-140	NEGATIVA	9-11inch/min
2	E 7018	1/8"	35-30	135-150	POSITIVA	9-10inch/min
3	E 7018	1/8"	20-30	140-160	POSITIVA	10-12inch/min

Elaborado por:	Diego Sucuzhañay	Revisado por:	Jaime Pérez	Aprobado por:	Ing. Patricio Riofrío
Fecha:	10/02/2015	Fecha:	10/02/2015	Fecha:	26/02/2015

Figura 65 WPS de la junta soldada

4.3.4 PROBETAS CERTIFICADAS CON DEFECTOS CONOCIDOS

Debido a que el Ensayo No Destructivo de Ultrasonido es un proceso especial cuya efectividad depende directamente de la habilidad del inspector en interpretar correctamente las señales detectadas con el equipo ultrasónico, se requiere de patrones de referencia que sean manufacturados con estrictos controles de calidad y comprobados con ensayos de avanzada tecnología la precisión en el dimensionamiento y ubicación del defecto inducido; al tener estas cualidades en el Kit de entrenamiento para Ultrasonido, diseñado por SONASPECTION empresa experta en construcción de probetas con defectos conocidos, este se vuelve la herramienta idónea para adquirir experiencia en el análisis en defectología de soldadura y por ende aprender la técnica ultrasónica, por esta razón se implementó este Kit de entrenamiento, para completar el equipamiento en Ensayos No Destructivos de Ultrasonido en el laboratorio de Ciencia de los Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE".

Estas probetas son fabricadas de acero al carbono, especialmente diseñadas para la formación de Inspectores en Ensayos No Destructivos por Ultrasonido.

Los defectos en la soldadura presentes en este tipo de probetas son: fisuras, escoria, porosidad, falta de fusión, laminación y penetración incompleta. Además se cuenta con secciones macro que son un corte transversal de soldadura para cada defecto que se tiene.

Un Kit de entrenamiento para Ultrasonido contiene, además de lo mencionado anteriormente, los elementos que se observan en la figura 66:



Figura 66 Probetas certificadas con defectos conocidos

Las probetas que se observan en la figura 67 son fabricadas en chapa de acero al carbono que contienen un defecto de soldadura inducido.

Las probetas fueron diseñadas con una tolerancia del defecto en longitud de $1'' \pm 1/4''$ y están cubiertas con una fina capa de laca para protegerlas.



Figura 67 Probetas de entrenamiento certificadas

Cada sección macro, como se observa en la figura 68, contiene un defecto que ha sido inducido en la soldadura.

El defecto inducido que contiene cada sección macro es de un tamaño, orientación y ubicación predeterminedada igual que la probeta que representa.

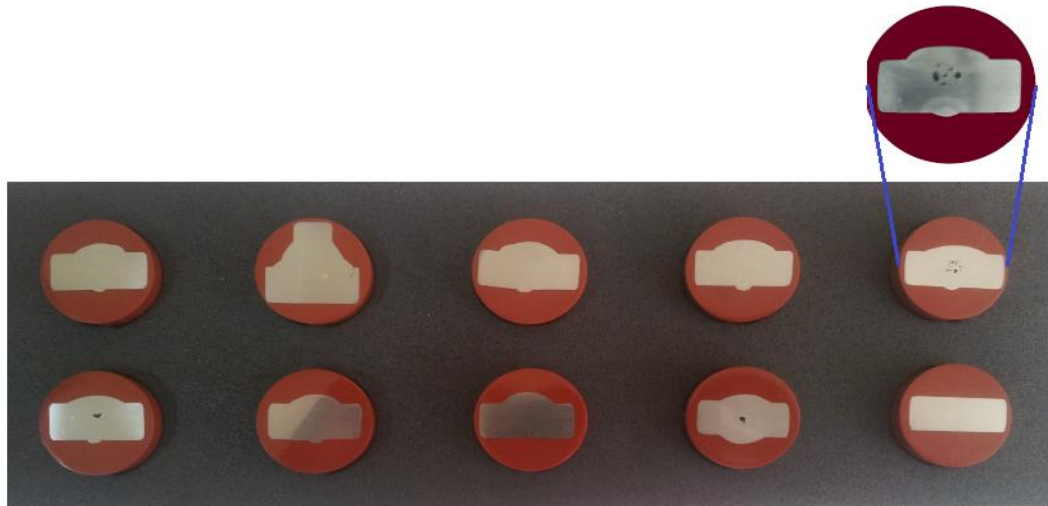


Figura 68 Secciones macro de los defectos de soldadura

4.4 CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE ULTRASONIDO

Para realizar una inspección correcta por Ultrasonido, es indispensable realizar antes una calibración del equipo, que permite a su vez tener valores correctos al encontrar un defecto de soldadura, esto se consigue mediante los bloques de referencia IIW tipo 1 o tipo 2.

Hay que tomar en cuenta que existen diferentes calibraciones de equipos, sea para una inspección de espesores o para defectología.

Para medición de espesores la calibración se realiza con un transductor de haz recto o utilizando una zapata recta, en cambio para una calibración para defectología se requiere zapatas con un grado de inclinación.

Para defectología, en la mayoría de equipos de Ultrasonido, la calibración se realiza por medio de los siguientes parámetros:

- **Velocidad**

La calibración por velocidad ayuda a que los equipos obtengan una correcta interpretación de las ondas ultrasónicas, permitiendo que la velocidad de propagación de la onda en el material sea la correcta.

La velocidad varía según con el tipo de material, estos valores se pueden observar en las tablas 2, 3 y 4 del presente proyecto de grado.

Este tipo de calibración se efectúa con reflectores con distancias conocidas de los bloques de calibración.

- **Retardo de Zapata**

Permite calibrar correctamente el retardo entre el disparo del transductor y el momento en que el haz acústico entra al elemento bajo ensayo, en el modo de Ultrasonido Convencional este parámetro se lo define como desplazamiento del cero.

El equipo Epoch 1000i permite calcular el retardo de la onda ultrasónica de todas las leyes focales en una sola etapa, de esta forma puede obtener lecturas precisas de la medición de profundidad, de la trayectoria acústica y de la distancia proyectada en todos los ángulos que se requiere inspeccionar.

- **Sensibilidad**

Es la habilidad del transductor de detectar ecos de discontinuidades pequeñas, la sensibilidad es influenciada por la frecuencia, es decir al ampliar la frecuencia durante la inspección la longitud de onda disminuye.

Este parámetro permite calibrar las variaciones de la sensibilidad del equipo a un reflector detectado por todas las leyes focales, de una forma correcta. Principalmente la calibración de la sensibilidad sirve para definir una ganancia de referencia para cada ley focal en el área de escaneo en el modo de Arreglo de Fases.

CAPÍTULO 5.

MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN ULTRASÓNICA PARA DETECCIÓN DE FALLAS EN SOLDADURA DE TUBERÍAS

En toda actividad de inspección que se realiza empleando el Ensayo No Destructivo por Ultrasonido de acuerdo a la mayoría de Normas y Códigos utilizados, es fundamental la elaboración de procedimientos escritos que fundamenten la inspección del Ensayo Ultrasonico y así tener constancia que la inspección que se realiza cumpla con todos los requisitos del procedimiento de Ultrasonido.

A continuación se detalla un manual completo de diseño de procedimientos de inspección ultrasónica con la técnica de Arreglo de Fases para detección de fallas en soldadura de tuberías, en el cuál se incluyen todos los requisitos que se debe tomar en cuenta en la aplicación del mismo.

Para la interpretación de resultados de inspección, este manual de procedimientos se rige a los criterios de aceptación-rechazo de la Norma API 1104 y Código Asme B31.3.



PROCEDIMIENTO PARA INSPECCIÓN DE SOLDADURA POR ULTRASONIDO MEDIANTE LA TÉCNICA DE ARREGLO DE FASES

1. OBJETIVO
2. ALCANCE
3. PERSONAL
4. NORMAS Y CÓDIGOS DE REFERENCIA
5. MATERIALES Y CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES
6. GEOMETRÍA DE LA JUNTA
7. EQUIPO DE ULTRASONIDO
8. TRANSDUCTOR Y ZAPATA
9. ELEMENTO ACOPLANTE
10. TÉCNICA A SER USADA
11. MÉTODO DE CALIBRACIÓN
12. AJUSTE DE SENSIBILIDAD
13. CONDICIÓN SUPERFICIAL
14. TÉCNICA DE BARRIDO
15. DEMOSTRACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO
16. CRITERIO DE REGISTRO E IDENTIFICACIÓN
17. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE ACUERDO A LA NORMA API
1104
18. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE ACUERDO AL CÓDIGO B31.3
19. SISTEMA DE RASTREABILIDAD
20. REPORTES

ELABORADO POR: Diego Sucuzhañay	REVISADO POR: Jaime Pérez	APROBADO POR: Ing. Patricio Riofrío
Firma: Fecha:2015/02/19	Firma: Fecha:2015/02/19	Firma: Fecha:2015/02/20



5.1 OBJETIVO

El objetivo debe describir los requerimientos de trabajo en la inspección de materiales y con qué tipo de Ensayo No Destructivo y modo de operación se va a realizar el procedimiento.

Para este caso, el procedimiento se basa en el método de Ensayo No Destructivo por Ultrasonido mediante el Arreglo de Fases, por lo cual se establecen los requerimientos mínimos a cumplir en la verificación de soldaduras y detección de fallas por medio de este método, reuniendo las exigencias del código ASME sección V artículo 5.

5.2 ALCANCE

Dentro del alcance se incluye el total de requisitos máximos que permite el procedimiento.

Para este caso, el presente procedimiento cubre el método de Ultrasonido utilizando la técnica de Phased Array en juntas a tope para tubería, enfocado a la soldadura. La tubería debe estar dentro del rango de las siguientes características dimensionales, que se especifican en la Norma API 1104 sección 6. En la tabla 7 se muestra el rango de los diámetros de tubería.

Tabla 7

Rangos permitidos para inspección por Ultrasonido

Outside Diameter of Pipe		Number of Specimens					
Inches	Millimetres	Tensile Strength	Nick-Break	Root Bend	Face Bend	Side Bend	Total
Wall Thickness \leq 0.500 in. (12.7 mm)							
< 2.375	< 60.3	0	2	2	0	0	4 ^a
2.375–4.500	60.3–323.9	0	2	2	0	0	4
> 4.500–12.750	114.3–323.9	2	2	2	0	0	6
> 12.750	> 323.9	4	4	2	2	0	12

Fuente: (Norma API 1104, 2011)



**MANUAL DE PROCEDIMIENTOS POR
INSPECCIÓN ULTRASÓNICA PARA DETECCIÓN
DE FALLAS EN SOLDADURA DE TUBERÍAS**

Para el rango de espesores se detalla en la sección 6.2.2 de la Norma API 1104, que trata sobre los límites de las variables esenciales, el cual manifiesta que el espesor nominal de pared del elemento a inspeccionar va desde 3/16” (4.8mm) hasta 3/4” (19.1mm), para una inspección Por Ultrasonido.

5.3 PERSONAL

De acuerdo con la práctica No. SNT-TC-1A, el inspector calificado, con Nivel I o II será el encargado de realizar la inspección dentro de campo. Lo antes citado es requisito que la entidad solicitante establece.

Las funciones que cumplen los Inspectores Nivel I, II y III, de acuerdo a la práctica No. SNT-TC-1A, serán:

a) Nivel I en Ensayos No Destructivos.- realizar calibraciones específicas adecuadas del equipo con el que se va a desarrollar el ensayo. Realizar y registrar Ensayos no Destructivos específicos y evaluaciones específicas, las cuales sirven para determinar la aceptación o rechazo de acuerdo con las instrucciones de inspección escritas.

b) Nivel II en Ensayos No Destructivos.- efectuar ajustes y calibraciones del equipo con el que se va a realizar el ensayo, también está en la capacidad de interpretar y evaluar resultados con respecto a normas, códigos y especificaciones, siendo capaz de organizar y emitir reportes de los resultados logrados en las inspecciones. El Nivel II debe tener la capacidad y síntesis del alcance y limitaciones de los métodos de inspección en los cuales está calificado, es también responsable de las actividades de análisis e interpretación de resultados y encargado de la supervisión e instrucción de los aprendices y del nivel I en END.



c) Nivel III en Ensayos No Destructivos.- desarrollar, calificar y aprobar procedimientos; interpretar códigos, normas, especificaciones y procedimientos de inspección; designar el método de Ensayo No Destructivo particular, las técnicas y procedimientos que deberían ser utilizados para una correcta examinación en el elemento a ser inspeccionado. El nivel III es el responsable directo de las operaciones completas de los END, en los cuales está calificado y asignado, y está en capacidad de interpretar y evaluar los resultados obtenidos en base a códigos, normas y especificaciones aplicables. Un nivel III debe tener un amplio conocimiento en materiales aplicables y tecnología de fabricación para establecer técnicas y criterios de aceptación cuando estos no estén disponibles. El nivel III debe estar familiarizado con otros métodos de END apropiados en los cuales no está calificado. El nivel III debe ser capaz de entrenar y examinar al personal de nivel I y II para su certificación en aquellos métodos en los cuales está certificado.

5.4 NORMAS Y CÓDIGOS DE REFERENCIA

En este ítem deben anotarse las Normas y Códigos con las cuales se fundamentó el procedimiento que se desea realizar.

Para el desarrollo del procedimiento ejemplo descrito en la sección 6.2, del presente proyecto de grado que trata específicamente sobre inspección de uniones a tope para tubería, se utilizó la siguiente norma y código:

- API Standard 1104, SOLDADURA DE TUBERÍAS, Adenda 2011.
- ASME B31.3, TUBERÍAS DE PROCESO, Adenda 2010.



5.5 MATERIALES Y CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES

Se establece los siguientes parámetros del elemento a inspeccionar:

- ❖ Material de la tubería.
- ❖ Diámetro de la tubería.
- ❖ Espesor de la tubería.

5.6 GEOMETRÍA DE LA JUNTA

Se especifica las características constructivas de la unión soldada que se inspeccionará. De ser requerido un detalle más extenso de la misma se incluirá en los anexos al final del procedimiento el WPS de la unión soldada a tope.

5.7 EQUIPO DE ULTRASONIDO

Se debe especificar el equipo con el cuál se desarrolló la inspección, que, para este caso es uno de Ultrasonido. Para este proyecto de grado solamente se contaba con un equipo marca Olympus modelo Epoch serie 1000i (de propiedad de la ESPE), por lo cual el manual de procedimientos se desarrolló tomando en consideración este equipo.

5.8 TRANSDUCTOR Y ZAPATA

Se especifica el transductor y la zapata que se utilizará para la inspección que se va a realizar. En el caso ejemplo (del análisis en defectología, utilizando el Ensayo de Ultrasonido, por el método de Arreglo de Fases) son:



Transductor.- Multielementos marca Olympus, serie 5L16-A10P, con frecuencia de 5MHz y 16 elementos.

Zapata.- Tipo angular serie SA10P-N55S.

5.9 ELEMENTO ACOPLANTE

Se especifica el elemento acoplante que se utilizará para la calibración e inspección utilizando el Ensayo No Destructivo de Ultrasonido.

Para el caso ejemplo el elemento acoplante que se utilizó es el carboximetil celulósico (CMC), denominado también Gel biodegradable, que es un excelente acoplante para eliminar interferencias en el ensayo de Ultrasonido.

NOTA: este ítem sólo es aplicable para procedimiento por Ensayo Ultrasonico.

5.10 TÉCNICA A SER USADA

Para la elaboración del procedimiento ejemplo de inspección se puso en práctica la técnica de Arreglo de Fases, esta se basa en la habilidad de modificar en cuanto a velocidades, impedancias acústicas, la detección de discontinuidades en diversas leyes focales, para así poder tener la detección clara y precisa de la discontinuidad presente en la soldadura utilizando el Ensayo de Ultrasonido



5.11 MÉTODO DE CALIBRACIÓN

Para la calibración con transductor de Arreglo de Fases, se toma como Patrón Base un bloque de calibración II W tipo 2, el cual se puede observar en la figura 69:

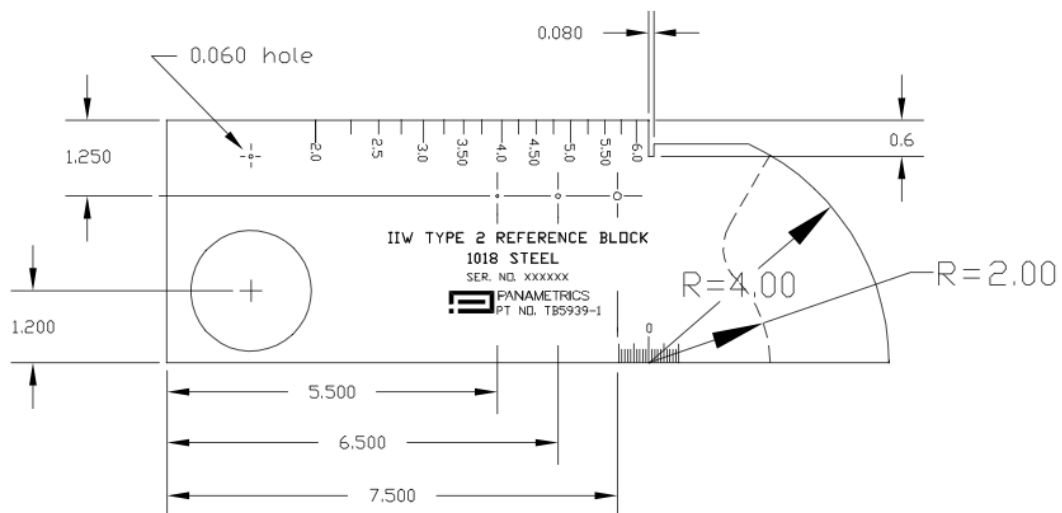


Figura 69 Dimensionamiento del Bloque de Calibración II W tipo 2

Fuente: (Manual de usuario equipo Epoch 1000i)

Para el procedimiento de calibración se utiliza los siguientes elementos del bloque mencionado:

- El hole (agujero) de $\varnothing 0.06''$, con una profundidad de $0.6''$
- El reflector 1, de radio $4''$, desde la marca «0»
- El reflector 2, de radio $2''$, desde la marca «0»

Los reflectores se utilizan para la calibración de la Velocidad y Retardo de la zapata, mientras que el agujero de $\varnothing 0.06''$ se usa para la calibración de la Sensibilidad, en el equipo.



Para los siguientes pasos de calibración utilizar un transductor Olympus 5L16-A10P (figura 53) acoplado a una zapata angular SA10P-N55S (figura 58).

Ya en el equipo, para proceder a calibrar siga estos pasos:

1.- Antes de encender el equipo Olympus Epoch 1000i, conecte el transductor Olympus 5L16-A10P al módulo de Phased Array (figura 43).

2.- Al encender, el detector del equipo reconoce automáticamente al transductor y la zapata, siempre y cuando estos se encuentren grabados en la memoria del equipo. Este es detallado en el menú del “Beam” como se muestra en la figura 70. Si el equipo no reconoce el transductor o la zapata, el manual de usuario del equipo manifiesta que sus códigos deben ser ingresados manualmente.

ScanType	S-Scan	
Probe ID	5L16-A10	
Wedge ID	SA10-N55S	
Thick	0.000	in
Geometry	Plate	
Inner Dia.	10.000	in
Outer Dia.	25.000	in
CSC	Off	
Velocity	0.1232	in/μs
Start Angle	40	°
End Angle	69	°
Angle Step	1.0	°
Focus Depth	10.000	in

Figura 70 Menú del beam



Cuando abra el menú del beam realice los siguientes pasos:

- a) Introduzca el espesor del bloque de calibración, el cuál es 4”.
- b) Introduzca la forma de la pieza bajo ensayo en la geometría, que para el bloque de calibración es “plate”.
- c) Introduzca el diámetro nominal (este dato va en función del elemento que se va a inspeccionar después de calibrar)
- d) Introduzca la velocidad de onda del material que será inspeccionado.
- e) Introduzca el rango de ángulos para lectura en Phased Array.

NOTA: Los pasos antes mencionados se realizaron para la calibración del equipo. Para proceder a la inspección del elemento que se desee realizar el ensayo cambiar los valores de los literales a) y b).

3.- Ya en el modo de operación del equipo se procede a calibrar los 3 parámetros principales en el siguiente orden:

3.1.- Velocidad de propagación de la onda ultrasónica:

Este parámetro sirve para calibrar correctamente la velocidad de propagación de la onda ultrasónica en el material, para lo cual se procede de la siguiente manera:

- a) Ajustar la ganancia a un nivel adecuado al patrón de calibración que se utiliza, pulsando la tecla de acceso directo **[GAIN]** y colocar una ganancia de referencia de 18 [dB], tal como se observa en el ícono resaltado de amarillo de la figura 71:



Figura 71 Ajuste de ganancia

- b) Verificar el ángulo con el cual se está trabajando, si este es diferente de 45°, entonces proceder a pulsar la tecla [ANGLE], y ajustar a 45°.

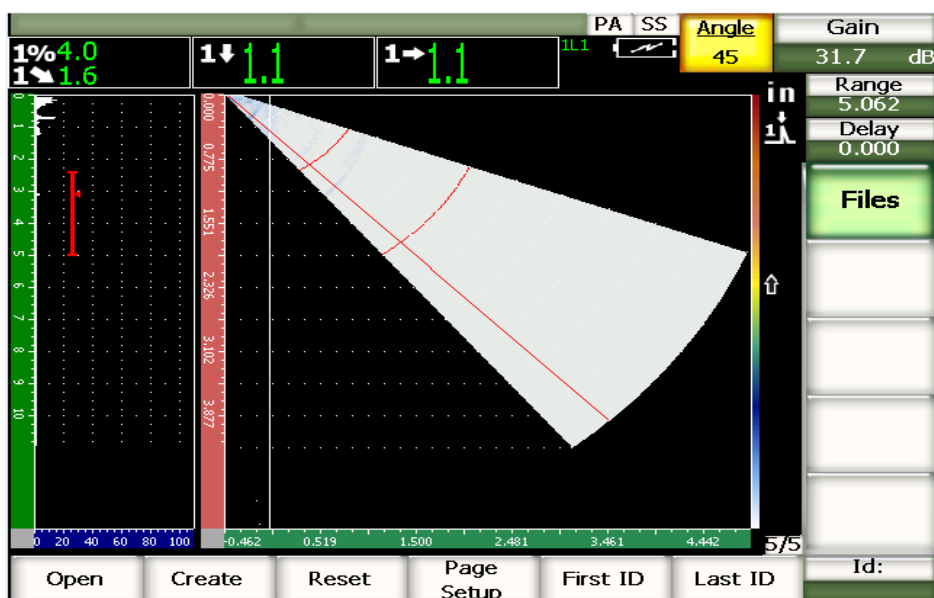


Figura 72 Ajuste del ángulo



- c) El rango de operación en un bloque de calibración II W tipo 2 es de 5 pulgadas, para esto pulse la tecla **[RANGE]** y coloque este valor.

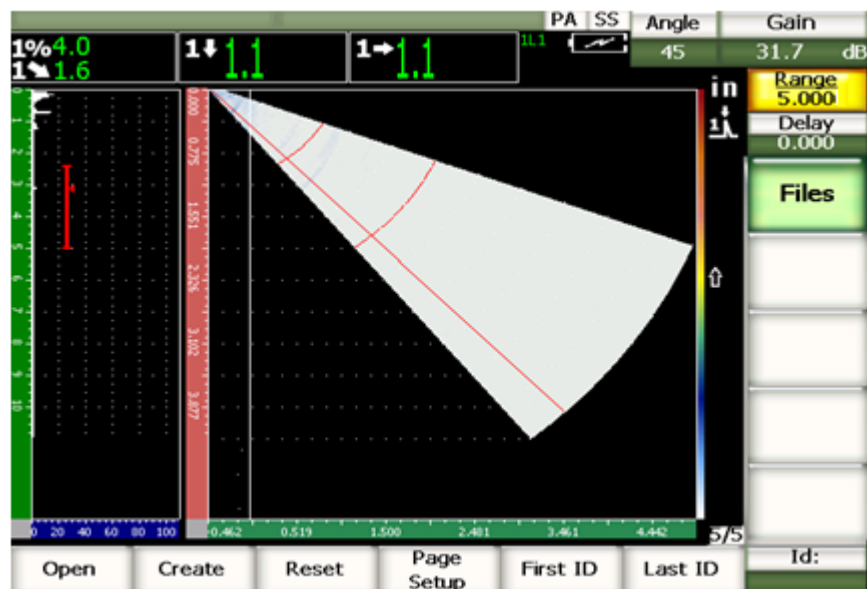


Figura 73 Ajuste del rango de inspección

- d) Para comenzar a calibrar el parámetro de Velocidad se debe colocar el transductor en la marca «0», ubicada en la muesca del bloque de calibración IIW tipo 2 para poder encontrar los ecos producidos debido a la presencia de distancias patrones (reflectores). Ya en el equipo, en la presentación A-Scan, coloque la compuerta sobre el primer eco mostrado, que sirve para calibrar el equipo por velocidad, si este sobrepasa el 100% de la altura de la pantalla regule la ganancia, para que esta llegue a un valor aproximado del 80%. El valor de la altura de la pantalla se observa en el ícono “1%” del campo de lectura de las medidas.

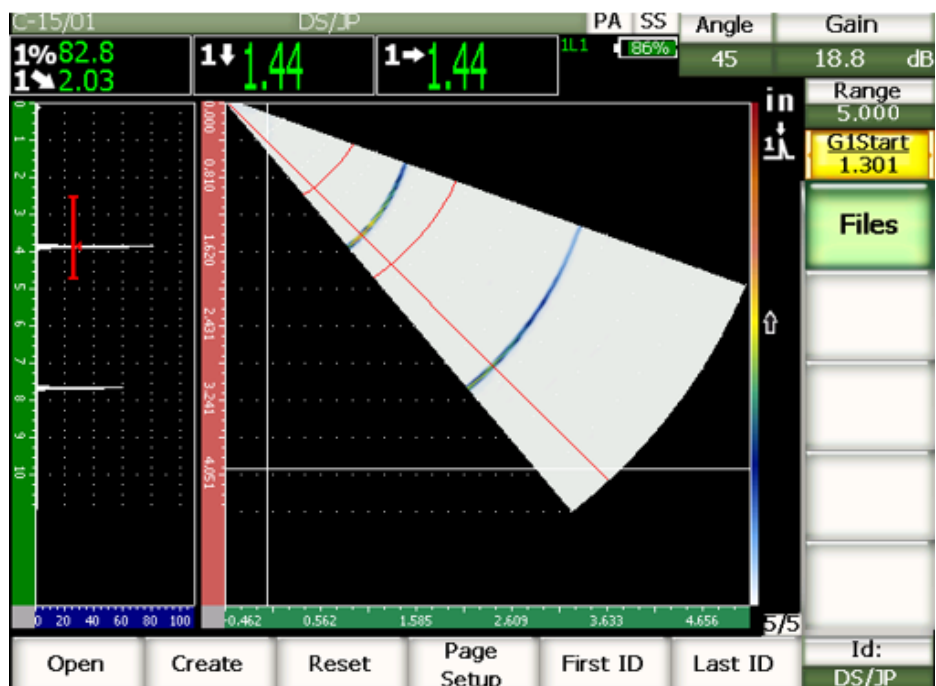


Figura 74 Localización de la compuerta

- e) En el menú del equipo seleccione **1/5 > PA CAL > Calibration = CALVelocity** para calibrar la velocidad de propagación de la onda ultrasónica.

Dónde:

- **1/5**: es el submenú requerido.
- **PA CAL**: es la “tecla función” que se requiere para ese parámetro.
- **Calibration = CALVelocity**: es la “tecla parámetro” que se desea activar para la función especificada anteriormente.

Esto se detalla de mejor manera en la figura 75, que es la pantalla de un equipo Epoch 1000i:

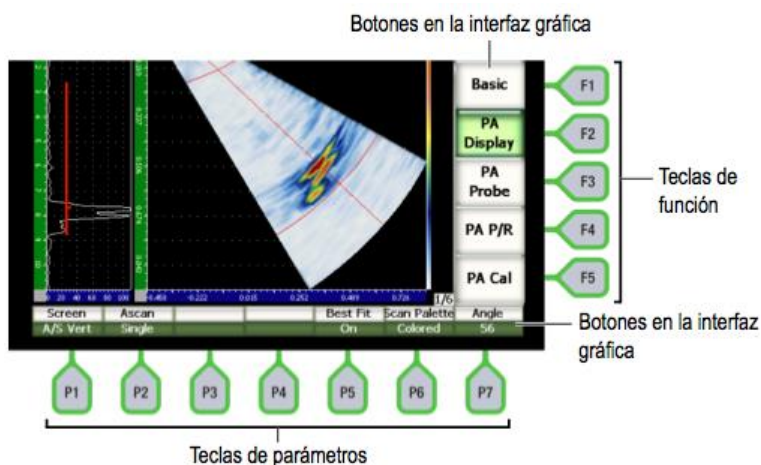


Figura 75 Teclas de parámetros y funciones del equipo Epoch 1000i

Este es el gráfico donde se realizan las acciones sugeridas en el literal e):

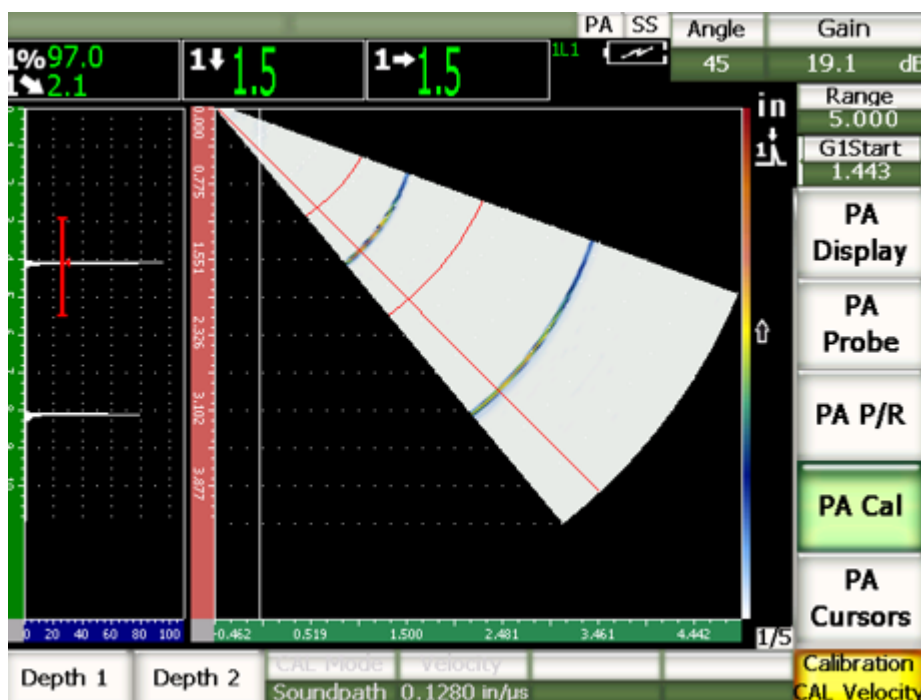


Figura 76 Calibración por velocidad



- f) Pulse la tecla función **Depth. 1** e ingrese el valor real del patrón de calibración, en este caso coloque 2 pulgadas y pulse la tecla “Continue”.

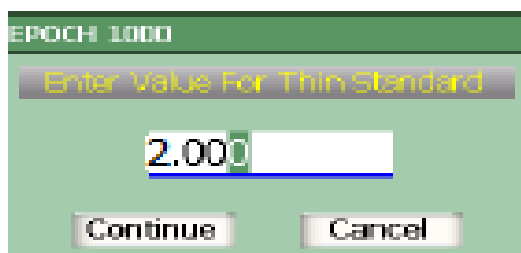


Figura 77 Primer valor de referencia del patrón de calibración

- g) Para ingresar el valor de la profundidad 2 que presenta el patrón de calibración, coloque la compuerta en el segundo eco, e ingrese en la tecla función **Depth. 2**, el valor de 4 pulgadas y pulse la tecla “Continue”.



Figura 78 Segundo valor de referencia del patrón de calibración

3.2.- Retardo de la zapata:

Este parámetro ayuda a calibrar correctamente el retardo que se tiene entre el momento en que el haz acústico entra a la pieza que se está ensayando y el disparo electrónico del transductor.



El equipo Epoch 1000i permite calcular el retardo del transductor de todas las leyes focales en una sola etapa, de esta forma se obtiene lecturas precisas de la medición de la profundidad, de la trayectoria acústica y de la distancia proyectada en todos los ángulos que se requiere inspeccionar, para lo cual se cumple con los siguientes pasos para calibrar este parámetro:

- a) Seleccione **1/5 > PA CAL > Calibration = CAL Zero** en el menú del equipo, colocar el transductor en la marca «0», ubicada en la muesca del bloque de calibración, luego ubicar la compuerta sobre el primer eco de la presentación A-Scan, si esta sobrepasa el 100% de la altura de la pantalla regule la ganancia, para que esta llegue a un valor aproximado del 80%.

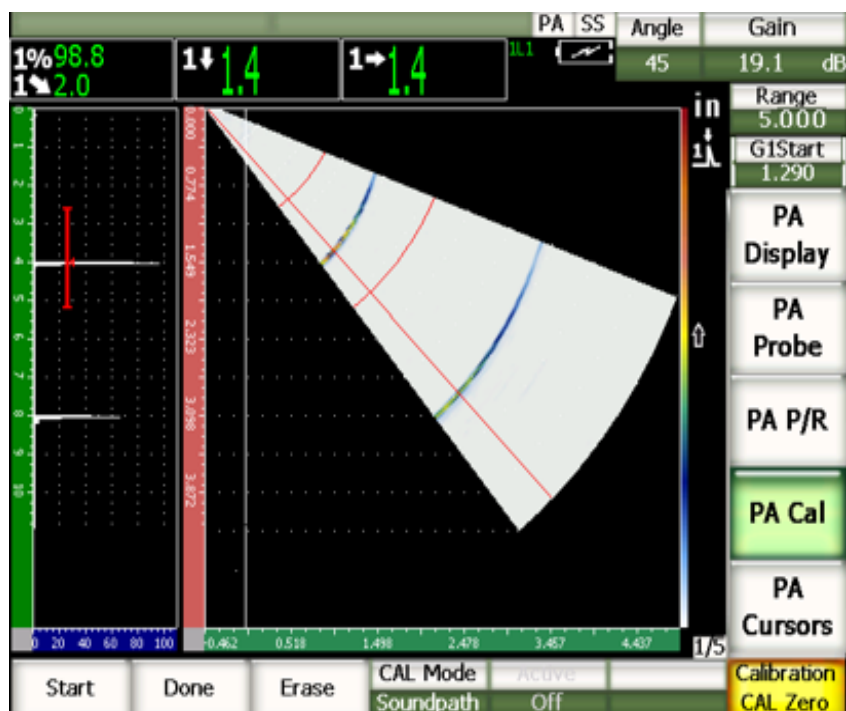


Figura 79 Calibración por retardo de zapata



- b) Luego seleccionar la tecla de parámetro **Soundpath** (que influencia en la trayectoria de la zona acústica).



Figura 80 Localización del camino sónico

- c) Seleccione 1/5 > **PA CAL** > **Start** para comenzar la calibración donde aparece un cuadro de diálogo que solicita se ingrese un valor referencial del punto "0", el cual se ingresa 2 pulgadas (que corresponde al primer eco que fue seleccionado) y presionar la tecla **Continue**.

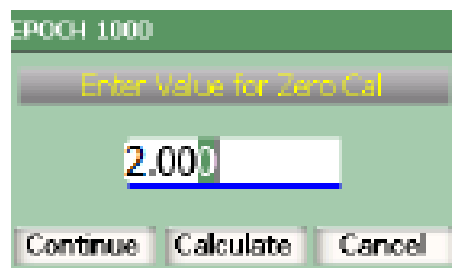


Figura 81 Primer valor de referencia en retardo de zapata



- d) La siguiente etapa en la calibración del retardo de zapata es la de alinear la lectura de la medición del espesor (medida en la compuerta) para todas las leyes focales. Al concluir la alineación con la línea de puntos guarde la configuración pulsando la tecla de parámetros **Done**.

NOTA: Esta línea tiene que coincidir, en la medida de lo posible, con los puntos de referencia que están marcados en la presentación de la izquierda, por lo cual, para realizar este proceso mueva en forma secuencial y con la misma velocidad el transductor sobre el bloque de calibración, de adelante hacia atrás hasta conseguir corregir toda la línea amarilla.

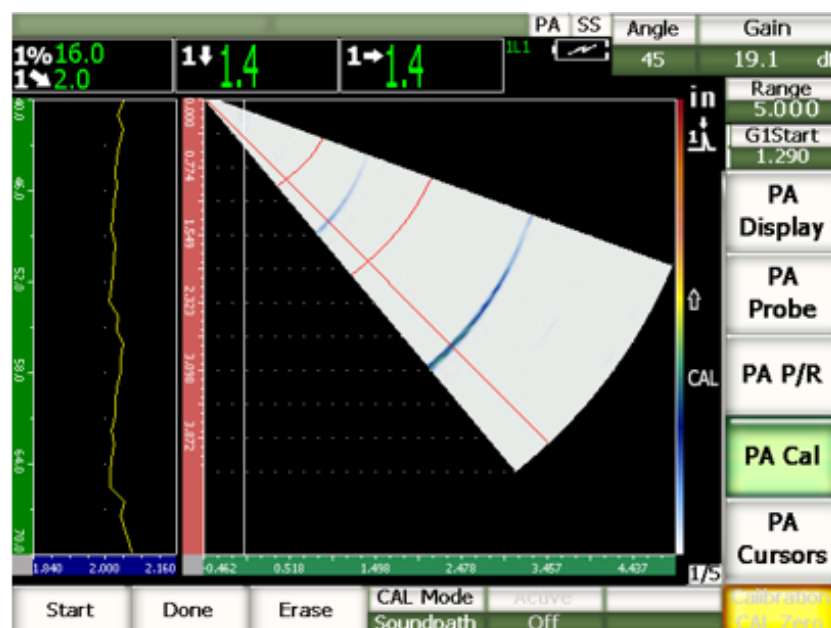


Figura 82 Calibración de línea del retardo de zapata



3.3.- Sensibilidad:

Este parámetro ayuda a calibrar las variaciones de la sensibilidad del equipo a un reflector detectado por todas las leyes focales en forma correcta. Principalmente la calibración de la sensibilidad sirve para definir la ganancia de referencia para cada ley focal en el área de escaneo. Para este parámetro guiarse mediante los siguientes ítems:

- a) Con el transductor se busca el barreno lateral que presenta el bloque II W tipo 2 (agujero de $\varnothing 0.06''$, ubicado a una profundidad de 0.6") hasta encontrar el eco de esta indicación.

En la figura 83 se muestra cómo proceder con el transductor para encontrar este agujero en el bloque de calibración II W tipo 2:

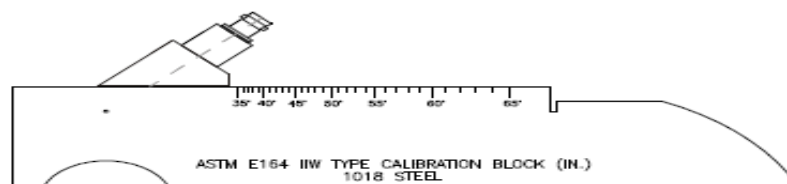


Figura 83 Forma de encontrar el reflector en un bloque IIW tipo 2

Fuente: (Manual de usuario equipo Epoch 1000i)

- b) Ya en la presentación A-Scan, coloque la compuerta sobre el eco más alto y ajuste su altura al 80%.

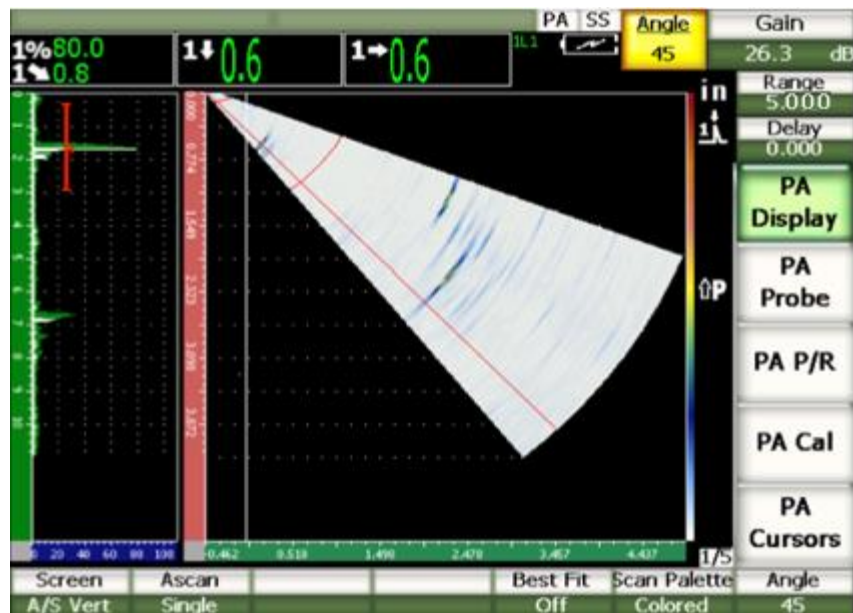


Figura 84 Ajuste del eco de onda

- c) Seleccione 1/5 > PA CAL > Calibration = CAL Gain para comenzar la calibración de la ganancia, y después de esto pulse la tecla de parámetros Add.

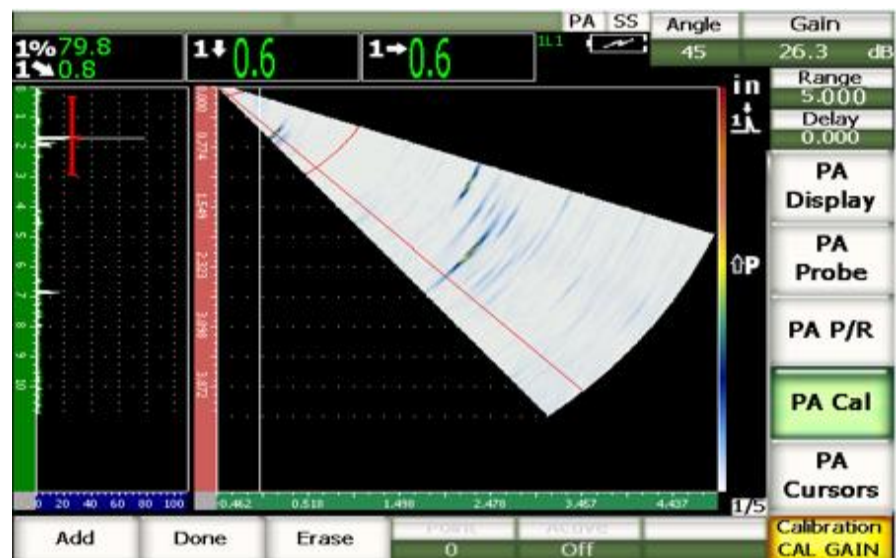


Figura 85 Calibración por ganancia



- d) Aparece una nueva pantalla que representa la lectura de la amplitud de la indicación (barreno) en la compuerta, para todas las leyes focales. Al concluir la alineación de la línea guarde la configuración pulsando la tecla de parámetros **Done**.

NOTA: En la presentación de la izquierda de la figura 86 aparece una curva, la cual debe corregirse para todas las leyes focales, esto se logra moviendo en forma secuencial y con la misma velocidad el transductor en el bloque de calibración, de adelante hacia atrás hasta conseguir una lectura en forma de curva, que representa que se está leyendo el agujero en todos los ángulos.

Para ilustrar lo mencionado, la curva debe tener la siguiente forma (curva amarilla, al lado izquierdo):



Figura 86 Calibración de la línea de ganancia

Con esto se completa la calibración en un equipo de Ultrasonido Epoch 1000i.



5.12 AJUSTE DE SENSIBILIDAD

Para ajustar la sensibilidad del equipo, ésta se debe realizar con un bloque de referencia del mismo material a inspeccionar, el cual contiene una ranura interna y externa, la cual se especifica en la Norma API 1104, obteniendo una Ganancia Corregida en el Tiempo (TCG).

Para este procedimiento general realizado, se utiliza un equipo Epoch 1000i, el cual en el modo Arreglo de Fases solamente cuenta con la opción de Ganancia Variable en el Tiempo (TVG), por lo cual no se requiere del bloque de referencia de la figura 37, sino que el equipo se encarga de regular automáticamente esta ganancia al activar una “tecla función” que se encuentra en 1/5 > PA CAL > Calibration = CAL Gain > Active: On



Figura 87 Ajuste de sensibilidad



5.13 CONDICIÓN SUPERFICIAL

Para este ítem, se especifica las condiciones superficiales que dictaminan las Normas y Códigos referenciales en las cuales se basa el procedimiento. Para el procedimiento ejemplo se rige este punto a la sección 11.4.1 de la Norma API 1104, la cual recomienda que para que se pueda realizar de una manera eficaz una inspección por el método de Ultrasonido, se debe realizar antes un cepillado o grateado en la zona del elemento donde se va a realizar la inspección, en un espacio de 3 pulgadas hacia ambos lados de la soldadura. De presentarse pintura, esta debe ser retirada con grata para no interferir con el ensayo.

5.14 TÉCNICA DE BARRIDO

La técnica de barrido va en función de las Normas y Códigos que rige el diseño del procedimiento.

Para el Ensayo No Destructivo por el método de Ultrasonido se toma en cuenta lo siguiente:

Antes de realizar el ensayo por Ultrasonido se inspecciona previamente el elemento mediante inspección visual para determinar posibles discontinuidades superficiales que afectan con la inspección de Ultrasonido y de esta manera no permiten realizar una inspección por este método.

El barrido realizado con el transductor en el elemento a inspeccionar, utilizando la técnica de arreglo de fases debe cumplir con un desplazamiento paralelo al cordón de soldadura para examinar toda la longitud de la misma. Se recomienda realizar una rotación de 5° a 7° con el transductor para la detección de defectos de orientación.

Se analiza toda discontinuidad detectada que supere el 50% del umbral para determinar si se trata de una indicación.



5.15 DEMOSTRACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO

Este ítem también es fundamental en las Normas y Códigos que rige el procedimiento dependiendo del trabajo que se va a realizar para el método de ensayo Ultrasonico puede ser demostrado de 2 maneras:

- Teniendo 2 probetas soldadas del mismo material con sus respectivas radiografías, para la ubicación de los defectos evidentes, los cuales servirán para ajustar la sensibilidad del equipo.
- Cuando la radiografía no es aplicable, el método de Ultrasonido se demuestra en juntas a tope que tengan defectos comprobados.

5.16 CRITERIO DE REGISTRO E IDENTIFICACIÓN

Para tomar en cuenta una discontinuidad para el análisis, por el ensayo de Ultrasonido utilizando el método de Arreglo de Fases, se debe considerar que la altura del eco del mismo sobrepase el 50%.

5.17 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE ACUERDO A LA NORMA API 1104

Esta parte de la Norma es el criterio específico para detección de fallas en soldadura de tuberías utilizando Ultrasonido, el cual dice que:

Haciendo referencia a la sección 9.6.2 de la Norma API 1104, se tiene los siguientes criterios de aceptación-rechazo:

- 9.6.2.1 Las indicaciones de fisuras determinadas se consideran defectos.
- 9.6.2.2 Las fisuras y las LS (indicaciones en superficie lineal), interpretadas como abiertas a la superficie ID (diámetro interno) u



OD (diámetro externo), deben ser consideradas defectos si existe una de las siguientes condiciones:

- a) La suma de indicaciones LS en una longitud continua de 12" (300mm) de soldadura excede 1" (25 mm).
- b) La suma de indicaciones LS excede 8% de la longitud de la soldadura.

9.6.2.3 Las fisuras y las LB (indicaciones lineales internas), interpretadas como subsuperficiales dentro de la soldadura y no conectadas con la superficie ID u OD, deben ser consideradas defectos si existe una de las siguientes condiciones:

- a) La suma de indicaciones LB en una longitud continua de 12" (300mm) de soldadura excede 2" (50 mm).
- b) La suma de indicaciones LB excede 8% de la longitud de la soldadura.

9.6.2.4 Las fisuras y las T (indicaciones transversales) deben ser consideradas volumétricas y a la vez evaluadas utilizando los criterios para indicaciones volumétricas. La letra T se utiliza para designar todas las indicaciones transversales reportadas.

9.6.2.5 Las VC (indicaciones agrupadas volumétricas) deben considerarse defectos cuando la dimensión máxima de indicaciones de VC excede 1/2" (13mm).



9.6.2.6 Las VI (indicaciones individuales volumétricas) deben considerarse defectos cuando la dimensión máxima excede 1/4" (6mm), tanto en ancho como en longitud.

9.6.2.7 Las VR (indicación de raíz volumétricas) interpretadas como abiertas a la superficie ID deben considerarse defectos si existe una de las siguientes condiciones:

- a) La dimensión de indicaciones VR excede 1/4" (6mm).
- b) La longitud total de indicaciones VR excede 1/2" (13mm) en una longitud continua de 12" (300mm).

9.6.2.8 Cualquier acumulación de AR (indicaciones relevantes) debe ser considerada como defecto cuando existe una de las siguientes condiciones:

- a) La suma de indicaciones sobre el nivel de evaluación excede 2" (50mm) en 12" (300mm) de longitud de soldadura.
- b) La suma de indicaciones sobre el nivel de evaluación excede el 8% de la longitud total de la soldadura.

5.18 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE ACUERDO AL CÓDIGO B31.3

Este ítem es parte del código B31.3 que especifica los criterios de aceptación para detección de fallas en soldadura de tuberías utilizando Ultrasonido, el cual dice:

Los criterios de aceptación descritas en el párrafo 344.6.2 del código B31.3 son:



- a) 6 mm (1/4 in.) for $T_w \leq 19$ mm (3/4 in.)
- b) $T_w/3$ for 19 mm $< T_w \leq 57$ mm (2 1/4 in.)
- c) 19 mm for $T_w > 57$ mm

Siendo “ T_w ” el espesor nominal de pared más delgado de los componentes a ser soldados.

5.19 SISTEMA DE RASTREABILIDAD

El sistema de rastreabilidad da las pautas que deben tener como mínimo los reportes que se generan de la inspección.

Para el procedimiento ejemplo el reporte de inspección por Ultrasonido debe incluir el tipo de equipo utilizado, el número de tubo inspeccionado y el lugar específico donde se encuentre la discontinuidad, separándolas al tratarse de una soldadura longitudinal o circular.

El plan de escaneo por el método de Ultrasonido en modo Phased Array, debe contener las pantallas de A-Scan y S-Scan.

Se marcan todos los defectos que sean encontrados y que a su vez necesiten ser reparados.

5.20 REPORTE

Este ítem simplemente especifica que el procedimiento tiene documentos anexos que determinan la evaluación de la inspección.

Como ejemplo de estos reportes se puede observar en la sección 6.3 un procedimiento aplicado a la inspección ultrasónica para detección de fallas en soldadura de tuberías y la evaluación de los mismos según Normas y Códigos para proceso o transporte de petróleo.

CAPÍTULO 6.

ANÁLISIS EN DEFECTOLOGÍA Y APLICACIÓN PRÁCTICA DEL PROCEDIMIENTO PARA ULTRASONIDO DE ACUERDO CON LA NORMA API 1104 Y CÓDIGO B31.3 PARA UNIONES SOLDADAS A TOPE EN TUBERÍA

Antes del análisis en defectología, para cualquiera que sea el elemento a inspeccionar, se debe calibrar el equipo que se va a utilizar. Para el desarrollo de este capítulo se usó el equipo Olympus Epoch 1000i, donde la calibración se encuentra especificada en la sección 5.11 del presente proyecto de grado.

Dependiendo del tipo de elemento que se va inspeccionar se debe configurar ciertos parámetros del menú de “beam”, detallado en la primera Nota de la sección 5.11. El análisis en defectología se realizó en dos tipos de probetas, donde los valores de los parámetros para cada uno de ellas son:

a) Probeta de entrenamiento certificada (figura 67):

- Espesor/ Thick = 9.45 [mm]
- Geometría / Geometry = Plate

b) Probeta de tubería (figura 60):

- Espesor / Thick = ¼”
- Geometría / Geometry = Tube
- Diámetro / Diameter = 6.625”

Para el control de calidad de la soldadura, el análisis del elemento a inspeccionar, sea para la probeta de entrenamiento certificada o la de tubería, se ejecutó siguiendo los parámetros descritos en el manual de procedimientos del capítulo 5.

6.1 ANÁLISIS DE DEFECTOS EN UNIONES SOLDADAS A TOPE DE PROBETAS CON DEFECTOS CONOCIDOS

a) DEFECTOS TÍPICOS EN UNIONES SOLDADAS A TOPE

Los defectos que se presentan comúnmente en una unión soldada, se los menciona en el siguiente listado, estos a su vez están presentes en las probetas implementadas en el laboratorio de Ciencia de los Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”.

- Fisura en raíz de la soldadura
- Fisura en la línea de centro de la soldadura
- Fisura en el pie de la soldadura
- Porosidad
- Falta de fusión en el bisel
- Penetración incompleta en raíz
- Laminación
- Penetración incompleta en el cuerpo de la soldadura
- Escoria

b) FORMA DE ANÁLISIS POR ULTRASONIDO CON ARREGLO DE FASES

Para la detección de los defectos típicos, mediante Ultrasonido por Arreglo de Fases, se deben encontrar las señales apropiadas que entrega el equipo, e interpretarlas mediante la morfología que tiene sus picos, representados en la pantalla del equipo en la presentación A-Scan y los cambios de impedancias acústicas en sus diferentes representaciones de señales.

Para realizar un ejemplo práctico de lo antes descrito se analizarán 3 tipos de discontinuidades presentes en las probetas certificadas con defectos conocidos de la sección 4.3.3. Estas discontinuidades son: penetración incompleta en el cuerpo de la soldadura, falta de fusión en el bisel y porosidad en la soldadura, las cuales son evaluadas en las representaciones de:

- Escaneo sectorial (S-Scan).
- Escaneo de la amplitud del eco (A-Scan)

Teniendo en cuenta los parámetros de la amplitud del eco, cambio de impedancia acústica, profundidad al reflector, distancia superficial y camino sónico para el análisis de los defectos en probetas soldadas a tope utilizando el Ensayo No Destructivo por Arreglo de fases.

c) ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE DEFECTOS EN PROBETAS SOLDADAS A TOPE

El análisis de una unión soldada a tope utilizando el Ensayo No Destructivo de Ultrasonido con Arreglo de Fases debe evaluar los siguientes parámetros de las presentaciones A-Scan y S-Scan del equipo de Ultrasonido:

PARA LA PRESENTACIÓN A-SCAN

- A: Es la amplitud del eco generado por la energía que regresa a causa del reflector encontrado.
- SA: Es el camino sónico que recorre la onda hasta el reflector.
- DA: Es la profundidad a la que se encuentra el reflector en el elemento inspeccionado.
- PA: Es la distancia desde la zapata hasta el reflector encontrado en el elemento inspeccionado.

NOTA: Estos parámetros se pueden observar de mejor manera en la figura 26 del presente proyecto de grado.

PARA LA PRESENTACIÓN S-SCAN

- **ÁNGULO:** Este será el ángulo en donde se encuentra el defecto en la soldadura mostrado en el equipo. Esta ubicación puede ser, dependiendo del ángulo:
 - Subsuperficial en raíz
 - Interno
 - Subsuperficial en capa

- LONGITUD: Este parámetro determina la longitud paralela al cordón de soldadura, determinada como defecto según la norma API 1104 y Código ASME B31.3.

Con el fin de poder visualizar claramente el defecto se tiene que determinar un intervalo del rango de evaluación.

El rango de evaluación se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Rango = \frac{2.5 \times t}{\cos(\theta)} \quad (10)$$

Donde:

t= espesor

θ = ángulo de refracción

Donde, el rango de medición para las probetas de entrenamiento certificadas (que tienen el mismo espesor) es:

$$Rango = \frac{2.5 \times 9.45}{\cos(70)}$$

$$Rango = 69.07 \text{ [mm] } \approx 70 \text{ [mm]}$$

La validación se realizó para tener la certeza de que las indicaciones encontradas y evaluadas como defectos con el END de Ultrasonido sean verídicas.

Esta validación se realizó utilizando secciones macro del corte transversal de las probetas que fueron analizadas y evaluadas, las cuales se pueden observar en la figura 68.

Al contar con la sección transversal donde se encuentra el defecto en la probeta, esta permite conocer la distancia de la profundidad al reflector y la forma del defecto, por lo cual estas secciones macro sirven para la validación por Inspección Visual del defecto que contiene la probeta.

NOTA: La medición de la profundidad al defecto de cada una de las secciones macro fue medida con un pie de rey digital.


Para efecto del análisis y validación se muestran las siguientes tablas de las presentaciones A-Scan y S-Scan para el análisis, y las secciones macro para la validación de la técnica de ensayo ultrasónico.

1) Probeta con Penetración incompleta en el cuerpo de la soldadura.

- Análisis en la presentación S-Scan.

Tabla 8

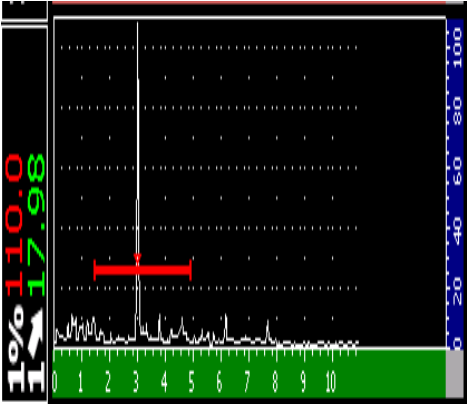
Presentación S-Scan de Penetración incompleta en soldadura

Gráfico	Parámetros		Observaciones
	Ángulo [grado]	Longitud [mm]	
	70 ⁰	25	Defecto encontrado a un rango de 70 mm

- Análisis en la presentación A-Scan.

Tabla 9


Presentación A-Scan de Penetración incompleta en soldadura

Gráfico	Parámetros				Observaciones
	A %	SA [mm]	DA [mm]	PA [mm]	
	110	17.98	6.15	16.90	El pico de la onda sobrepasa el 50%

- Validación por secciones macro

Tabla 10

Validación de penetración incompleta

Método que valida	Imagen	Parámetros		Veredicto
		Forma	DA [mm]	
Inspección Visual		Penetración incompleta en el cuerpo de la soldadura	6.15	Se confirma que la distancia (DA) coincide en ambos Ensayos No Destructivos

2) Probeta con falta de fusión en el bisel de la soldadura

- Análisis en la presentación S-Scan.

Tabla 11

Presentación S-Scan de falta de fusión en soldadura

Gráfico	Parámetros		Observaciones
	Ángulo [grado]	Longitud [mm]	
	66 ⁰	25	Defecto encontrado a un rango de 70 mm

- Análisis en la presentación A-Scan.

Tabla 12

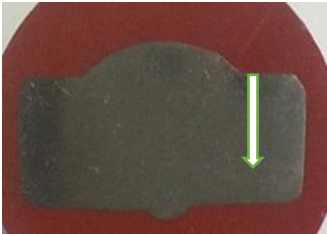
Presentación A-Scan de falta de fusión en soldadura

Gráfico	Parámetros				Observaciones
	A %	SA [mm]	DA [mm]	PA [mm]	
	110	23.49	9.25	21.46	El pico de la onda sobrepasa el 50%

- Validación por secciones macro

Tabla 13

Validación de la falta de fusión

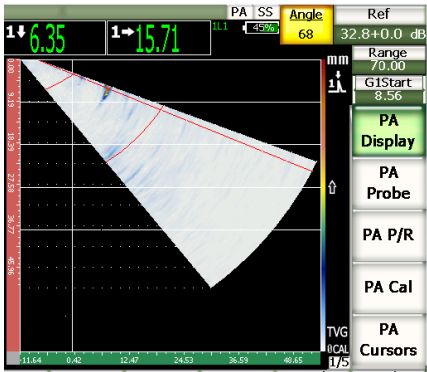
Método que valida	Imagen	Parámetros		Veredicto
		Forma	DA [mm]	
Inspección Visual		Falta de fusión en el bisel de la soldadura	9.25	Se confirma que la distancia (DA) coincide en ambos Ensayos No Destructivos

3) Probeta con porosidad en el cuerpo de la soldadura.

- Análisis en la presentación S-Scan.

Tabla 14

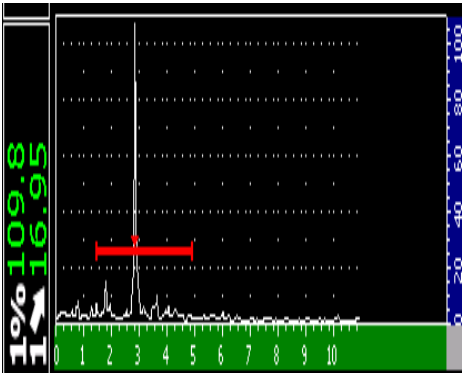
Presentación S-Scan con porosidad en soldadura

Gráfico	Parámetros		Observaciones
	Ángulo [grado]	Longitud [mm]	
	68°	23	Defecto encontrado a un rango de 70 mm

- Análisis en la presentación A-Scan.

Tabla 15


Presentación A-Scan con porosidad en soldadura

Gráfico	Parámetros				Observaciones
	A %	SA [mm]	DA [mm]	PA [mm]	
	110	16.95	6.35	15.71	El pico de la onda sobrepasa el 50%

- Validación por secciones macro


Tabla 16

Validación de porosidad

Método que valida	Imagen	Parámetros		Veredicto
		Forma	DA [mm]	
Inspección Visual		Porosidad en el cuerpo de la soldadura	6.35	Se confirma que la distancia (DA) coincide en ambos Ensayos No Destructivos

6.2 APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO EN PROBETA DE TUBERÍA PARA PROCESO Y TRANSPORTE DE PETRÓLEO UTILIZANDO EL MÉTODO DE ULTRASONIDO


Como se mencionó en el Manual de Procedimientos de Inspección Ultrasonica para detección de fallas en soldadura de tubería, en toda actividad de inspección que se realiza empleando el Ensayo No Destructivo de Ultrasonido se requiere de un procedimiento que estandarice los pasos a seguir en el análisis de uniones soldadas a tope, para lo cual, aplicando el formato que se diseñó en la sección 4.2 se elaboró un procedimiento específico para la inspección de tubería de proceso y de transporte de petróleo, evaluando su cumplimiento con la Norma API 1104 y Código ASME B31.3, documentando todo esto en los reportes obtenidos.

	PROCEDIMIENTO POR INSPECCIÓN ULTRASÓNICA PARA DETECCIÓN DE FALLAS EN SOLDADURA DE TUBERÍAS	PROC: ESPE-UT-01 REV. 0
		Página 1 de 7

PROCEDIMIENTO PARA INSPECCIÓN DE SOLDADURA POR ULTRASONIDO MEDIANTE LA TÉCNICA DE ARREGLO DE FASES

1. OBJETIVO
2. ALCANCE
3. PERSONAL
4. NORMAS Y CÓDIGOS DE REFERENCIA
5. MATERIALES Y CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES
6. GEOMETRÍA DE LA JUNTA
7. EQUIPO DE ULTRASONIDO
8. TRANSDUCTOR Y ZAPATA
9. ELEMENTO ACOPLANTE
10. TÉCNICA A SER USADA
11. MÉTODO DE CALIBRACIÓN
12. AJUSTE DE SENSIBILIDAD
13. CONDICIÓN SUPERFICIAL
14. TÉCNICA DE BARRIDO
15. DEMOSTRACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO
16. CRITERIO DE REGISTRO E IDENTIFICACIÓN
17. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE ACUERDO A LA NORMA API 1104
18. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE ACUERDO AL CÓDIGO B31.3
19. SISTEMA DE RASTREABILIDAD
20. REPORTES

ELABORADO POR: Diego Sucuzhañay	REVISADO POR: Jaime Pérez	APROBADO POR: Ing. Patricio Riofrío
Firma:	Firma:	Firma:
Fecha:2015/02/19	Fecha:2015/02/19	Fecha:2015/02/20

	PROCEDIMIENTO POR INSPECCIÓN ULTRASÓNICA PARA DETECCIÓN DE FALLAS EN SOLDADURA DE TUBERÍAS	PROC: ESPE-UT-01 REV. 0
		Página 2 de 7

1. OBJETIVO

Desarrollar un procedimiento de soldadura en uniones a tope para tubería, detectando discontinuidades por el Ensayo No Destructivo de Ultrasonido con la técnica de Arreglo de Fases.

2. ALCANCE

Cubre el método de Ultrasonido para la técnica de Arreglo de Fases en juntas a tope para tubería, enfocado a la soldadura.

La tubería de inspección debe estar dentro del rango de las siguientes características dimensionales, especificadas en la Norma API 1104 sección 6:


- Diámetro exterior desde 2.375” hasta 12.75”.
- Rango de espesores desde 3/16” hasta 3/4”.
- Materiales de la tubería API-5L-X42, X46, X52, X70, o equivalentes.

3. PERSONAL

De acuerdo con la práctica No. SNT-TC-1A, los Niveles I o II son los encargados de ejecutar la inspección en campo.

4. NORMAS Y CÓDIGOS DE REFERENCIA

- API Standard 1104, SOLDADURA DE TUBERÍAS, Adenda 2011.
- ASME B31.3, TUBERÍA DE PROCESO, Adenda 2010.

	PROCEDIMIENTO POR INSPECCIÓN ULTRASÓNICA PARA DETECCIÓN DE FALLAS EN SOLDADURA DE TUBERÍAS	PROC: ESPE-UT-01 REV. 0
		Página 3 de 7

5. MATERIALES Y CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES

- Material de la tubería.- API 5LX42
- Diámetro de la tubería.- 6”
- Espesor de la tubería.- 1/4”

6. GEOMETRÍA DE LA JUNTA

Soldadura en tubería, junta a tope, bisel en V.

NOTA: Para mayor detalle revisar el WPS en la sección 4.3.3 del presente proyecto de grado.

7. EQUIPO DE ULTRASONIDO

Para la ejecución de la inspección con este procedimiento, utilizar el siguiente equipo:

- Equipo de Ultrasonido marca Olympus, modelo Epoch 1000i.

8. TRANSDUCTOR Y ZAPATA


Usar un transductor multielementos marca Olympus serie 5L16-A10P, de 5 MHz y 16 elementos, montado con una zapata angular serie SA10P-N55S.

9. ELEMENTO ACOPLANTE

Como elemento acoplante utilizar carboximetil celulósico (CMC), denominado también Gel biodegradable.

10. TÉCNICA A SER USADA

La técnica a emplear para la elaboración del procedimiento es Ultrasonido por Arreglo de Fases, en el cual interviene solamente la utilización de ondas transversales.

	PROCEDIMIENTO POR INSPECCIÓN ULTRASÓNICA PARA DETECCIÓN DE FALLAS EN SOLDADURA DE TUBERÍAS	PROC: ESPE-UT-01 REV. 0
		Página 4 de 7

11. MÉTODO DE CALIBRACIÓN

11.1 Calibración mediante el Manual Olympus Epoch 1000i

Para este procedimiento usar como base el manual del equipo Epoch series 1000 y un bloque Patrón de calibración II W tipo 2.

11.2 Calibración con transductor de haz angular


Los pasos de las secciones a continuación describen una calibración utilizando un bloque tipo ASTM II W tipo 2, de acero al carbono. Utilizar para la calibración un transductor Olympus 5L16-A10P, con una frecuencia de 5MHz, esto acoplado a una zapata angular SA10P-N55S.

Para calibrar, siga estos pasos:

1.- Antes de encender el equipo Olympus Epoch 1000i, conectar el transductor Olympus 5L16-A10P al módulo de Arreglo de Fases.

2.- Al encender, el detector del equipo reconoce automáticamente al transductor y la zapata, y en ese instante se abre la página de configuración del haz, en el cual se debe especificar los siguientes parámetros:

- a) Coloque el espesor del bloque de calibración, que es de 4”.
- b) Establezca la forma de la pieza bajo ensayo en la geometría, la cual es: plate.
- c) Ingrese el diámetro nominal al que se va a realizar la inspección. Para la probeta de tubería de inspección es de 6.625”.

	PROCEDIMIENTO POR INSPECCIÓN ULTRASÓNICA PARA DETECCIÓN DE FALLAS EN SOLDADURA DE TUBERÍAS	PROC: ESPE-UT-01 REV. 0
		Página 5 de 7

d) Introduzca la velocidad de onda del material que será inspeccionado, la cual es 0.128 in/us.

e) Coloque el rango de ángulos para lectura en Phased Array , los cuales para defectología son: de 40° a 70° .

3.- Ya en el modo de operación del equipo proceder a calibrar 3 parámetros que requiere el Olympus Epoch 1000i para defectología, los cuales son:


a) Velocidad de propagación de la onda ultrasónica.- Mediante la ayuda de 2 radios de distancia conocidos, ubicados en el bloque II W tipo 2, realizar la calibración de este parámetro.

b) Retardo de la zapata.- Al tener una zapata angular para la calibración de este parámetro, esto genera diferentes distancias al metal base de los múltiples cristales emisores del tren de ondas, por lo cual es necesario que el equipo genere una secuencia de disparos de la onda de cada uno de los cristales para que de esta manera se produzca un tren de ondas refractado coherente.

c) Sensibilidad.- Mediante la ayuda de reflectores de diámetro de 1/16", a una profundidad de 0.6", se determina el número de decibeles necesarios para que este tipo de indicaciones alcancen amplitudes que se puedan visualizar en la presentación A-Scan.

12. AJUSTE DE SENSIBILIDAD

Se realiza con un bloque de referencia del mismo material a inspeccionar, el cual contendrá una ranura interna y externa, en este ítem el equipo Olympus Epoch 1000i calibra automáticamente la sensibilidad.

	PROCEDIMIENTO POR INSPECCIÓN ULTRASÓNICA PARA DETECCIÓN DE FALLAS EN SOLDADURA DE TUBERÍAS	PROC: ESPE-UT-01 REV. 0
		Página 6 de7

13. CONDICIÓN SUPERFICIAL

Para proceder a realizar una inspección por el método de Ultrasonido, realizar antes un cepillado o grateado en donde se realiza la inspección en un espacio de 3 pulgadas en ambos lados de la soldadura, si hay pintura retirar con grata para no interferir con el ensayo.

14. TÉCNICA DE BARRIDO

Inspeccionar la soldadura previamente mediante inspección visual, para determinar posibles discontinuidades superficiales que afecten la inspección de Ultrasonido.

Cumplir con un desplazamiento paralelo al cordón de soldadura para examinar toda la longitud de la misma. Se recomienda realizar una rotación de 5° a 7° con el transductor para la detección de defectos de orientación. Analizar toda discontinuidad detectada que supere el 50% del umbral para determinar si se trata de una indicación.

15. DEMOSTRACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO

El método de ensayo puede ser demostrado de 2 maneras, el primero es teniendo 2 probetas soldadas del mismo material con sus respectivas radiografías, para la ubicación de los defectos evidentes, los cuales sirven para ajustar la sensibilidad del equipo; y, el segundo caso, cuando la radiografía no es aplicable, el método de Ultrasonido debe demostrar con juntas a tope que existen defectos comprobados.

	PROCEDIMIENTO POR INSPECCIÓN ULTRASÓNICA PARA DETECCIÓN DE FALLAS EN SOLDADURA DE TUBERÍAS	PROC: ESPE-UT-01 REV. 0
		Página 7 de 7

16. CRITERIO DE REGISTRO E IDENTIFICACIÓN

Todas las discontinuidades cuyo eco sobrepase el 50% de la altura máxima del eco en la pantalla deben ser examinadas.

17. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE ACUERDO A LA NORMA API 1104

Los criterios de aceptación-rechazo específicos para el examen de Ultrasonido que dictamina la Norma API 1104 están descritos en el inciso 9.6.2 de esta Norma, citados en la sección 3.2.2.1 del presente proyecto de grado.

18. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE ACUERDO AL CÓDIGO B31.3

Los criterios de aceptación que dictamina el código para la inspección Ultrasonica están descritos en el párrafo 344.6.2 de Código ASME B31.3, el cual se encuentra citado en la sección 3.3.6.1 del presente proyecto de grado.

19. SISTEMA DE RASTREABILIDAD

El plan de escaneo por el método de Ultrasonido en modo de Arreglo de Fases, debe contener las pantallas de A-Scan y S-Scan.

Marcar todos los defectos que sean encontrados y que a su vez necesiten ser reparados.

20. REPORTE

Presentar en documentos adjuntos los reportes, uno debe contener la inspección del procedimiento y otro, el reporte que genera el equipo de Ultrasonido Olympus Epoch 1000i, los cuales se puede observar en la sección 6.3 del presente proyecto de grado.

FIN DEL PROCEDIMIENTO

6.3 TABULACIÓN DE DATOS OBTENIDOS DEL PROCEDIMIENTO ESPE-UT-01 REALIZADO PARA PROBETA DE TUBERÍA

Se presenta a continuación los reportes que deben ir anexados a un procedimiento por inspección ultrasónica para detección de fallas en soldadura de tuberías, siguiendo los criterios de aceptación-rechazo de la Norma API 1104 y código ASME B31.3.

Los reportes que se presentan son:

- Reporte de inspección técnica por Ultrasonido de Arreglo de Fases, el cual realiza el inspector del Ensayo, describiendo los tipos de defectos encontrados en el elemento inspeccionado, en este reporte se incluye todas las variables que se requieren al momento de realizar la inspección.
- Reporte del Equipo de Ultrasonido con el cuál se realizó la inspección, en donde se presenta los tipos de pantalla donde se localizó el defecto.

a) Reporte de Inspección Técnica por Ultrasonido

El reporte a continuación, es de una inspección a una tubería API 5LX42 la cual tiene defectos inducidos que están descritos en la sección 4.3.3 del presente proyecto de grado, y fueron evaluados con el Ensayo No Destructivo de Ultrasonido en modo de Arreglo de Fases.



INSPECCIÓN TÉCNICA

REPORTE DE INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO PHASED ARRAY

CLIENTE:				INSPECCIÓN DE PROBETA DE TUBERÍA DE UNIÓN SOLDADA A TOPE PARA TRANSPORTE DE PETRÓLEO					
Procedimiento:	Material:	Espesor material:	Acoplante:						
ESPE-UT-01	API 5L X 42	6,35 mm	CMC						
Técnica:	Equipo:	Tipo de Junta:	Longitud Total inspeccionada (m)						
Barrido superficial	EPOCH 1000i	A TOPE, BISEL EN V	0,53						
Transductor:	Frecuencia:	Angulo transductor:	Proceso de soldadura:						
5L16-A10P	5 Mhz	40°-70°	SMAW						
No.	Identificación Soldadura	OD pulg	Soldadores	Longitud (m)	Calificación		Ubicación del defecto(mm)		OBSERVACIONES
					SI	NO	PA	DA	
1	J1 - DEFECTO 1	6"	W- 01	0,53	✓		19,37	4,88	VR (92-104) mm
2	J1 - DEFECTO 2	6"	W-01	0,53		✓	15,36	5,21	VC (281-297) mm
3	J1 - DEFECTO 3	6"	W-01	0,53	✓		16,88	5,18	T (381) mm

Fecha:	lunes, 23 de febrero de 2015	Lugar:	Laboratorio Ciencia de los Materiales:	x		Informe No:	1 H de 1/1	Unidad:	UT-01
No. Sol. Inspeccionadas:	1	Cód. de Aceptación:	API 1104/ASME B31.3	Código de Referencia:	ASME V				
	-		Ing. Patricio Riofrío		Ing. Patricio Quezada				
	CLIENTE		FISCALIZACIÓN		CALIFICADOR				
Fecha:	lunes, 23 de febrero de 2015		lunes, 23 de febrero de 2015		lunes, 23 de febrero de 2015				

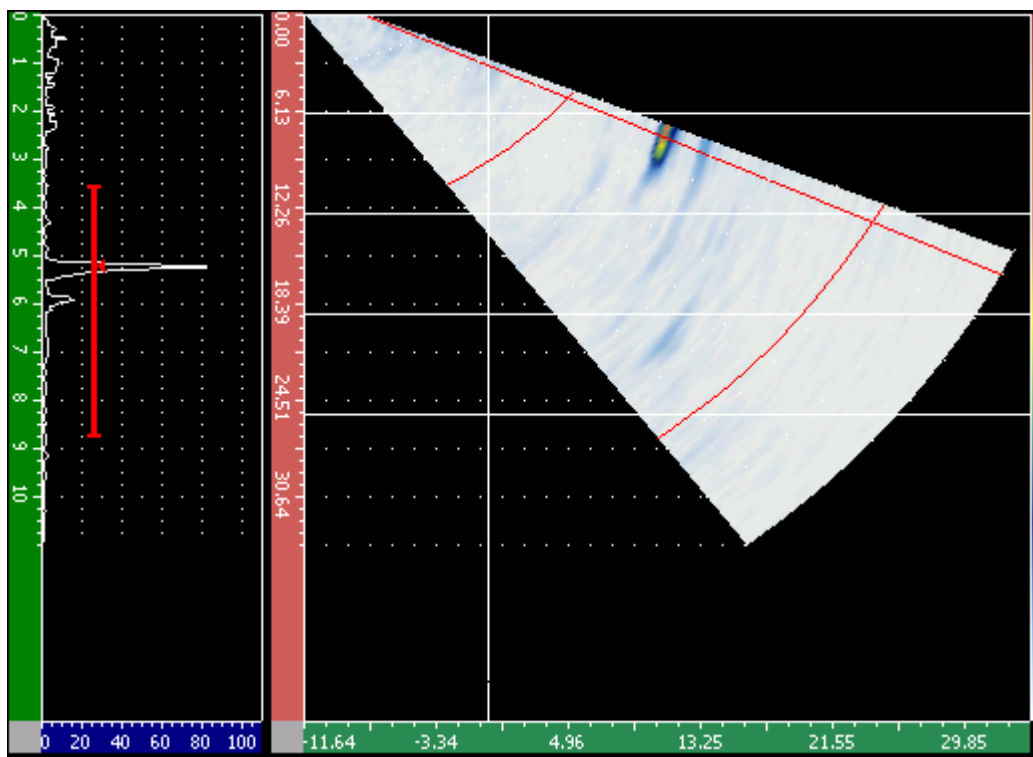
LB	Indicación lineal interna	VR	Indicación de raíz volumétrica
LS	Indicación en superficie lineal	VC	Indicación agrupada
T	Indicación transversal	VI	Indicación individual

Figura 88 Reporte de inspección por Ultrasonido

b) Reportes del Equipo Olympus Epoch 1000i.

Defecto 1.- Quemón en la soldadura

1%	84.3	1↓	4.88	1→	19.37	1↘	20.89		
	1L2								Unit:MM - PA

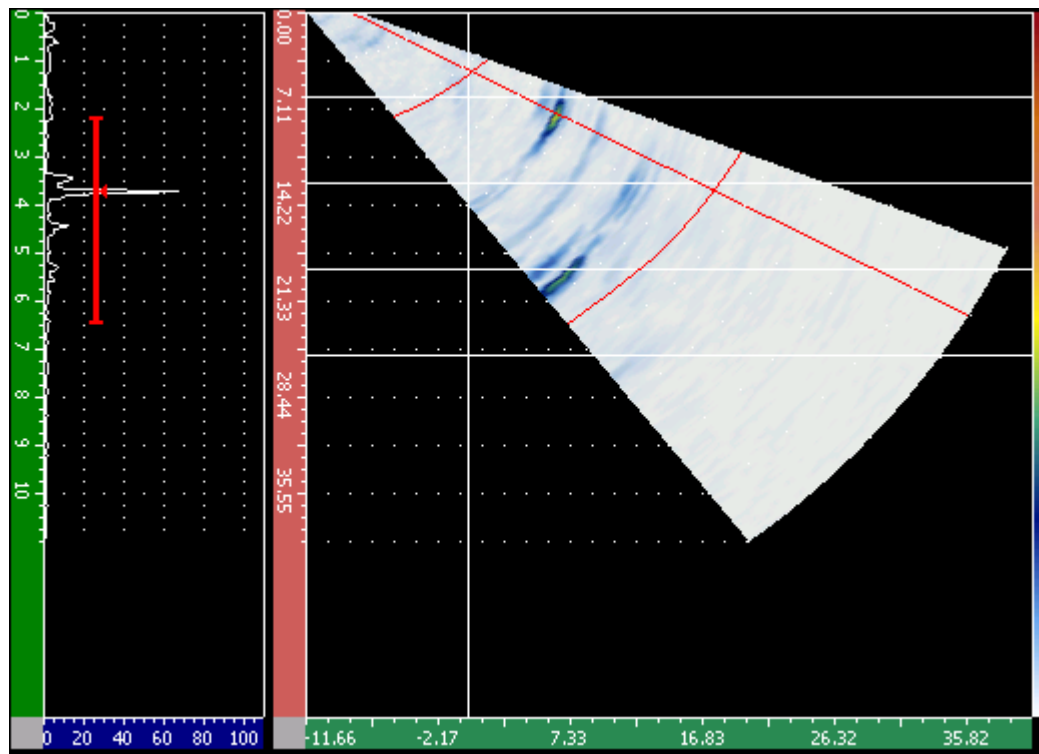


Delay:0.00				Range:40.00		
Gain:32.8+0.0dB		PRF:920Hz		Mode:P/E		
Velocity:3204m/s		Freq:5.00MHz		Filter:1.5-8.5		
Zero:0.000µs		Energy:100V		Rect:Full		
Angle:68.0°		Damp:50Ω		Thick:6.35		
Reject:0		Pulser:Square		Video Filter:Off		
Start:14.08	Width:21.04	Level:25%	Alarm:Off	1↓		
Probe ID:5L16-A10P		Wedge ID:SA10-N55S		Start Angle:40	End Angle:70	Angle Step:1
Calibration:CAL GAIN		Point:1				
Calibration:CAL Zero						

Figura 89 Reporte del Equipo Epoch del quemón en la soldadura

Defecto 2.- Escoria Alargada

1%	69.0	1↓	5.21	1→	15.36	1↘	17.09		
	1L2								Unit:MM - PA

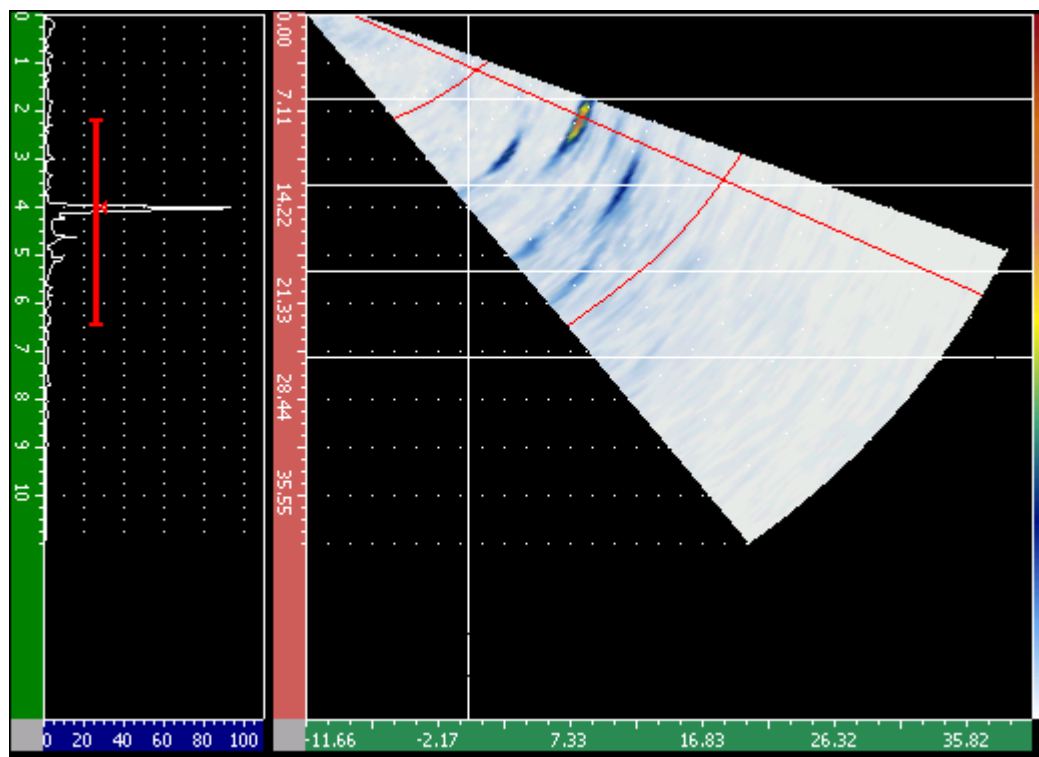


Delay:0.00				Range:46.41	
Gain:29.4dB		PRF:920Hz		Mode:P/E	
Velocity:3214m/s		Freq:5.00MHz		Filter:1.5-8.5	
Zero:0.000µs		Energy:100V		Rect:Full	
Angle:64.0°		Damp:50Ω		Thick:6.35	
Reject:0		Pulser:Square		Video Filter:Off	
Start:10.00	Width:20.00	Level:25%	Alarm:Off	↓	
Probe ID:5L16-A10P		Wedge ID:SA10-N55S	Start Angle:40	End Angle:70	Angle Step:1
Calibration:CAL Zero					

Figura 90 Reporte del Equipo Epoch de escoria alargada en la soldadura

Defecto 3.- Falta de fusión en el bisel de la soldadura

1%	95.8	1↓	5.18	1→	16.88	1↘	18.48		
	1L2								Unit:MM - PA



Delay:0.00				Range:46.41	
Gain:29.4dB		PRF:920Hz		Mode:P/E	
Velocity:3214m/s		Freq:5.00MHz		Filter:1.5-8.5	
Zero:0.000µs		Energy:100V		Rect:Full	
Angle:66.0°		Damp:50Ω		Thick:6.35	
Reject:0		Pulser:Square		Video Filter:Off	
Start:10.00	Width:20.00	Level:25%	Alarm:Off	1↓	
Probe ID:5L16-A10P		Wedge ID:SA10-N55S	Start Angle:40	End Angle:70	Angle Step:1
Calibration:CAL Zero					

Figura 91 Reporte del Equipo Epoch de falta de fusión en la soldadura

6.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A continuación se detallan dos informes del procedimiento por inspección ultrasónica para detección de fallas en tubería; el primer informe se aplica la Norma API 1104 y en el segundo el Código ASME B31.3:

<p>ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA</p>	<p>IIINFORME DE RESULTADOS DE INSPECCIÓN DE CONTROL DE SOLDADURA</p>
---	---

REFERENCIA: Procedimiento ESPE-UT-01	FECHA: 24-feb-15
---	-------------------------

NORMA/CÓDIGO DE EVALUACIÓN: NORMA API 1104	
TÉCNICA END UTILIZADA: Ultrasonido	MODO: Arreglo de Fases
TIPO DE INSPECCIÓN: Defectología	
ELEMENTO INSP: Tubería API 5LX42 SCH 40	ESPESOR 6,35 mm

RESOLUCIÓN:

En función al Procedimiento ESPE-UT-01, se determina que :

Se encontró tres indicaciones relevantes:

Indicación de raíz volumétrica , indicación agrupada volumétrica e indicación transversal.

Para la aceptación o rechazo del elemento inspeccionado se tomó en consideración los siguientes criterios de aceptación-rechazo de la Norma API 1104:


CRITERIOS DE ACEPTACIÓN-RECHAZO API 1104		
TIPO DE INDICACIÓN	DISCONTINUIDAD	ES DEFECTO SI:
Indicación de raíz volumétrica	Quemón	El agregado de la longitud de VR, en 12" (300mm) es > 1/2" (13mm)
Indicación agrupada volumétrica	Escoria alargada	El agregado de la longitud de VC excede 13 mm
Indicación transversal	Falta de fusión en el bisel	Las indicaciones volumétricas individuales deben considerarse defectos cuando la dimensión máxima excede 1/4" (6mm)

CARACTERÍSTICA DE LA INDICACIÓN		
indicación	defecto	longitud(mm)
VR	Quemón	12
VC	Escoria alargada	16
T	Falta de fusión en el bisel	-

De acuerdo a la sección 9.6.2 de la Norma API 1104, por tener una indicación VC con longitud de 16 mm, la cual sobrepasa a la medida límite del criterio de aceptación se determina que la tubería se rechaza .

Elaborado por:	Diego Sucuzhañay	Revisado por:	Jaime Pérez	Aprobado por:	Ing. Patricio Riofrío
Fecha:	25/02/2015	Fecha:	25/02/2015	Fecha:	25/02/2015

Figura 92 Informe de resultados aplicando la Norma API 1104

		II INFORME DE RESULTADOS DE INSPECCIÓN DE CONTROL DE SOLDADURA																		
REFERENCIA: Procedimiento ESPE-UT-01			FECHA: 27-feb-15																	
NORMA/CÓDIGO DE EVALUACIÓN: CÓDIGO ASME B31.3																				
TÉCNICA END UTILIZADA: Ultrasonido			MODO: Arreglo de Fases																	
TIPO DE INSPECCIÓN: Defectología																				
ELEMENTO INSP: Tubería API 5LX42 SCH 40			ESPESOR 6,35 mm																	
RESOLUCIÓN:																				
<p>En función al Procedimiento ESPE-UT-01, se determina que :</p> <p>Se encuentran tres indicaciones relevantes: Indicación de raíz volumétrica , indicacion agrupada volumétrica e indicación transversal.</p> <p>Para la aceptación o rechazo del elemento inspeccionado se tomó en consideración los siguientes criterios del Código ASME B31.3</p>																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CRITERIOS DE ACEPTACIÓN-RECHAZO ASME B31.3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>a)</td> <td>6 mm (1/4 in.) for $T_w \leq 19$ mm (3/4 in)</td> </tr> <tr> <td>b)</td> <td>$T_w/3$ for $19 \text{ mm} < T_w \leq 57$ mm (2 1/4 in)</td> </tr> <tr> <td>c)</td> <td>19 mm for $T_w > 57$ mm</td> </tr> </tbody> </table>						CRITERIOS DE ACEPTACIÓN-RECHAZO ASME B31.3		a)	6 mm (1/4 in.) for $T_w \leq 19$ mm (3/4 in)	b)	$T_w/3$ for $19 \text{ mm} < T_w \leq 57$ mm (2 1/4 in)	c)	19 mm for $T_w > 57$ mm							
CRITERIOS DE ACEPTACIÓN-RECHAZO ASME B31.3																				
a)	6 mm (1/4 in.) for $T_w \leq 19$ mm (3/4 in)																			
b)	$T_w/3$ for $19 \text{ mm} < T_w \leq 57$ mm (2 1/4 in)																			
c)	19 mm for $T_w > 57$ mm																			
Siendo T_w el espesor nominal de pared de la tubería.																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">CARACTERÍSTICA DE LA INDICACIÓN</th> </tr> <tr> <th>indicación</th> <th>defecto</th> <th>longitud(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>VR</td> <td>Quemón</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>VC</td> <td>Escoria alargada</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>T</td> <td>Falta de fusión en el bisel</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>						CARACTERÍSTICA DE LA INDICACIÓN			indicación	defecto	longitud(mm)	VR	Quemón	12	VC	Escoria alargada	16	T	Falta de fusión en el bisel	-
CARACTERÍSTICA DE LA INDICACIÓN																				
indicación	defecto	longitud(mm)																		
VR	Quemón	12																		
VC	Escoria alargada	16																		
T	Falta de fusión en el bisel	-																		
<p>De acuerdo al párrafo 344.6.2 del Código ASME B31.3 por tener una sumatoria de longitud de indicaciones relevantes igual a 28 mm la tubería se rechaza.</p>																				

Elaborado por:	Diego Sucuzhañay	Revisado por:	Jaime Pérez	Aprobado por:	Ing. Patricio Riofrío
Fecha:	25/02/2015	Fecha:	25/02/2015	Fecha:	25/02/2015

Figura 93 Informe de resultados aplicando el código ASME B31.3

6.5 VALIDACIÓN DE LAS INTERPRETACIONES


En las siguientes tablas se muestra el método de validación con inspección radiográfica efectuado a la probeta de tubería, centrándose el análisis en los defectos encontrados por este método.

NOTA.- La toma completa de la radiografía industrial se encuentra en el Anexo C del presente proyecto de grado.

a) Defecto 1.- Quemón en la soldadura

Tabla 17


Radiografía del quemón en la soldadura

Método que valida	Imagen	Parámetros		Veredicto
		Forma	Longitud [mm]	
Radiografía Industrial		Redondeada	13	Se determina que la longitud del defecto coincide en las dos pruebas de END

b) Defecto 2.- Escoria alargada

Tabla 18

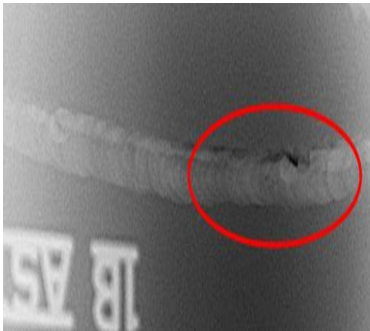
Radiografía de la escoria alargada en la soldadura

Método que valida	Imagen	Parámetros		Veredicto
		Forma	Longitud [mm]	
Radiografía Industrial		Tubos alargados	16	Se determina que la longitud del defecto coincide en las dos pruebas de END

c) Defecto 3.- Falta de fusión en el bisel de la soldadura

Tabla 19

Radiografía de la falta de fusión en la soldadura

Método que valida	Imagen	Parámetros		Veredicto
		Forma	Longitud [mm]	
Radiografía Industrial		Línea gruesa	-	Se determina que la longitud del defecto coincide en las dos pruebas de END

6.6 ELABORACIÓN DE GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO

A fin de que los estudiantes de Ingeniería Mecánica conozcan la técnica del Ensayo No Destructivo de Ultrasonido, se diseñó una guía de práctica de

laboratorio, que tiene como elemento de inspección principal el Kit de probetas de entrenamiento certificadas que permite al estudiante obtener las habilidades necesarias para interpretar un defecto interno de soldadura.

El formato que se menciona a continuación, describe los parámetros que se deben tomar en cuenta para el desarrollo de una práctica de laboratorio en Ensayo No Destructivo por Ultrasonido en modo de Arreglo de Fases.

NOTA: La práctica desarrollada en su totalidad se encuentra en la parte del Anexo A del presente proyecto de Grado.

LABORATORIO DE CIENCIA DE LOS MATERIALES

Práctica N°. 1

TEMA: ANÁLISIS DE DEFECTOLOGÍA EN UNIONES SOLDADAS A TOPE MEDIANTE ULTRASONIDO POR ARREGLO DE FASES

I.- OBJETIVOS:

a) Objetivo General:

- Identificar defectos de soldadura en uniones a tope de probetas, mediante el método de Ultrasonido por Arreglo de Fases.

b) Objetivos Específicos:

- Analizar los ecos de amplitud que se presentan de los diferentes defectos encontrados en las probetas.
- Conocer la manipulación correcta del equipo de Ultrasonido Epoch 1000i.
- Validar los resultados obtenidos por el método de Ultrasonido.

II.- MARCO TEÓRICO:

III.- EQUIPO, MATERIALES E INSTRUMENTOS:

IV.- PROCEDIMIENTO:

V.- RESULTADOS:

Tabla 20

Datos de profundidad al reflector

Profundidad al reflector				
Medida No.	Medida equipo (xi) [mm]	Medida referencial (p) [mm]	Desviación (Xi -p)	Error relativo (%)
1				
2				
3				
4				
5				
Promedio				

Tabla 21

Datos de distancia superficial

Distancia Superficial				
Medida No.	Medida equipo (xi) [mm]	Medida referencial (p) [mm]	Desviación (Xi -p)	Error relativo (%)
1				
2				
3				
4				
5				
Promedio				

Tabla 22

Datos de camino sónico

Camino Sónico				
Medida No.	Medida equipo (xi) [mm]	Medida referencial (p) [mm]	Desviación (Xi -p)	Error relativo (%)
1				
2				
3				
4				
5				
Promedio				

VI.- ANÁLISIS DE RESULTADOS:

Tabla 23

Datos de análisis de resultados

RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA PROBETA CON PENETRACIÓN INCOMPLETA EN EL CUERPO DE LA SOLDADURA

Morfología del Pico	Ángulo del defecto [grados]	Profundidad al reflector promedio [mm]	Distancia superficial promedio [mm]	Camino sónico promedio [mm]	Longitud promedio [mm]
----------------------------	-----------------------------	--	-------------------------------------	-----------------------------	------------------------

VII.- PREGUNTAS:

VIII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

IX.-BIBLIOGRAFÍA:

CAPÍTULO 7.

ANÁLISIS ECONÓMICO

7.1 COSTOS DIRECTOS

a) MANO DE OBRA DIRECTA

Tabla 24

Mano de obra directa

APORTE DE ESTUDIANTES				
Nombre	Cargo	Tiempo (horas)	Valor hora (USD)	Valor Total (USD)
Jaime Pérez	Ejecutor	320	4	1280
Diego Sucuzhañay	Ejecutor	320	4	1280
TOTAL				\$ 2560

b) MATERIALES Y EQUIPOS DIRECTOS

Tabla 25

Materiales y equipos directos

Descripción	Cantidad	Valor hora (USD)	Valor Total (USD)
Tubería API 5LX42	1000 [mm]	200	200
Electrodo E 6011	1 [lb]	8.61	8.61
Electrodo E 7018	1 [lb]	10.86	10.86
Probetas UT con defectos conocidos	1	2212.10	2212.10
Gel CMC	2.2 [lb]	5	11
Glicerina	300 [cm ³]	2	2

CONTINÚA



Disco de amoladora	1	25	25
Paños absorbentes	2	1.80	3.60
Regla de ingenieros	1	3.20	3.20
Juego de destornilladores	1	7.80	7.80
Radiografía industrial	4 películas	30	120
Reportes Radiografía	1	20	20
TOTAL			\$ 2624.17

7.2 COSTOS INDIRECTOS

a) MANO DE OBRA INDIRECTA

Tabla 26

Mano de obra indirecta

PERSONAL ASESOR				
Nombre	Cargo	Tiempo (horas)	Valor hora (USD)	Valor Total (USD)
Ing. Patricio Riofrío	Director	30	17	510
Ing. Patricio Quezada	Codirector	30	17	510
TOTAL				\$ 1020

b) MATERIALES INDIRECTOS

Tabla 27

Materiales indirectos

Descripción	Cantidad	Valor Unidad (USD)	Valor Total (USD)
Transductor Lemo O	1	42.45	42.45
Transductor angular PA	1	319.06	319.06
Zapata PA	1	70	70
Zapata de 60°	1	44.37	44.37
Bloque IIW tipo 2	1	421.55	421.55
Flexómetro	1	10	10
Pie de rey	1	35	35
TOTAL			\$ 942.43

c) GASTOS GENERALES

Tabla 28

Gastos Generales

Descripción	Valor (USD)
Útiles de Oficina	20
Transporte	90
Servicios Básicos	60
Impresiones	60
Copiado de textos	60
Varios	80
Total	\$ 370

AMORTIZACIÓN DEL EQUIPO DE ULTRASONIDO OLYMPUS EPOCH 1000i.

Para el costo de amortización del equipo se utilizó la siguiente fórmula:

$$Amortización = \frac{V_c - V_r}{\# \text{ horas totales}}$$

Donde:

V_c= Valor de compra

V_r= Valor residual

Para el cálculo de valor residual tomar en consideración la tabla 30 de porcentajes y años de amortización de cada tipo de inversión:

Tabla 29

Tabla de porcentajes y años de amortización

Elemento a amortizar	% Máximo	Nº de años mínimo	Nº de años máximo
Equipos de laboratorio y ensayos	15	6.67	14
Equipos de mantenimiento	12	8.33	18

Fuente: (<https://ayuda.cuentica.com>, 2012)

Para obtener el valor residual de \$ 1644.29 se considera la siguiente tabla de cálculo:

Tabla 30

Tabla para cálculo de la depreciación del Equipo Epoch 1000i

PERIODOS	VALOR (USD)	DEPRECIACIÓN (USD)	TOTAL (USD)
Año 1	16000	2400	13600
Año 2	13600	2040	11562
Año 3	11562	1734	9826
Año 4	9826	1473.90	8352.10
Año 5	8352.10	1252.82	7099.28
Año 6	7099.28	1064.90	6034.38
Año 7	6034.38	905.16	5129.22
Año 8	5129.22	769.39	4359.83
Año 9	4359.83	653.98	3705.85
Año 10	3705.85	555.88	3149.97
Año 11	3149.97	472.50	2677.47
Año 12	2677.47	401.63	2275.84
Año 13	2275.84	341.38	1934.46
Año 14	1934.46	290.17	1644.29

Donde:

EL # de horas totales por año= $365 * 8 = 2920$ horas

$$Amort.. = \frac{16000 - 1644.29}{2920} = 4.92 \text{ dólares/hora}$$

Amortización del equipo para un uso de 60 horas.

$$Amorti. equipo = 60 * 4.92 = \$ 295.20$$

7.3 RESUMEN DE COSTOS

Tabla 31

Resumen de costos

Costos Directos	
Mano de obra directa	2560
Materiales y equipos directos	2624.17
Costos Indirectos	
Mano de obra indirecta	1020
Materiales indirectos	942.43
Gastos generales	370
Amortización del equipo	295.20
TOTAL	\$ 7811.80

CAPÍTULO 8.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos por el Ensayo No Destructivo de Ultrasonido en modo Arreglo de Fases fueron tres defectos relevantes, los cuales son: quemón en la soldadura con una longitud de 12mm, escoria alargada de longitud 16mm y una falta de fusión en el bisel; al ser validados estos defectos mediante Radiografiado Industrial se verificó la exactitud del Ultrasonido, al detectar los mismos defectos y en igual dimensión de longitud.
2. Para poder identificar los diferentes tipos de defectos en soldadura que contienen las probetas de entrenamiento certificadas se requirió de un tiempo necesario de tres meses para contar con la habilidad y experiencia en poder identificarlos, por esto se concluye que el ensayo de Ultrasonido es un proceso especial cuya efectividad depende directamente de la habilidad del inspector y de la correcta interpretación en la obtención de resultados.

3. Al aplicar nuestro procedimiento diseñado para inspección en soldadura, tanto a las probetas de entrenamiento certificadas como a las probetas de tubería se identificó con exactitud los defectos de soldadura, por lo cual se determina que es fundamental la preparación de procedimientos escritos para la técnica de Ultrasonido ya que esto asegura la homogeneidad de los resultados y por ende la repetibilidad del proceso de inspección.
4. El Ultrasonido en modo de Arreglo de fases tiene grandes ventajas en comparación con el modo Convencional, de los cuales comprobamos en la práctica de inspección, que al tener un escaneo sectorial adicional se aumenta la detectabilidad de las indicaciones, se facilita la calibración del equipo en un estimado del 60% y se disminuye el tiempo de inspección en un 50%.
5. Es muy complicado inducir un defecto específico en el cordón de soldadura, ya que estos van a depender directamente de la habilidad del soldador al crearlos. Esto se determinó al obtener de tres probetas con defectos una con la cantidad de indicaciones que se requería los cuales son: quemón en la soldadura, escoria alargada y una falta de fusión en el bisel.

8.2 RECOMENDACIONES

1. Teniendo en cuenta la constante actualización de los Códigos y Normas, que se realiza para estar acorde con las nuevas exigencias de los procesos, si alguien pretende utilizar el procedimiento o el manual de procedimientos de este proyecto de grado, deberá revisarlos cuidadosamente para ajustarlos a las exigencias del proyecto que se va a inspeccionar.
2. Hay que tener en cuenta el elemento acoplante que se va a utilizar, debido a que de éste también depende la correcta calibración del equipo y acertada inspección del elemento a analizar; ya que si no se utiliza el mismo acoplante de la calibración en la inspección esto puede generar resultados distintos, causados por el cambio de impedancia acústica del material acoplante y mayor interferencia del medio.
3. Al utilizar las probetas para la realización de prácticas en laboratorio se aconseja que la limpieza posterior a la práctica sea meticulosa, debido a que tienen una capa de laca muy fina de protección superficial pueden ser propensas a la corrosión ambiental si se dejan residuos de acoplante en las probetas.

BIBLIOGRAFÍA

- (s.f.). Obtenido de <http://www.olympus-ims.com/es/ndt-tutorials/transducers/construction/>
- (Cil, J. C. (2005). *Ciencia y tecnología de materiales Problemas y cuestiones*. Madrid: PEARSON.
- Cruz, A. M. (s.f.). *Ley de Snell*. Obtenido de <https://hellsingge.files.wordpress.com/2013/05/1-indice-de-refraccion.pdf>
- Curso de ultrasonido básico*. (2012). Obtenido de <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Curso%20Ultrasonido%20Basico.pdf>
- fibroanestecia.com*. (2012). Obtenido de <http://fibroanestesia.com/fibroscopia/bases-fisicas/>
- Franz, L. (1982). Soldadura por arco. En L. Franz, *Electrotermia Industrial* (pág. 215). España: Urmo S.A.
- Historia de la física y ciencias afines*. (2009). Obtenido de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172009000100011
- <http://deconceptos.com>. (2014). Obtenido de <http://deconceptos.com/ciencias-naturales/refraccion>
- <http://es.scribd.com>. (2012). Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/15699969/Defectologia-de-La-Soldadura#scribd>
- <http://es.slideshare.net>. (2012). Obtenido de <http://es.slideshare.net/christianrp/ut-3-d>

- <http://es.slideshare.net>. (2012). Obtenido de <http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>
- <http://repositorio.ute.edu.ec>. (2012). Obtenido de http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/5702/1/19166_1.pdf
- <http://static2.olympus-ims.com>. (2012). Obtenido de <http://static2.olympus-ims.com/modules/imageresizer/fbb/a2c/806b5387ba/120x120.jpg>
- <http://static5.olympus-ims.com>. (2012). Obtenido de <http://static5.olympus-ims.com/data/Image/Epoch1000/zero-degree.jpg?rev=D0A8>
- <http://tkspoke.com>. (2005). Obtenido de <http://tkspoke.com/english/product/industrial/index.html>
- <http://www.defectoscoape.ro>. (2012). Obtenido de <http://www.defectoscoape.ro/epoch-xt/>
- <http://www.gopixpic.com>. (2006). Obtenido de http://www.gopixpic.com/1650/ultrasonic-ndt-test-report/http://img*docstoccdn*com|thumb|orig|37046905*png/
- <http://www.isotec.com.co>. (2012). Obtenido de <http://www.isotec.com.co/portal2/index.php?id=53>
- <http://www.llogsa.com>. (2013). Obtenido de http://www.llogsa.com/Descargas/Ultratips/Ediciones/Utipsed_177.php
- <http://www.ndt.net>. (s.f.). Obtenido de <http://www.ndt.net/article/v05n09/berke/berke2.htm>
- <http://www.ndt.net>. (6 de 1 de 2015). Obtenido de <http://www.ndt.net/ndtaz/content.php?id=89>
- <http://www.olympus-ims.com>. (2012). Obtenido de <http://www.olympus-ims.com/es/ndt-tutorials/flaw-detection/inspection-codes/>
- <http://www.olympus-ims.com>. (2012). Obtenido de <http://www.olympus-ims.com/es/ndt-tutorials/flaw-detection/weld-inspection/>

- <http://www.olympus-ims.com>. (2012). Obtenido de <http://www.olympus-ims.com/en/ndt-tutorials/instrumentation/pa-scan/>
- <http://www.olympus-ims.com>. (2012). Obtenido de <http://www.olympus-ims.com/en/ndt-tutorials/intro/advantages/>
- <http://www.olympus-ims.com>. (2012). Obtenido de <http://www.olympus-ims.com/es/ut-flaw/epoch1000/>
- <http://www.olympus-ims.com>. (2012). Obtenido de <http://www.olympus-ims.com/es/ndt-tutorials/phased-array/defect-positioning/>
- <http://www.olympus-ims.com>. (2012). Obtenido de <http://www.olympus-ims.com/es/ndt-tutorials/phased-array/defect-positioning/>
- <http://www.olympus-ims.com>. (2012). Obtenido de <http://www.olympus-ims.com/es/ndt-tutorials/flaw-detection/common-test-practices/>
- <http://www.olympus-ims.com/>. (2012). Obtenido de <http://www.olympus-ims.com/es/ndt-tutorials/transducers/construction/>
- <http://www.olympus-ims.com/en/ndt-tutorials/intro/advantages/>. (2012). Obtenido de <http://www.olympus-ims.com/en/ndt-tutorials/intro/advantages/>
- <http://www.sonaspection.com>. (2012). Obtenido de <http://www.sonaspection.com/products/ndt-education-sets>
- <http://www.ultrasoniccleaning.com>. (2012). Obtenido de <http://www.ultrasoniccleaning.com/es/things-you-need-to-know-about-ultrasonic-transducers/>
- <https://ayuda.cuentica.com>. (2012). Obtenido de <https://ayuda.cuentica.com/anos-y-porcentaje-de-amortizacion-para-sociedades/>
- <https://fisica-paratodos.wikispaces.com/>. (1 de 4 de 2015). Obtenido de <https://fisica-paratodos.wikispaces.com/>

<https://sites.google.com>. (2012). Obtenido de <https://sites.google.com/site/biomedicosa/ultrasonido.ecograf%C3%A4Da.4>

<https://sites.google.com>. (26 de 11 de 2014). Obtenido de <https://sites.google.com/site/construyetuingenio2013/5-procesos-de-soldadura-y-corte/5-1-soldadura-por-arco-de-metal-protegido-smaw>

<https://www.nde-ed.org>. (01 de 10 de 2009). Obtenido de <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Physics/modeconversion.htm>

López, G. P. (2009). Obtenido de <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5033/147.pdf?sequence=1>

ondas. (s.f.). Obtenido de blogdefisica72.blogspot.com

Palpadores. (s.f.). Obtenido de <http://www.olympus-ims.com/es/ultrasonic-transducers/protected-face/>

Palpadores angulares. (s.f.). Obtenido de <http://www.olympus-ims.com/es/probes/deep-penetration/>

Pineda, C. (2009). *Principios físicos básicos del ultrasonido*. Obtenido de <http://www.sochire.cl/bases/r-384-1-1343744018.pdf>

R.Hoogland. (2012). *Teoría Ultrasónica*. Obtenido de http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-fis/terapia_ultrasonica_enraf_nonius.pdf

Rimoldi, C. (s.f.). *Ensayo no Destructivo por método de ultrasonido*. Obtenido de [www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Apunte Ultrasonido 2012.pdf](http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Apunte_Ultrasonido_2012.pdf)

Rubio, A. R. (1992). *Aplicaciones de los métodos de Ensayos No Destructivos al examen de uniones soldadas*. Bilbao: Urmo S.A.

Seto, W. W. (1973). *Acustica*. Colombia: McGraw-Hill.

Sipper, D. (1998). *Planeación y control de la producción*. México: Mc Graw Hill.

Thielsch, H. (1982). Defectos de Soldadura. En H. Thielsch, *Defectos y roturas en recipientes a presión y tuberías* (pág. 235). España: Urmo S.A.

www.nebrija.es. (2006). Obtenido de www.nebrija.es/areas/material/Superior/TecMaterial/UT.pdf

Práctica No. SNT-TC-1ª edición 2006

Norma API 1104, año 2011

Código B31.3, año 2010

ANEXOS