

ÍNDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN.....	2
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3 SOLUCIÓN PROPUESTA	3
1.4 OBJETIVOS	3
1.4.1 Objetivo General	3
1.4.2 Objetivos Específicos.....	3
1.5 ALCANCES DEL PROYECTO	4
1.6 METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS	4
1.7 RESULTADOS ESPERADOS.....	5
1.8 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 TIPOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	7
2.2 ULTRASONIDO INDUSTRIAL	8
2.3 GENERACIÓN DEL ULTRASONIDO	8
2.3.1 Características de las ondas ultrasónicas.....	8
2.3.2 Propiedades acústicas de algunos metales	10
2.3.3 Zona muerta.....	10
2.4 MÉTODO DE INSPECCIÓN PULSO-ECO	11
2.5 TRANSDUCTORES DE ULTRASONIDO	11
2.6 ULTRASONIDOS PHASED ARRAY	12
2.7 EQUIPO DE ULTRASONIDO.....	13
2.7.1 Técnica de inspección por UT de haz recto	14
2.7.2 Técnica de inspección phased array.....	14
2.7.3 Diferencias entre UT y phased array.....	15
2.7.4 Herramienta software para inspecciones conformes a la norma AWS D1.1	16
2.8 DISCONTINUIDADES EN SOLDADURAS	16
2.9 DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD DE LAS DISCONTINUIDADES.....	17
2.10 CAUSAS EN LA VARIACIÓN DE ESPESORES	17
2.11 NORMAS PARA LA INSPECCIÓN DE ULTRASONIDO	18

CAPÍTULO III: CALIBRACIÓN DEL EQUIPO OLYMPUS EPOCH 1000I.....	19
3.1 CALIBRACIÓN DEL EQUIPO PARA MEDIR ESPESORES	20
3.1.1 Requisitos para la calibración	20
3.1.2 Ajuste inicial del equipo.....	20
3.1.3 Calibración del cero	21
3.1.4 Calibración de velocidad.....	22
3.2 CALIBRACIÓN DEL EQUIPO PARA MEDIR SOLDADURAS	23
3.2.1 Requisitos para la calibración	23
3.2.2 Ajuste inicial del equipo.....	24
3.2.3 Calibración de velocidad.....	24
3.2.4 Calibración del cero	25
3.2.5 Calibración de sensibilidad	26
3.2.6 Activación de la herramienta AWS D1.1.....	27
CAPÍTULO IV: INSPECCIÓN A PROBETAS DE ENSAYO.....	28
4.1 INSPECCIÓN A BLOQUES CALIBRADORES	29
4.1.1 Bloque de cinco niveles y bloque ASTM E 164 IIW.....	29
4.1.2 Fallas en bloque ASTM E 164 IIW	31
4.2 INSPECCIÓN A PROBETA CON CORROSIÓN	33
4.3 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE SOLDADURA	35
4.3.1 Inspección de soldadura	36
4.4 INSPECCIÓN A PROBETA CON GRIETA.....	40
CAPÍTULO V: INSPECCIÓN A CALDERA PIROTUBULAR	43
5.1 INSPECCIÓN DE ESPESORES.....	45
5.1.1 Área de examen.....	45
5.1.2 Resultados	46
5.2 EVALUACIÓN DE SOLDADURA	48
5.2.1 Inspección a soldadura de tubos.....	48
5.2.2 Inspección a soldadura del hogar	51
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS PARA FUTUROS ESTUDIOS.....	53
6.1 CONCLUSIONES DE LA EXPERIENCIA “INSPECCIÓN A PROBETAS DE ENSAYO”	54

6.2 CONCLUSIONES DE LA EXPERIENCIA “INSPECCIÓN A CALDERA PIROTUBULAR”	54
6.3 CONCLUSIÓN GENERAL	55
6.4 SUGERENCIAS PARA FUTUROS ESTUDIOS.....	55
REFERENCIAS	56
ANEXOS	57
ANEXO 1: Velocidades de propagación ultrasónica en metales	58
ANEXO 2: Reporte de inspección ultrasónica para espesores	59
ANEXO 3: Reporte de inspección ultrasónica para soldaduras	60
ANEXO 4: Patrones de escaneo AWS	61
ANEXO 5: Tabla 6.2 AWS	62
ANEXO 6: Tabla 6.3 AWS	63
ANEXO 7: Espesores obtenidos en probetas con y sin corrosión	64
ANEXO 8: Inspección ultrasónica para probeta soldada con junta a tope	65
ANEXO 9: Reporte de soldadura para probeta soldada con junta a tope.....	66
ANEXO 10: Inspección ultrasónica a probeta de ensayo.....	67
ANEXO 11: Espesores obtenidos para placa delantera de caldera	68
ANEXO 12: Espesores obtenidos para placa trasera de caldera.....	69
ANEXO 13: Reporte de espesores para placa delantera de caldera	70
ANEXO 14: Reporte de espesores para placa trasera de caldera	71
ANEXO 15: Discontinuidades en soldadura de tubos n°2 y n°5.....	72
ANEXO 16: Lecturas de soldadura a tubos n°3, n°4, n°6, n°7 y n°8.....	73
ANEXO 17: Reporte de soldadura para tubos de caldera.....	74
ANEXO 18: Lecturas de soldadura a hogar de caldera	75
ANEXO 19: Reporte de soldadura para hogar de caldera	76
ANEXO 20: Requerimientos asociados al código ASME y norma AWS para la inspección ultrasónica.....	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2.1: Escala de frecuencias.....	9
Ilustración 2.2: Zona muerta producida en haz ultrasónico.....	10
Ilustración 2.3: Método pulso-eco ultrasonido industrial.....	11
Ilustración 2.4: Partes de un transductor	11
Ilustración 2.5: Transductor de haz recto UT y phased array.....	12
Ilustración 2.6: Transductor de haz angular	12
Ilustración 2.7: Equipo OLYMPUS EPOCH 1000i	13
Ilustración 2.8: Señal A-scan de UT.....	14
Ilustración 2.9: Señal S-scan de ultrasonidos phased array.....	15
Ilustración 2.10: Técnica de la caída de 6 dB.....	17
Ilustración 3.1: Calibración del cero y velocidad haz recto	22
Ilustración 3.2: Calibración de velocidad haz angular	25
Ilustración 3.3: Calibración del cero haz angular	25
Ilustración 3.4: Calibración de sensibilidad haz angular	26
Ilustración 3.5: Lectura de mediciones AWS.....	27
Ilustración 4.1: Bloques calibradores para la inspección	29
Ilustración 4.2: Mediciones a bloque calibrador de cinco niveles.....	29
Ilustración 4.3: Indicaciones encontradas de la medición a bloque de cinco niveles.....	30
Ilustración 4.4: Medición de bloque IIW e imágenes A-scan	30
Ilustración 4.5: Corroboración de las mediciones de espesor en bloque IIW	31
Ilustración 4.6: Medición de fallas en bloque IIW	31
Ilustración 4.7: Peaks y distancias desde la superficie a las perforaciones del bloque IIW	32
Ilustración 4.8: Corroboración con pie de metro digital en bloque IIW.....	32
Ilustración 4.9: Probeta n°2, ambas caras de la placa.....	33
Ilustración 4.10: Inspección de probetas n°1 y n°2 para medición de corrosión	33
Ilustración 4.11: Diferencias encontradas en probeta n°1 y n°2	34
Ilustración 4.12: Distancia de salto y trayectoria acústica al cordón de soldadura	35
Ilustración 4.13: Cuadrulado y disposición de transductores	36
Ilustración 4.14: Barrido lateral a probeta soldada a tope	37
Ilustración 4.15: Discontinuidad en probeta soldada a tope.....	38
Ilustración 4.16: Longitud de la discontinuidad en soldadura a tope	38
Ilustración 4.17: Clasificación discontinuidad soldadura mediante tabla 6.2 de la AWS.....	39
Ilustración 4.18: Probetas soldadas con unión en T	40
Ilustración 4.19: Señales entregadas por el equipo para probeta n°1 y n°2 soldadas en T	42
Ilustración 5.1: Caldera pirotubular.....	44
Ilustración 5.2: Lecturas en placa delantera y trasera para la medición de espesores.....	45
Ilustración 5.3: Limpieza y lectura de espesores en placas de caldera.....	46
Ilustración 5.4: Lecturas placa delantera caldera.....	47
Ilustración 5.5: Lecturas placa trasera caldera.....	47

Ilustración 5.6: Zona de barrido y soldadura de tubos inspeccionada.....	48
Ilustración 5.7: Discontinuidad de soldadura en tubo 1	49
Ilustración 5.8: Marcado de discontinuidad en tubo 1.....	50
Ilustración 5.9: Criterio AWS para aceptación-rechazo de soldadura para tubo 1.....	51
Ilustración 5.10: Zona de barrido y, soldadura entre placa trasera y hogar inspeccionada	51
Ilustración 5.11: Resultado phased array de la unión soldada del hogar de la caldera	52
Ilustración A.1: Bloque de calibración para medición de espesores por haz recto	78
Ilustración A.2: Bloque de calibración Tipo IIW	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Diferencias entre UT y phased array	15
Tabla 3.1: Requerimientos calibración de haz recto UT	20
Tabla 3.2: Ajustes del emisor calibración UT	21
Tabla 3.3: Ajustes de receptor calibración UT	21
Tabla 3.4: Ajustes de disparo calibración UT	21
Tabla 3.5: Requerimientos calibración angular phased array.....	23
Tabla 3.6: Ajustes iniciales calibración phased array.....	24
Tabla 4.1: Características probeta de soldadura	36
Tabla 4.2: Discontinuidad en soldadura	37
Tabla 4.3: Características probetas con unión soldada en T.....	40
Tabla 4.4: Lecturas de soldadura para probeta n°1	41
Tabla 4.5: Lecturas de soldadura para probeta n°2	41
Tabla 5.1: Características técnicas de caldera	44
Tabla 5.2: Discontinuidad en soldadura de tubo n°1 caldera	49
Tabla 5.3: Datos obtenidos para la unión soldada del hogar de la caldera.....	52