

# ÍNDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes y motivaciones.....	2
1.2 Descripción del problema .....	2
1.3 Solución propuesta.....	2
1.4 Objetivos.....	2
1.4.1 Objetivo General.....	2
1.4.2 Objetivos Específicos .....	3
1.5 Alcances del proyecto .....	3
1.6 Metodologías y herramientas utilizadas.....	3
1.7 Resultados esperados .....	3
1.8 Organización del documento .....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Ensayos No Destructivos (END) .....	6
2.2 Descripción general de algunos métodos de Ensayos No Destructivos .....	7
2.2.1 Líquidos penetrantes.....	7
2.2.2 Partículas magnéticas .....	7
2.2.3 Ultrasonido .....	8
2.2.4 Radiografía .....	9
2.2.5 Examen visual .....	9
2.3 Inspección por ultrasonido.....	10
2.3.1 Generalidades .....	10
2.3.2 Naturaleza de los ultrasonidos .....	10
2.3.3 Producción de ondas sonoras.....	11
2.3.4 Parámetros de ondas sonoras .....	12
2.3.5 Modos de vibración .....	13
2.3.6 Transductor ultrasónico .....	15
2.3.7 Medio acoplante .....	16
2.4 Equipo Olympus EPOCH 1000i .....	17
2.4.1 Conectores .....	18

2.4.2	Ultrasonido convencional.....	18
2.4.3	Phased array.....	19
2.4.4	Palpadores o transductores .....	20
2.5	Materiales compuestos.....	21
2.5.1	Conceptos generales .....	21
2.5.2	Matriz – Refuerzo.....	21
2.5.3	Delaminación en materiales compuestos.....	22
CAPÍTULO III: PROCEDIMIENTOS DE ADMINISTRACIÓN DE DATOS Y CALIBRACIÓN.....		23
3.1	Administración de datos .....	24
3.1.1	Configuración previa a la medición y creación de ficheros .....	24
3.1.2	Creaciones de ficheros en el equipo .....	25
3.1.3	Extracción de imágenes a USB .....	26
3.2	Calibración equipo Olympus EPOCH 1000i.....	26
3.2.1	Configuración inicial de calibración modo ultrasonidos convencionales .....	27
3.2.2	Calibración con palpador haz recto ultrasonido convencional. (ACERO).....	27
3.2.3	Calibración con palpador haz recto ultrasonido convencional. (COMPUESTO)	
	30	
CAPÍTULO IV: EXPERIENCIAS DE INSPECCIÓN ULTRASÓNICA A COMPUESTOS DE FIBRA DE VIDRIO Y CARBONO .....		33
4.1	Experiencia I: Control de espesores.....	34
4.1.1	Control de espesor en probeta N°1 .....	35
4.1.2	Control de espesor en probeta N°2.....	36
4.1.3	Control de espesor en probeta N°3 .....	36
4.1.4	Control de espesor en probeta N°4.....	37
4.2	Experiencia II: Comparación en los espectros de amplitud en una probeta perforada de fibra de carbono. ....	41
4.2.1	Medición manual y ultrasónica de la probeta perforada.....	42
4.3	Experiencia III: Inspección ultrasónica en probeta con zona seca .....	45

CAPÍTULO V: DETECCIÓN DE FALLAS POR DELAMINACIÓN EN COMPUESTOS DE FIBRA DE VIDRIO .....	48
5.1 Detección de delaminación en probetas RTM de fibra de vidrio .....	49
5.1.1 Inspección probeta N°7 .....	50
5.1.2 Inspección probeta N°8 .....	51
5.2 Inspección ultrasónica de prótesis deportiva en fibra de vidrio.....	53
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS .....	56
6.1 Conclusiones .....	57
6.2 Recomendaciones para futuros trabajos .....	58
REFERENCIAS .....	59
ANEXOS .....	61
Anexo 1: Identificación de equipo de ultrasonido con el que cuenta la universidad ...	61
Anexo 2: Cuadro comparativo UT convencional y phased array.....	62
Anexo 3: Visualización de posibles fallas en acero .....	63
Anexo 4: Propiedades acústicas de los materiales.....	64
Anexo 5: Mediciones de control de espesores probeta N°4 .....	65
Anexo 6: Norma EN12668-1:2010 (Extracto de la norma) .....	66
Anexo 7: Microscopio educacional para universidades Leica EZ4 E.....	66

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2.1, ensayos no destructivos .....	6
Ilustración 2.2, partículas magnéticas.....	7
Ilustración 2.3, radiografía.....	9
Ilustración 2.4, zonas de espectro acústico .....	11
Ilustración 2.5, partícula perturbada .....	12
Ilustración 2.6, descripción de una onda .....	13
Ilustración 2.7, ondas longitudinales .....	14
Ilustración 2.8, ondas transversales .....	14
Ilustración 2.9, ondas de superficie o de Rayleigh .....	14
Ilustración 2.10, representación de ondas Lamb simétrica(a) o asimétrica (b) .....	14
Ilustración 2.11, concepto ultrasónico pulso-eco .....	15
Ilustración 2.12, zonas de haz ultrasónico .....	15
Ilustración 2.13, zona muerta del haz ultrasónico .....	16
Ilustración 2.14, equipo ultrasónico EPOCH 1000i .....	17
Ilustración 2.15, vista frontal equipo EPOCH 1000i.....	17
Ilustración 2.16, vista conectores del equipo.....	18
Ilustración 2.17, pantalla en modo UT .....	18
Ilustración 2.18, pantalla en modo phased array .....	19
Ilustración 2.19, palpador 5 MHz, 0,5" Ø .....	20
Ilustración 2.20, palpador 2,25 MHz, 0,5" Ø .....	20
Ilustración 2.21, zapata plana SA10P – OL.....	20
Ilustración 2.22, transductor 5L16 A10P con zapata SA10P-N55S.....	20
Ilustración 2.23, tipos de refuerzos.....	21
Ilustración 2.24, diagrama esfuerzo v/s deformación fibras longitudinales y transversales	22
Ilustración 2.25, delaminación modelada en software especializado .....	22
Ilustración 3.1, selección de lecturas en pantalla.....	24
Ilustración 3.2, creación de ficheros.....	25
Ilustración 3.3, configuración de extracción de imágenes a memoria USB.....	26
Ilustración 3.4, bloque de calibración de precisión de 5 niveles de espesor, ref. 2214M....	28
Ilustración 3.5, medida en el palpador de menor tamaño.....	28
Ilustración 3.6, medida calibradas en acero.....	29
Ilustración 3.7, recomendación para dar dB.....	31
Ilustración 3.8, niveles para calibración compuestos de fibra de vidrio .....	31
Ilustración 4.1, probetas de materiales compuestos experiencia I.....	35
Ilustración 4.2, medición manual y ultrasónica probeta N°1 .....	35
Ilustración 4.3, medición manual y ultrasónica probeta N°2 .....	36

Ilustración 4.4, medición manual y ultrasónica probeta N°3 .....	37
Ilustración 4.5, probeta fibra de vidrio escalonada.....	37
Ilustración 4.6, medición manual y ultrasónica nivel 1, probeta N°4 .....	38
Ilustración 4.7, medición manual y ultrasónica nivel 3, probeta N°4 .....	39
Ilustración 4.8, medición modo dual .....	39
Ilustración 4.9, medición manual y ultrasónica nivel 6, probeta N°4 .....	40
Ilustración 4.10, medición manual y ultrasónica nivel 7, probeta N°4 .....	40
Ilustración 4.11, probeta N°5 con perforaciones .....	41
Ilustración 4.12, medición manual y ultrasónica del agujero de 3[mm] .....	42
Ilustración 4.13, medición manual y ultrasónica del agujero de 4 [mm] .....	42
Ilustración 4.14, medición manual y ultrasónica del agujero de 6,5 [mm] .....	42
Ilustración 4.15, medición de segundo peak del agujero.....	43
Ilustración 4.16, recorrido de las ondas en un material con discontinuidades .....	43
Ilustración 4.17, probeta N°5 con zona seca .....	45
Ilustración 4.18, puntos de medición probeta N°6 .....	46
Ilustración 4.19, medición ultrasónica de los puntos en probeta N°6 .....	47
Ilustración 5.1, probeta en ensayo de flexión de 3 puntas.....	49
Ilustración 5.2, inspección ultrasónica antes (a) y después del ensayo de flexión(b) .....	50
Ilustración 5.3, zona delaminada en probeta N°7.....	50
Ilustración 5.4, inspección ultrasónica probeta N°8.....	51
Ilustración 5.5, zoom delaminación probeta N°8 después de ensayo de flexión .....	52
Ilustración 5.6, acercamiento zona inspeccionada con delaminación en probeta N°8.....	52
Ilustración 5.7, pie ortopédico de fibra de vidrio .....	53
Ilustración 5.8, zonas inspeccionadas en pie ortopédico .....	54
Ilustración 5.9, inspección ultrasónica prótesis ortopédica .....	55

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1, líquidos penetrantes .....	7
Tabla 2.2, partículas magnéticas .....	8
Tabla 2.3, ultrasonido .....	8
Tabla 2.4, radiografía.....	9
Tabla 3.1, materiales usados para la calibración .....	27
Tabla 3.2, velocidades de materiales calibradas.....	32
Tabla 4.1, materiales utilizados para experiencia 1 .....	34

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.1, longitud de onda en función del periodo .....	13
Ecuación 2.2, longitud de onda en función de la frecuencia .....	13