

ÍNDICE

GENERALIDADES E HISTORIA	11
APLICACIONES	12
1. ULTRASONIDOS	13
1.1. Naturaleza de los ultrasonidos.....	15
1.2. Producción y transmisión de las ondas sonoras.....	16
1.3. Propagación de las ondas sonoras.....	17
1.4. Parámetros de las ondas sonoras.....	19
1.5. Emisión sónica.....	21
2. MODOS DE VIBRACIÓN O TIPOS DE ONDAS	23
2.1. Onda longitudinal o de compresión.....	25
2.2. Onda transversal o de corte.....	26
2.3. Onda de superficie o de Rayleigh.....	27
2.4. Ondas de chapa u ondas de Lamb.....	28
2.5. Impedancia acústica.....	29
2.6. Intensidad acústica.....	29
2.7. Presión acústica.....	30
2.8. Presión reflejada en una discontinuidad.....	32
2.9. Atenuación de las ondas sonoras.....	33
2.9.1. Dispersión.....	33
2.9.2. Absorción.....	35
3. REFLEXIÓN Y TRANSMISIÓN DE ONDAS	37
3.1. Incidencia normal.....	39
3.1.1. Incidencia normal en superficie límite única.....	39
3.1.2. Incidencia normal en superficie límite múltiple.....	41
3.2. Incidencia angular.....	43
4. GENERACIÓN Y RECEPCIÓN DE LAS ONDAS ULTRASÓNICAS	47
4.1. Magnetoestricción.....	49
4.2. Piezoelectricidad.....	49
4.3. Características de los cristales piezoeléctricos.....	51
5. CAMPO ULTRASÓNICO DE UN OSCILADOR	55
5.1. Campo próximo y lejano de un oscilador continuo.....	58
5.2. Campo ultrasónico de un oscilador por impulsos.....	59
5.3. Eco y sombra de un obstáculo en el campo ultrasónico.....	61

6. PALPADORES	63
6.1. Construcción de los palpadores.....	65
6.2. Características respecto a frecuencia y diámetro del cristal.....	66
6.3. Diferentes tipos de palpadores.....	67
6.3.1. Palpadores de contacto.....	67
6.3.2. Palpadores de inmersión.....	72
6.3.3. Palpadores focalizantes.....	73
6.4. Palpadores especiales.....	74
7. TÉCNICAS DE EMISIÓN Y RECEPCIÓN DE LOS ULTRASONIDOS	75
7.1. Técnica de resonancia.....	77
7.2. Técnica de transmisión.....	78
7.3. Técnica de impulso-eco.....	79
7.3.1. Medida del tiempo de recorrido (T).....	80
7.3.2. Medida de la intensidad acústica y tiempo de recorrido (IT). . . .	81
7.4. Detección de discontinuidades.....	82
8. EQUIPO PARA MEDIDA DE LA PRESIÓN ACÚSTICA Y TIEMPO DE RECORRIDO	87
8.1. Sistema de sincronismo.....	89
8.1.1. Generador de voltaje de deflexión horizontal.....	90
8.1.2. Emisión de impulsos eléctricos de alta frecuencia.	90
8.1.3. Luminosidad del pincel luminoso.....	91
8.2. Generador de alta frecuencia.....	91
8.3. Amplificador.....	93
8.4. Monitores.....	93
8.5. Sistemas de representación.....	94
8.5.1. Representación de tipo A.....	94
8.5.2. Representación de tipo B.....	95
8.5.3. Representación de tipo C.....	95
9. PUESTA A PUNTO DEL ENSAYO	97
9.1. Condición de la superficie del material.....	99
9.1.1. Acabado superficial.....	99
9.1.2. Rugosidad de la superficie.....	99
9.1.3. Curvatura de la superficie.....	100
9.2. Medio de acoplamiento.....	101
9.3. Diámetro y frecuencia del palpador.....	102
9.4. Bloques de calibración y de referencia.....	103

9.4.1. Bloque de calibración V1.....	103
9.4.2. Bloque de calibración V2.....	105
9.4.3. Bloque ASME.....	106
9.5. Comprobaciones del equipo-palpador.....	106
9.5.1. Relación señal-ruido.....	106
9.5.2. Zona muerta.....	107
9.5.3. Poder de resolución.....	107
9.6. Comprobaciones de los palpadores.....	108
9.6.1. Isóbara de-20 dB.....	108
9.6.2. Determinación del punto de salida de un palpador angular.	110
9.6.3. Determinación del ángulo real de salida.....	111
9.7. Comprobaciones en el equipo.....	112
9.7.1. Linealidad horizontal.....	112
9.7.2. Linealidad vertical.....	113
10. CALIBRACIONES Y AJUSTES PREVIOS AL ENSAYO.....	115
10.1. Ajuste de la base de tiempo.....	117
10.1.1. Ajuste en recorrido del sonido con palpador normal.	117
10.1.2. Ajuste en recorrido del sonido con palpador angular.	118
10.1.3. Ajuste con bloque de calibración V2.....	119
10.1.4. Determinación de la situación de un reflector.....	120
10.2. Ajuste en distancia de proyección.....	120
10.3. Ajuste en distancia de proyección acortada.....	122
10.4. Ajuste de la sensibilidad.....	122
10.4.1. Técnica del reflector simple.	123
10.4.2. Técnica de la curva "amplitud-distancia" (CAD).....	124
10.4.3. Técnica del "tamaño-distancia-amplitud" (DAT).	125
10.4.4. Escalas AVG.....	127
11. ENSAYO DE UNIONES SOLDADAS.....	129
11.1. Defectos en uniones soldadas.....	131
11.1.1. Defectos internos.....	131
11.1.2. Defectos externos.....	134
11.2. Técnicas de inspección.....	136
11.2.1. Técnica con incidencia normal.....	137
11.2.2. Técnica con incidencia angular.....	138
11.3. Realización del ensayo.....	140
12. ENSAYOS EN MATERIALES METÁLICOS.....	143

12.1.	Productos macizos como: lingotes, barras, palanquillas, desbastes y brutos de forja.....	145
12.1.1.	Lingotes.....	145
12.1.2.	Desbastes y brutos de forja.....	145
12.1.3.	Barras.....	146
12.1.4.	Palanquillas.....	147
12.2.	Piezas moldeadas.....	148
12.3.	Piezas forjadas, prensadas o estampadas.....	148
12.4.	Productos laminados y extruídos.....	149
12.4.1.	Ensayo de chapas.....	149
12.4.2.	Ensayo de tubos.....	150
12.5.	Ensayo de ejes y vástagos.....	152
12.6.	Diferentes ensayos de mantenimiento.....	153
12.6.1.	Ejes de ferrocarril.....	153
12.6.2.	Raíles de ferrocarril.....	154
12.6.3.	Bulones y tornillos.....	156
12.6.4.	Elemento estructural aeronáutico.....	157
13.	ENSAYO DE MATERIALES NO METÁLICOS.....	161
13.1.	Materiales compuestos de fibra de carbono.....	163
13.1.1.	Ensayo por contacto.....	163
13.1.2.	Ensayo por inmersión.....	166
13.2.	Detección de agua en estructuras de panal de abeja (honey-comb)....	166
13.2.1.	Ensayo por contacto.....	167
13.2.2.	Ensayo por inmersión.....	168
14.	ENSAYOS ESPECIALES.....	169
14.1.	Ensayos de inmersión.....	171
14.2.	Técnicas de ensayo.....	172
14.2.1.	Impulso-eco.....	172
14.2.2.	Transmisión.....	173
14.2.3.	Placa reflectante.....	173
14.2.4.	Automático con representación C.....	174
14.3.	Medidores de espesores.....	174
14.3.1.	Bloques de calibración.....	175
14.3.2.	Calibración con equipos analógicos y digitales.....	175
14.3.3.	Medida de espesores en superficies curvas.....	177

15. DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO Y FORMA DE UN REFLECTOR	179
15.1. Determinación de la forma. Ecodinámica.....	181
15.2. Determinación de un reflector mayor que la sección transversal del haz.....	182
15.2.1. Determinación de la longitud.....	182
15.2.2. Determinación de la anchura.....	184
15.2.3. Determinación de la altura o profundidad.	184
15.2.4. Técnica TOFD para discontinuidades internas.	185
15.2.5. Técnica TOFD para discontinuidades abiertas a la superficie.....	188
ANEXOS	191
ANEXO I. Densidad, velocidad e impedancia acústica en materiales metálicos.....	193
ANEXO II. Densidad, velocidad e impedancia acústica en materiales no metálicos.....	194
ANEXO III. Densidad, velocidad e impedancia en líquidos y en aire.	195
ANEXO IV. Senos trigonométricos de los ángulos.....	196
ANEXO V. Ángulos de la onda transversal refractada en los materiales de prueba y ángulos incidentes en plásticos.....	197
ANEXO VI. Ensayos por contacto: palpadores angulares. Ondas longitudinales ..	199
ANEXO VII. Ángulos de incidencia en agua (longitudinal).....	200
ANEXO VIII. Ángulos de incidencia en agua (transversal).....	201
BIBLIOGRAFÍA	203