

ÍNDICE

Capítulo 0.	
INTRODUCCIÓN A LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	35
0.1. Introducción a los ensayos no destructivos	37
0.2. Historia	39
0.3. Terminología	42
0.4. Aplicaciones	43
0.4.1. Sectores industriales	44
0.5. Empleo racional de los ensayos no destructivos	45
0.5.1. Etapas básicas de la inspección	46
0.6. Introducción a los métodos convencionales de END	48
0.6.1. Inspección visual	48
0.6.2. Líquidos penetrantes	49
0.6.3. Partículas magnéticas	52
0.6.4. Corrientes inducidas	54
0.6.5. Radiografía	55
0.6.6. Ultrasonidos	57
0.6.7. Termografía infrarroja	59
0.6.8. Emisión acústica	60
0.7. Otros métodos	61
0.7.1. Ensayo de fugas	61
0.7.2. Ensayos de tensión	62
0.8. Técnicas avanzadas	62
0.8.1. Radiografía en tiempo real	63

0.8.2. Multielementos con control de fase (<i>Phased array</i>)	65
0.8.3. <i>Time of flight diffraction</i> (TOFD)	66
0.8.4. Ondas guiadas	68
0.9. Adecuación y limitaciones	69
0.10. Ensayos destructivos y ensayos en materiales en general	72
Capítulo 1.	
TERMINOLOGÍA. HISTORIA DE LA EA	75
1.1. Breve historia de la EA	77
1.2. Terminología de EA. Norma EN 1330-9:2009	86
Capítulo 2.	
PRINCIPIOS FÍSICOS DE LA EMISIÓN ACÚSTICA	95
2.1. Introducción: Principios generales	97
2.1.1. Norma aplicable: EN 13554. Principios generales	97
2.1.2. Concepto de la emisión acústica: Visión de conjunto	101
2.1.3. Demostración visual	108
2.1.4. Características de la fuente. Velocidad de la fuente	110
2.2. Características de EA	114
2.2.1. Emisión transitoria y emisión continua. Amplitud. Rango de frecuencias	114
2.2.2. Dimensión de la fuente	118
2.2.3. Efecto Kaiser. Tipos de carga	120

2.3. Fuentes de emisión acústica	128
2.3.1. Materiales	128
2.3.1.1. Estructura interna de los sólidos	131
2.3.1.2. Materiales compuestos	136
2.3.2. Fuentes de EA	138
2.3.2.1. Diferentes tipos de fuentes de EA	139
2.3.2.2. Fuentes comunes de EA	141
2.4. Propagación de la onda	150
2.4.1. Tipos de ondas elásticas: Parámetros, movimiento y velocidad de la onda	151
2.4.2. Ondas longitudinales y ondas transversales	159
2.4.3. Ondas de Rayleigh	163
2.4.4. Reflexión y refracción de ondas. Conversión de modo	165
2.4.4.1. Incidencia de ondas P y S en una super- ficie libre	166
2.4.4.2. Reflexión y refracción en la interfase entre dos medios	170
2.4.5. Atenuación de la onda	171
2.4.5.1. Atenuación geométrica	172
2.4.5.2. Absorción	173
2.4.5.3. Dispersión (<i>Scattering</i>)	174
2.4.5.4. Difracción	176
2.4.5.5. Dispersión de la onda	177
2.4.6. Ondas de LAMB	179
2.4.7. Efectos geométricos y de penumbra	185

2.5. Localización de la fuente	187
2.5.1. Localización con un sensor	195
2.5.2. Localización por diferencia de tiempos de llegada (TOA)	198
2.5.2.1. Localización lineal por diferencia de tiempos de llegada (TOA)	198
2.5.2.2. Localización plana por diferencia de tiempos de llegada (TOA)	202
2.5.3. Localización zonal	206
2.5.4. Sensores guarda	209

Capítulo 3.

CONOCIMIENTOS SOBRE EL PRODUCTO, EL MÉTODO Y SUS TÉCNICAS DERIVADAS

.....	211
3.1. Posibles campos para la aplicación de la EA	213
3.1.1. Resumen de los diferentes materiales	213
3.1.2. Resumen de las diferentes estructuras	214
3.2. Propiedades químicas y físicas de los materiales	222
3.3. Equipos a presión	223
3.3.1. Realización normal del ensayo de un equipo a presión	223
3.3.2. Ventajas e inconvenientes de la EA en equipos a presión	225
3.3.3. Diferencias entre el primer ensayo a presión y los ensayos repetidos posteriormente	227
3.4. Normas y códigos de producto	228

Capítulo 4.

EQUIPO	233
4.1. Sensores	235
4.1.1. Piezoelectricidad	237
4.1.2. Construcción y montaje de sensores piezoeléctricos	238
4.1.3. Respuesta en frecuencia. Sensores resonantes y de banda ancha	240
4.1.4. Acoplamiento: Acoplante y montaje	243
4.1.5. Sensores con electrónica integrada. Terminaciones única y en diferencial	248
4.1.6. Conectores y cable sensor-preamplificador	249
4.1.7. Calibración de sensores	251
4.1.7.1. Sensibilidad y generalidades	251
4.1.7.2. Problemática y simplificaciones	252
4.1.7.3. Métodos de calibración	254
4.1.8. Selección del sensor	254
4.1.9. Lazo de masa	259
4.1.10. Efectos de la temperatura	265
4.1.11. Guías de ondas acústicas	267
4.2. Preamplificadores	268
4.2.1. Tipos de preamplificadores	270
4.2.2. Ganancia del preamplificador	271
4.2.3. Ruido electrónico	274
4.2.4. Filtros	275
4.2.5. Tipos de filtros y selección	276
4.2.6. Efectos de la longitud del cable	279
4.2.7. Rechazo del modo común	279
4.2.8. Voltaje de salida máximo: Saturación	280

4.3. Procesado de la señal	282
4.3.1. Señales continuas y transitorias: Tipos de características	282
4.3.2. Ruido de fondo y umbral. Definición del <i>hit</i>	283
4.3.3. Características a lo largo del tiempo: RMS, ASL, ABE	288
4.3.4. Sistema mono frente a multicanal	291
4.3.5. Parámetros de EA de señales transitorias	292
4.3.6. Energía	294
4.3.7. Tasa de adquisición	295
4.3.8. Digitalización de la forma de onda	295
4.3.9. Registro de la forma de onda	297
4.4. Procesado de la localización	301
4.4.1. Resumen de algoritmos	301
4.4.2. Constructor de eventos: Localización zonal	306
4.4.3. Procesado de una localización lineal	311
4.4.3.1. Ideas básicas	311
4.4.3.2. Ideas avanzadas. Ejemplo	312
4.4.4. Procesado de una localización plana	317
4.4.4.1. Ideas básicas	317
4.4.4.2. Ideas avanzadas. Ejemplo	317
4.4.5. Conocimientos sobre algoritmos: Selección	321
4.4.6. Canales guarda	323
4.4.7. Incertidumbre de la localización	325
4.4.8. Localización tridimensional	329
4.5. Procesado de señal avanzado	332

4.5.1.	Parámetros externos	332
4.5.2.	Trazado de distribución	333
4.5.3.	Trazado de correlación	336
4.5.4.	Transformada rápida de Fourier (FFT)	338
4.5.5.	Extracción de las características de la forma de onda	342
4.5.6.	Consideraciones sobre el tiempo	344
4.6.	Calibración del equipo	345
4.6.1.	Conocimiento sobre las normas EN 13477-1 y EN 13477-2	345
4.6.2.	Verificación del sensor en laboratorio	350
4.6.3.	Verificación del preamplificador	353
4.6.4.	Verificación del procesador de señales de EA	355
4.6.5.	Documentación de la verificación	360
4.6.6.	Calibración del sensor en laboratorio	360
4.6.6.1.	Calibración por fuerza tipo función escalón	360
4.6.6.2.	Calibración secundaria. Verificación	363
Capítulo 5.		
INFORMACIÓN PREVIA AL ENSAYO		367
5.1.	Determinación del rendimiento del ensayo por EA	369
5.1.1.	Generalidades	369
5.1.2.	Información previa al ensayo	370
5.1.3.	Factores que influyen en la instrucción del ensayo	373
5.2.	Procedimiento de carga	374
5.2.1.	Generalidades	374

5.2.2.	Establecimiento del programa de carga	375
5.2.3.	Ensayos de presión	377
5.2.4.	Carga repetida	378
5.2.5.	Carga cíclica	378
5.2.6.	Medición continua	378
5.3.	Instrucciones técnicas del ensayo por EA	379
5.4.	Procedimiento de ensayo por EA	379
 Capítulo 6.		
ENSAYO	383
6.1.	Ajuste del equipo	385
6.2.	Realización del ensayo	388
6.3.	Adquisición y visualización de datos durante el ensayo	390
6.4.	Acciones necesarias durante el ensayo	391
 Capítulo 7.		
EVALUACIÓN E INFORME	393
7.1.	Visualización de datos	395
7.1.1.	Trazado de gráficas	395
7.1.2.	Correlación de la fuente	404
7.2.	Interpretación de datos	407
7.2.1.	Ruido	407
7.2.2.	Fases en el tratamiento contra el ruido en los ensayos de EA	413
7.2.3.	Fase 1 de defensa contra el ruido: Métodos de precaución	414

7.2.4.	Fase 2 de defensa contra el ruido: Métodos de discriminación	416
7.2.4.1.	Discriminación basada en el tiempo	417
7.2.4.2.	Discriminación basada en la carga	419
7.2.4.3.	Discriminación basada en características de la señal	420
7.2.4.4.	Filtrado por frecuencia	421
7.2.5.	Fase 3 de defensa contra el ruido: Métodos de interpretación y evaluación	423
7.2.6.	Algunas ideas sobre la evaluación y el informe ...	428
7.2.7.	Actividad e intensidad de la fuente	429
7.3.	Evaluación de datos	430
7.4.	Documentación e informes	434
Capítulo 8.		
ASPECTOS SOBRE LA CALIDAD		437
8.1.	Cualificación del personal	439
8.1.1.	Normas de certificación	444
8.1.2.	Norma EN ISO 9712 Ensayos No Destructivos. Cualificación y certificación del personal que realiza Ensayos No Destructivos	448
8.1.3.	Otros sistemas de cualificación y certificación en END	449
8.1.4.	Trazabilidad de documentos	455
BIBLIOGRAFÍA		457