

Contenido

Prólogo	1
Capítulo 1. Un poco de historia	3
1.1. La producción de sonido	3
1.2. La propagación del sonido	6
1.3. La recepción del sonido	8
1.4. Aeroacústica	10
Capítulo 2. Elementos de la mecánica de medios continuos	11
2.1. Mecánica de medios deformables.	11
2.1.1. Medios continuos	11
2.1.2. Cinemática de los medios deformables	12
2.1.3. Tensor de deformación (o tensor de Green)	15
2.2. Leyes de conservación	16
2.2.1. Conservación de la masa.	17
2.2.2. Conservación del momentum	17
2.2.3. Conservación de la energía	18
2.3. Leyes constitutivas	19
2.3.1. Elasticidad	20
2.3.2. Termoelasticidad y efectos de las variaciones de temperatura	23
2.3.3. Viscoelasticidad.	26
2.3.4. Medio fluido	34
2.4. Principio Hamilton	35
2.5. Características de los materiales	36

Capítulo 3. Un pequeño kit de matemáticas	39
3.1. Teoría de la medida e integración de Lebesgue.	40
3.1.1. Álgebra booleana	40
3.1.2. Medida sobre una σ -álgebra.	41
3.1.3. Convergencia e integración de funciones mensurables	42
3.1.4. Espacio funcional	45
3.1.5. Medida como función lineal.	46
3.2. Distribuciones	46
3.2.1. El espacio D de las funciones de prueba	46
3.2.2. Definición de distribuciones	47
3.2.3. Operaciones sobre las distribuciones	49
3.2.4. Generalización N -dimensional	54
3.2.5. Tensor de distribuciones de producto	58
3.3. Convolución	59
3.3.1. Definición y primeras propiedades.	59
3.3.2. Álgebra de la convolución y la función de Green	61
3.4. Métodos modales	64
3.4.1. Modos propios de un sistema conservativo.	64
3.4.2. Modos propios de un sistema no conservativo.	67
Capítulo 4. Acústica de fluidos	79
4.1. Ecuaciones acústicas	80
4.1.1. Ecuaciones de conservación.	80
4.1.2. Establecimiento de ecuaciones generales	81
4.1.3. Establecimiento de la ecuación de onda.	83
4.1.4. Potencial de velocidad	84
4.2. Propagación y soluciones generales	84
4.2.1. Movimiento unidimensional	84
4.2.2. Movimiento tridimensional	85
4.3. Régimen permanente: ecuación de Helmholtz	86
4.3.1. Soluciones generales	88
4.3.2. Núcleos de Green	92
4.3.3. Grupo de ondas, velocidad de fase y velocidad de grupo.	95
4.4. Ecuaciones de discontinuidad	97
4.4.1. Interfaz entre dos medios de propagación.	97
4.4.2. Interfaz entre un medio de propagación y un medio no propagador.	100
4.5. Impedancia: medición y modelo	101
4.5.1. Tubo de Kundt.	101

4.5.2. Modelo Delany–Bazley	104
4.6. Medio anisotrópico homogéneo.	105
4.7. Medio con una celeridad que varía lentamente	106
4.8. Medios en movimiento	108
4.8.1. Medio homogéneo con un movimiento uniforme	108
4.8.2. Interfaz plana entre medios en movimiento.	110
4.8.3. Interfaz cilíndrica entre medios en movimiento	112
4.8.4. Radiación acústica de una superficie en movimiento	115

Capítulo 5. Radiación, difracción, espacio cerrado. 125

5.1. Radiación acústica.	126
5.1.1. Un ejemplo sencillo.	126
5.2. Radiación acústica de fuentes puntuales.	127
5.2.1. Fuentes multipolares en régimen armónico.	127
5.2.2. Campo lejano	131
5.3. Radiación de fuentes distribuidas.	132
5.3.1. Potenciales de capa	132
5.3.2. Representación de Green de la presión e introducción a la teoría de la difracción	135
5.4. Radiación acústica de un pistón en un plano	141
5.4.1. Radiación de campo lejano de un pistón circular: directividad	144
5.4.2. Radiación a lo largo del eje de un pistón circular	148
5.5. Radiación acústica de una estructura rectangular desconcertada.	149
5.6. Radiación acústica de fuentes móviles.	155
5.6.1. Fuentes compactas y no compactas	155
5.6.2. Fuentes en movimiento uniforme y no uniforme	158
5.7. Propagación del sonido en un medio acotado.	164
5.7.1. Frecuencias propias y frecuencias de resonancia	165
5.7.2. El resonador de Helmholtz	166
5.7.3. Ejemplo en la dimensión 1	167
5.7.4. Ejemplo en la dimensión 3	168
5.7.5. Propagación de sonido puro en un recinto circular	170
5.8. Fundamentos de la acústica de salas	176
5.8.1. El concepto de potencia acústica	177
5.8.2. Índice de directividad	177
5.8.3. Duración de la reverberación	178
5.8.4. Campos reverberantes	181
5.8.5. Nivel de presión en las salas	183
5.8.6. Frecuencia de cruce y distancia de reverberación	184

5.9. Propagación del sonido en una guía de ondas	185
5.9.1. Solución general en una guía de ondas	185
5.9.2. Interpretación física y teoría de los modos	187
5.9.3. La función de Green	190
5.9.4. Cambio de sección	191
5.9.5. Propagación en un conducto en presencia de flujo	195
Capítulo 6. Propagación de ondas en medios elásticos	199
6.1. Ecuación de la propagación mecánica de las ondas	200
6.2. Ondas libres	201
6.2.1. Ondas volumétricas.	201
6.2.2. Caso de ondas planas.	203
6.2.3. Ondas de superficie.	204
6.3. Nucleos de Green en un régimen armónico	211
6.4. Aproximación de cuerpos de para estructuras planas	211
6.4.1. Vigas rectas	213
6.4.2. Placas planas.	222
6.5. Aproximación de cuerpos finos para estructuras cilíndricas	236
6.5.1. Cilindro.	237
6.5.2. Anillo	253
Capítulo 7. Vibraciones de las estructuras delgadas.	261
7.1. Vibraciones de vigas	261
7.1.1. Vibraciones de compresión de una viga.	261
7.1.2. Vibraciones de flexión de la viga.	266
7.2. Vibraciones de la placa	278
7.2.1. Placa infinita.	279
7.2.2. Placa finita	287
7.2.3. Placa de forma arbitraria.	307
7.3. Vibraciones del cascarón cilíndrica.	312
7.3.1. Cascarón infinito	313
7.3.2. Cascarón finito	318
Capítulo 8. Radiación acústica de las placas delgadas	331
8.1. Primeras nociones de vibroacústica: un ejemplo sencillo.	333
8.1.1. Ecuaciones de movimiento	333
8.1.2. Radiación acústica	335

8.1.3. Aproximación del “fluido ligero”	337
8.1.4. Transmisión de sonido	339
8.1.5. Régimen transitorio.	349
8.2. Ondas libres en una placa infinita sumergida en un fluido	354
8.2.1. Raíces de la ecuación de dispersión	355
8.2.2. Aproximación del fluido ligero	358
8.3. Transmisión de una onda plana por una placa delgada	360
8.4. Radiación de una placa infinita bajo la excitación del punto	364
8.4.1. Ecuación íntegro-diferencial con respecto a u	364
8.4.2. Transformada de Fourier de u	365
8.4.3. Cálculo de $u(r)$	366
8.4.4. Presión acústica radiada	367
8.5. Radiación acústica y vibración de placas finitas	369
8.5.1. Planteamiento del problema.	369
8.5.2. Métodos exactos.	370
8.5.3. Aproximación del fluido ligero	377
8.5.4. Aproximaciones de orden superior.	383
8.6. Acoplamiento de fluidos pesados: estimación de resonancia.	392
8.6.1. Placa rectangular con abrazadera acoplada a un fluido pesado	393
8.6.2. Localización de las resonancias de una placa acoplada.	410
8.7. Vibraciones de una placa delgada en un flujo turbulento	414
8.7.1. Densidad interspectral: modelos simples	415
8.7.2. Representación Green de una placa acoplada	418
8.7.3. Placa simplemente apoyada en el aire excitada por una capa límite turbulenta	423
8.8. Acoplamiento aeroelástico, salpicado	426
8.8.1. Salpicaduras	426
8.8.2. Inestabilidad convectiva	429
8.8.3. Inestabilidad de Kelvin-Helmholtz.	434

Capítulo 9. Modelos teóricos básicos de aeroacústica 437

9.1. Preámbulo.	437
9.2. La ecuación de Lighthill y algunas de las generalizaciones que han seguido	439
9.3. Recordatorio de algunas nociones sobre la turbulencia que serán útiles aquí	451
9.4. El modelo Proudman para turbulencias homogéneas e isotrópicas	457
9.5. El modelo Lilley para una turbulencia homogénea e isotrópica	463

9.6. Los modelos recientes y algunas validaciones experimentales.	465
9.7. La ecuación de Powell-Howe para el sonido generado por vorticidad.	476
Capítulo 10. Algunas situaciones más cercanas a la realidad . . .	485
10.1. El modelo Ribner para jets	485
10.2. Problemas y modelos específicos de las interacciones con los muros (capas de borde).	502
10.3. Ruido generado por la llama	514
10.4. Ruido generado por palas o hélices en movimiento: el método Kirchhoff.	522
10.4.1. Ruido generado por un cuerpo sólido en movimiento, en el dominio temporal	522
10.4.2. Ruido generado por un conjunto de palas rotativas y palas fijas en cascada, en el dominio de la frecuencia	531
10.4.3. Ruido generado por la interacción entre la hoja y el vórtice, utilizando el método de generación de sonido del vórtice	541
10.5. Ruido generado y que se propaga en la atmósfera real: consideración de la estratificación térmica y de los eventuales obstáculos	546
10.5.1. Propiedades características de la capa límite atmosférica e impactos en la propagación del sonido	548
10.5.2. Modelos de propagación de las ondas sonoras en la atmósfera	559
Capítulo 11. Implementación y uso de simulaciones numéricas	571
11.1. Métodos híbridos.	572
11.2. Simulaciones numéricas directas y simulaciones de grandes remolinos.	575
11.3. Conclusión	585
Bibliografía.	589
Índice alfabético	609