

# ÍNDICE DE MATERIAS

<b>PARTE I: GENERALIDADES</b> .....	1
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	3
1.1. La mecánica .....	3
1.2. Los fluidos .....	4
1.3. Observaciones generales sobre los problemas de la mecánica de los fluidos .....	4
1.4. Aplicaciones de la mecánica de los fluidos .....	5
1.5. Magnitudes que se deben medir en la mecánica de los fluidos ..	7
1.6. Dificultades y simplificaciones en la mecánica de los fluidos ..	12
Ejercicios .....	13
<b>2. LA PARTÍCULA FLUIDA</b> .....	15
2.1. Hipótesis de continuidad .....	15
2.2. Superficies de discontinuidad .....	16
2.3. Cuasicontinuidad .....	17
2.4. Fenómenos para los cuales la hipótesis de continuidad ya no es válida .....	19
2.5. La partícula fluida .....	20
2.6. Movimiento de los fluidos: flujo .....	24
2.7. Líneas de corriente .....	27
2.8. Trayectorias de las partículas .....	29
2.9. Comparación entre trayectorias y líneas de corriente .....	30
2.10. Líneas de emisión .....	31
Ejercicios .....	33

3.	<b>EL FLUIDO Y SUS PROPIEDADES</b> .....	35
	<b>A. MAGNITUDES QUE CARACTERIZAN LAS PROPIEDADES DE UN FLUIDO</b> .....	35
	3.1. Definición de fluido .....	35
	3.2. Compresibilidad isoterma de un fluido .....	37
	3.3. Dilatabilidad del fluido .....	41
	3.4. Viscosidad del fluido .....	44
	3.5. Conductividad térmica del fluido .....	48
	3.6. Difusividad de masa del fluido .....	49
	<b>B. INTERPRETACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE UN GAS POR MEDIO DE LA TEORÍA CINÉTICA</b> .....	53
	3.7. Generalidades sobre la teoría cinética de los gases .....	53
	3.8. El concepto de presión en el contexto de la teoría cinética .....	54
	3.9. Interpretación de la ecuación de estado de los gases perfectos .....	56
	3.10. Distribución de las velocidades .....	57
	3.11. Interpretación de la viscosidad .....	59
	3.12. Interpretación de un fenómeno de transporte cualquiera .....	62
	3.13. Viscosidad cinemática, difusividad térmica .....	64
	Ejercicios .....	65
4.	<b>REPASO DE MATEMÁTICAS</b> .....	69
	<b>A. VECTORES Y TENSORES</b> .....	69
	4.1. Vectores y sistemas de vectores .....	69
	4.2. Tensores .....	72
	4.3. Tensores simétricos y antisimétricos .....	75
	<b>B. ALGUNOS TEOREMAS DE LA TEORÍA DE FUNCIONES</b> .....	78
	4.4. Teorema de la integral nula, teorema de la media .....	78
	4.5. Incrementos finitos .....	80
	4.6. Gradiente, divergencia, laplaciano, rotacional .....	80
	4.7. Teorema de Green (llamado también de Gauss) .....	83
	4.8. Teorema de Stokes .....	87
	Nota 4.1. Sobre el cambio de sistemas de referencia .....	92
	Ejercicios .....	99
5.	<b>NOTAS Y COMPLEMENTOS DE DINÁMICA</b> .....	101
	5.1. Principios .....	101
	5.2. Teoremas globales de Euler .....	105
	5.3. Trabajo .....	109
	5.4. Trabajo y energía cinética .....	112
	5.5. Trabajo de las fuerzas de contacto en un fluido en movimiento .....	116

5.6.	Trabajo de una máquina .....	122
5.7.	Trabajo perdido .....	125
	Ejercicios .....	127
<b>6.</b>	<b>REPASO DE TERMODINÁMICA .....</b>	<b>129</b>
6.1.	Estado interno .....	129
<b>A.</b>	<b>PRIMER PRINCIPIO .....</b>	<b>130</b>
6.2.	Energía interna .....	130
6.3.	Calor. Ecuación de la energía interna .....	131
6.4.	Ecuación intrínseca del calor .....	134
6.5.	Energía interna de un gas perfecto .....	136
6.6.	Entalpía .....	139
<b>B.</b>	<b>SEGUNDO PRINCIPIO .....</b>	<b>141</b>
6.7.	Reversibilidad .....	141
6.8.	Equilibrio interno .....	144
6.9.	Entropía de un gas perfecto .....	145
6.10.	Desigualdad de Carnot-Clausius .....	148
6.11.	Desigualdades de Jouguet y de Gouy .....	151
	Ejercicios .....	153
<b>7.</b>	<b>LA SEMEJANZA EN MECÁNICA DE FLUIDOS .....</b>	<b>155</b>
7.1.	Definición de la semejanza física .....	155
7.2.	Homogeneidad de las ecuaciones de la física .....	157
7.3.	Estudio de las relaciones de semejanza por consideraciones de homogeneidad .....	160
7.4.	Obtención de ecuaciones reducidas en el caso en que las ecuaciones iniciales entre magnitudes son igualdades entre productos de potencias .....	161
7.5.	Obtención de ecuaciones reducidas en el caso general: relaciones entre magnitudes adimensionales .....	162
7.6.	Realización de la semejanza física .....	165
7.7.	Ventajas de las variables reducidas .....	167
7.8.	Plan de búsqueda de las semejanzas en el análisis dimensional .....	170
7.9.	Observaciones complementarias .....	174
7.10.	Conclusiones .....	176
	Nota 7.1. Demostración general del teorema de Vaschy .....	177
	Ejercicios .....	179
<b>8.</b>	<b>ONDAS Y CELERIDAD DEL SONIDO .....</b>	<b>183</b>
8.1.	Propagación de una onda y propagación del sonido .....	183

8.2.	Mecanismo de la propagación de una onda .....	185
8.3.	Expresión de la celeridad del sonido .....	189
8.4.	Velocidades subsónica y supersónica .....	191
8.5.	Ángulo de Mach; número de Mach .....	193
8.6.	Ondas elementales oblicuas u ondas de Mach .....	196
8.7.	Onda de choque normal .....	196
	<b>Ejercicios</b> .....	201
<b>9.</b>	<b>LOS MÉTODOS ÓPTICOS EN EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL FLUJO</b> .....	203
9.1.	Principio general de estos métodos .....	203
9.2.	Métodos interferométricos .....	204
9.3.	Método de interferometría diferencial .....	210
9.4.	Método estrioscópico .....	215
9.5.	Método de las sombras .....	220
	<b>Ejercicios</b> .....	222
	<b>PARTE II: ESTÁTICA DE LOS FLUIDOS</b> .....	223
<b>10.</b>	<b>LEYES GENERALES DE LA ESTÁTICA DE LOS FLUIDOS</b> ...	225
10.1.	Fuerzas de presión en un fluido .....	225
10.2.	Presión en un punto de un fluido .....	226
10.3.	Ecuaciones generales de la estática de los fluidos .....	228
10.4.	Teoremas generales .....	230
10.5.	Fuerzas de presión sobre un cuerpo sumergido: teorema de Arquímedes .....	231
10.6.	Fuerzas de presión uniforme .....	232
	<b>Ejercicios</b> .....	235
<b>11.</b>	<b>ESTÁTICA DE LOS FLUIDOS DE DENSIDAD CONSTANTE O HIDROSTÁTICA</b> .....	237
11.1.	Hipótesis de base de la hidrostática .....	237
11.2.	Teoremas generales de la hidrostática .....	237
11.3.	Aplicación a la medida de presiones .....	242
11.4.	Aplicación al cálculo de la fuerza de presión sobre un elemento de pared .....	245
11.5.	Fuerzas de presión sobre una pared plana, en contacto por una cara con la atmósfera .....	246
11.6.	Fuerzas de presión sobre una pared plana, en contacto por ambas caras con el mismo líquido .....	250

11.7.	Fuerzas de presión sobre las paredes en contacto por una cara con la atmósfera .....	251
11.8.	Equilibrio de un líquido respecto a su recipiente móvil .....	252
	Ejercicios .....	256
<b>12.</b>	<b>FLOTADORES</b> .....	<b>263</b>
12.1.	Definiciones y convenios .....	263
12.2.	Superficie de flotación .....	265
12.3.	Superficie de empuje .....	267
12.4.	Metacentros .....	268
12.5.	Estabilidad del equilibrio .....	271
12.6.	Nociones sobre el movimiento de un flotador .....	274
	Nota 12.1. Sobre las normales a una superficie (§ 12.3.) .....	276
	Ejercicios .....	277
<b>13.</b>	<b>ESTÁTICA DE LOS FLUIDOS COMPRESIBLES</b> .....	<b>279</b>
	<b>A. FLUIDOS POCO COMPRESIBLES</b> .....	<b>279</b>
13.1.	Fluidos poco compresibles .....	279
	<b>B. ATMÓSFERA</b> .....	<b>281</b>
13.2.	Ley elemental de variación de la presión atmosférica .....	281
13.3.	Ley de variación de la presión en una atmósfera isoterma ....	282
13.4.	Ley de variación de la presión en una atmósfera donde la temperatura varía linealmente .....	284
13.5.	Atmósfera tipo .....	285
13.6.	Atmósfera real .....	288
	<b>C. GLOBOS</b> .....	<b>294</b>
13.7.	Globo cerrado (masa constante) .....	294
13.8.	Globo abierto (volumen constante) .....	296
	Ejercicios .....	300
<b>14.</b>	<b>FENÓMENOS DE TENSIÓN SUPERFICIAL</b> .....	<b>303</b>
14.1.	Tensión superficial .....	303
14.2.	Medida y propiedades de la tensión superficial .....	306
14.3.	Energía superficial .....	308
14.4.	Presión capilar .....	309
14.5.	Contacto de un líquido con otro líquido o un sólido: tensión interfacial .....	311
14.6.	Ascensiones y descensiones capilares .....	315
14.7.	Gotas .....	317
	Ejercicios .....	319

PARTE III: MOVIMIENTOS UNIDIMENSIONALES .....	323
15. ECUACIONES GENERALES DE LA DINÁMICA DE LOS FLUIDOS NO VISCOSOS .....	325
A. MOVIMIENTOS UNIDIMENSIONALES .....	325
15.1. Características del movimiento unidimensional .....	325
15.2. Ecuación de conservación de la masa en un movimiento unidimensional .....	328
15.3. Ecuación del impulso de un fluido no viscoso en un movimiento continuo unidimensional .....	329
B. MOVIMIENTO GENERAL .....	332
15.4. Magnitudes que intervienen en el movimiento .....	333
15.5. Ecuación de conservación de la masa .....	334
15.6. Ecuaciones de la impulsión de un fluido no viscoso, o ecuaciones locales de Euler .....	335
C. FILETE FLUIDO .....	337
15.7. Definición y características del filete fluido .....	337
15.8. Ecuación de conservación de la masa en movimiento permanente en un filete fluido .....	338
15.9. Ecuación de la impulsión de un movimiento permanente y continuo de un fluido no viscoso en un filete fluido .....	338
D. APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN TRANSVERSAL DEL IMPULSO .....	341
15.10. Movimiento en el que las líneas de corriente son rectilíneas y paralelas .....	341
15.11. Medida de una presión .....	343
Ejercicios .....	346
16. MOVIMIENTO UNIDIMENSIONAL DE UN FLUIDO DE DENSIDAD CONSTANTE .....	347
A. DIFERENTES ASPECTOS DE LA ECUACIÓN DE BERNOULLI .....	347
16.1. Ecuación de Bernoulli .....	347
16.2. Demostración del teorema de Bernoulli por el teorema del trabajo .....	349
16.3. Carga a lo largo de un tubo de corriente .....	352
16.4. Correcciones a introducir; coeficiente de energía cinética .....	354
16.5. Correcciones a introducir; pérdida de carga .....	357
16.6. Rozamiento sobre las paredes de un tubo de sección constante .....	360
16.7. Generalización de la relación de Bernoulli .....	362
B. APLICACIONES DE LA ECUACIÓN DE BERNOULLI .....	364
16.8. Aplicación 1. Derrame a través de un orificio en pared delgada.	

	Teorema de Torricelli .....	364
16.9.	Aplicación 2. Flujo en un tubo de sección variable; tubo de Venturi .....	367
16.10.	Aplicación 3. Presión de estancamiento de un filete fluido; tubo de Pitot .....	370
16.11.	Aplicación 4. Distribución de las velocidades alrededor de un obstáculo .....	375
16.12.	Aplicación a túneles aerodinámicos .....	378
	Ejercicios .....	379
<b>17.</b>	<b>MOVIMIENTO UNIDIMENSIONAL DE UN FLUIDO DE DENSIDAD VARIABLE .....</b>	<b>387</b>
	<b>A. LEYES GENERALES .....</b>	<b>387</b>
17.1.	La aerotermodinámica .....	387
17.2.	Sistema de ecuaciones del movimiento. Ecuación de Saint-Venant .....	
17.3.	Ecuación de la energía .....	393
17.4.	Condiciones de estancamiento y condiciones de recinto .....	399
	<b>B. APLICACIONES .....</b>	<b>404</b>
17.5.	Aplicación 1. Derrame a través de un orificio en pared delgada .....	404
17.6.	Aplicación 2. Flujo en un tubo de sección variable; tubo de Venturi .....	406
17.7.	Aplicación 3. Tubo de Pitot en fluido compresible .....	408
	Ejercicios .....	411
<b>18.</b>	<b>MOVIMIENTOS SUBSÓNICOS Y SUPERSÓNICOS .....</b>	<b>415</b>
	<b>A. EL NÚMERO DE MACH CRÍTICO .....</b>	<b>415</b>
18.1.	Teoremas de Hugoniot .....	416
18.2.	Otras formas de la ecuación de la energía .....	419
18.3.	Otras formas de la ecuación de Saint-Venant .....	423
	<b>B. LA ONDA DE CHOQUE NORMAL .....</b>	<b>424</b>
18.4.	Sistema de ecuaciones relativo a la onda de choque normal ...	424
18.5.	Relación de Hugoniot .....	425
18.6.	Relación de Prandtl .....	429
18.7.	Irreversibilidad de la onda de choque .....	433
	<b>C. ALGUNAS APLICACIONES .....</b>	<b>438</b>
18.8.	Estudio de una boquilla convergente .....	438
18.9.	Estudio de una tobera convergente-divergente .....	441

18.10. Túneles supersónicos .....	452
18.11. Sonda de presión de estancamiento .....	454
Nota 18.1. Sobre la terminología de las presiones .....	455
Ejercicios .....	458
19. FLUJO UNIDIMENSIONAL DE UN FLUIDO DE DENSIDAD VARIABLE CON ROZAMIENTO Y TRANSMISIÓN DE CALOR .....	463
A. ECUACIONES GENERALES .....	463
19.1. Flujo permanente isoentrópico en una conducción cilíndrica ..	463
19.2. Ecuación de la impulsión en el caso de rozamiento y ecuación de la energía en el caso de una transmisión de calor .....	465
B. FLUJO CON ROZAMIENTO .....	469
19.3. Ecuaciones del flujo con rozamiento en una conducción cilíndrica térmicamente aislada .....	469
19.4. Estudio práctico del flujo con rozamiento en una conducción cilíndrica térmicamente aislada .....	476
C. FLUJO CON VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA GENERATRIZ .....	486
19.5. Ecuaciones del flujo, sin rozamiento pero con variación de la temperatura generatriz, en una conducción cilíndrica .....	486
19.6. Ondas de choque y combustión .....	493
19.7. Choque de condensación .....	500
D. FLUJO ISOTÉRMICO .....	501
19.8. Ecuaciones del flujo isotérmico en una conducción cilíndrica ..	502
E. FLUJO GENERAL .....	508
19.9. Ecuaciones del flujo con rozamiento y transmisión de calor en una conducción de sección variable .....	508
Ejercicios .....	511
20. MOVIMIENTO DE UN FLUIDO INCOMPRESIBLE CON SUPERFICIE LIBRE .....	519
A. ONDAS DE GRAVEDAD .....	519
20.1. Mecanismo de propagación de una onda de gravedad .....	519
20.2. Celeridad de las ondas de gravedad .....	523
20.3. Ondas elementales. Distinción entre régimen fluvial y torrencial ..	525
20.4. Ondas de amplitud finita. Resalto .....	526
B. MOVIMIENTOS PERMANENTES .....	533
20.5. Movimientos uniformes con rozamiento .....	533
20.6. Movimientos gradualmente variados: Carga intrínseca .....	539



20.7.	Movimiento sin rozamiento con variación de la profundidad del líquido .....	545
20.8.	Movimientos con rozamiento y con variación de la profundidad del líquido .....	552
	<b>Ejercicios</b> .....	555
 <b>PARTE IV: MOVIMIENTOS CON POTENCIAL DE VELOCIDADES</b>		<b>559</b>
21.	<b>ROTACIÓN Y DEFORMACIÓN DE UNA PARTÍCULA EN EL CURSO DE SU MOVIMIENTO</b> .....	561
21.1.	Distribución de las velocidades en la proximidad de un punto en un movimiento plano .....	561
21.2.	Magnitudes asociadas con la rotación y la deformación de una partícula en un movimiento plano .....	567
21.3.	Movimientos planos rotacionales y movimientos planos irrotacionales .....	569
21.4.	Distribución de velocidades en las proximidades de un punto en un movimiento tridimensional .....	573
	<b>Ejercicios</b> .....	578
22.	<b>FUNCIONES CARACTERÍSTICAS DEL MOVIMIENTO DE UN FLUIDO: POTENCIAL DE VELOCIDADES Y FUNCIÓN DE CORRIENTE</b> .....	581
	<b>A. CIRCULACIÓN Y POTENCIAL DE VELOCIDADES</b> .....	581
22.1.	Flujo del rotacional del vector velocidad .....	581
22.2.	Circulación del vector velocidad .....	584
22.3.	Potencial de velocidades .....	585
22.4.	Potencial de velocidades en el caso de un fluido incompresible .....	589
	<b>B. CAUDAL Y FUNCIÓN DE CORRIENTE</b> .....	592
22.5.	Movimiento de un fluido incompresible .....	592
22.6.	Movimiento plano de un fluido incompresible con potencial de velocidades .....	596
22.7.	Movimiento plano estacionario de un fluido compresible .....	600
22.8.	Movimiento de revolución .....	602
	<b>Ejercicios</b> .....	607
23.	<b>DINÁMICA DE LOS FLUIDOS NO VISCOSOS Y BAROTRÓPICOS</b> .....	611
23.1.	Potencial de aceleraciones .....	611

23.2.	Teorema de Thomson y de Lagrange .....	613
23.3.	Ecuación de Helmholtz .....	616
23.4.	Aplicación de la ecuación de Helmholtz al caso de un movimiento estacionario .....	617
23.5.	La variación de la entropía en el flujo permanente de fluido no viscoso .....	620
23.6.	Aplicación de la ecuación de Helmholtz al caso de un flujo no permanente .....	622
	<b>Ejercicios</b> .....	626
<b>24.</b>	<b>EJEMPLOS SENCILLOS DE MOVIMIENTOS IRROTACIONALES DE UN FLUIDO INCOMPRESIBLE</b> .....	627
24.1.	El movimiento uniforme .....	627
24.2.	Movimiento en las proximidades del punto de estancamiento de una superficie redondeada .....	629
24.3.	El vórtice .....	632
24.4.	El manantial .....	637
24.5.	Superposición de un vórtice a otro movimiento simple .....	640
24.6.	El "semicuerpo" .....	641
24.7.	Sólidos de Rankine .....	645
24.8.	La esfera .....	646
24.9.	Paradoja de D'Alembert .....	650
	<b>Ejercicios</b> .....	651
<b>25.</b>	<b>REPRESENTACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS INCOMPRESIBLES E IRROTACIONALES MEDIANTE FUNCIONES ANALÍTICAS</b> .....	655
25.1.	Resumen de la definición y de algunas propiedades de las funciones analíticas .....	655
25.2.	Potencial complejo y velocidad compleja .....	662
25.3.	Movimientos representados por las funciones multiformes .....	665
25.4.	Movimiento alrededor de un cilindro circular indefinido .....	670
25.5.	Fuerzas ejercidas sobre un sólido .....	676
25.6.	Imágenes hidrodinámicas .....	681
	<b>Ejercicios</b> .....	685
<b>26.</b>	<b>LA REPRESENTACIÓN CONFORME</b> .....	691
26.1.	Generalidades sobre la representación conforme .....	691
26.2.	Complementos a la representación conforme .....	695

26.3.	Ejemplos de representaciones conformes .....	698
26.4.	Aplicación de la representación conforme a los movimientos de los fluidos .....	703
26.5.	Aplicaciones de la transformación de Joukovsky a los movimientos de los fluidos .....	705
26.6.	Rejilla de álabes .....	712
26.7.	Utilización del plano de la hodógrafa .....	718
	Ejercicios .....	721
27.	<b>LAS ANALOGÍAS REOELÉCTRICAS</b> .....	725
27.1.	Principio de la analogía reoeléctrica .....	725
27.2.	Aplicación a movimientos planos alrededor de un sólido .....	731
27.3.	Aplicación a los movimientos meridianos .....	737
27.4.	Aplicación a la representación conforme .....	740
	Ejercicios .....	745
	<b>ÍNDICE ALFABÉTICO</b> .....	747