

CONTENIDO

PREFACIO xiii

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN 1

- 1.1 Naturaleza de los fluidos 3
- 1.2 Esfuerzos en los fluidos 5
- 1.3 Presión 6
 - 1.3.1 Presión: dirección de la acción 7
 - 1.3.2 Fuerzas debidas a la presión 8
 - 1.3.3 La presión es isotrópica 9
 - 1.3.4 Esfuerzos globales y presión del fluido 10
 - 1.3.5 Densidad y gravedad específica 12
 - 1.3.6 Ley del gas ideal 13
 - 1.3.7 Compresibilidad en los fluidos 14
 - 1.3.8 Presión: su transmisión a través de un fluido 16
 - 1.3.9 Prensas y elevadores hidráulicos 17
- 1.4 Esfuerzos viscosos 22
 - 1.4.1 Esfuerzos viscosos cortantes 23
 - 1.4.2 Consideraciones sobre energía y trabajo 24
 - 1.4.3 Esfuerzos viscosos normales 25
 - 1.4.4 Viscosidad 26
- 1.5 Mediciones de viscosidad 27
- 1.6 Capas límite 29
- 1.7 Flujos laminar y turbulento 32
- 1.8 **Tensión superficial 33
 - 1.8.1 Gotas y burbujas 34
 - 1.8.2 Formación de meniscos 35
 - 1.8.3 Capilaridad 36
- 1.9 Unidades y dimensiones 37
- Problemas 39

CAPÍTULO 2 ESTÁTICA DE FLUIDOS 43

- 2.1 La ecuación de la hidrostática 43
- 2.2 Presión manométrica y presión absoluta 45
- 2.3 Aplicaciones de la ecuación hidrostática 47
 - 2.3.1 Variación de la presión con la altura y la profundidad 47
 - 2.3.2 Manómetros 49
 - 2.3.3 Barómetros 50

2.4	Paredes verticales de anchura constante	53
2.4.1	Solución mediante presiones absolutas	54
2.4.2	Solución mediante presiones manométricas	54
2.4.3	Balance del momento	55
2.4.4	¿Presión manométrica o presión absoluta?	56
2.5	Paredes inclinadas con anchura constante	62
2.5.1	Fuerza horizontal	63
2.5.2	Fuerza vertical	64
2.5.3	Fuerza resultante	64
2.5.4	Balance de momentos	65
2.6	Fuerzas hidrostáticas sobre superficies curvas	68
2.6.1	Fuerza resultante	68
2.6.2	Línea de acción	71
2.7	Superficies bidimensionales	71
2.8	**Centros de presión, momentos de área	76
2.9	Principio de arquímedes	78
2.10	**Estabilidad de cuerpos flotantes	80
2.11	**Fluidos en movimiento de cuerpo rígido	80
2.11.1	Aceleración vertical	81
2.11.2	Aceleraciones vertical y horizontal	82
2.11.3	Rotación de cuerpo rígido	83
	Problemas	85

CAPÍTULO 3 *INTRODUCCIÓN AL MOVIMIENTO DE LOS FLUIDOS I* 101

3.1	Introducción	101
3.2	Partículas de fluido y volúmenes de control	101
3.2.1	Sistema lagrangiano	101
3.2.2	Sistema euleriano	102
3.2.3	Elementos de fluido	102
3.2.4	Volúmenes de control grandes	103
3.2.5	Flujo en regímenes permanente y transitorio	105
3.3	Líneas de corriente y tubos de corriente	105
3.3.1	Líneas de corriente	105
3.3.2	Trayectoria	106
3.3.3	Líneas de emisión	106
3.3.4	Tubos de corriente	107
3.3.5	Líneas de tiempo	109
3.4	Dimensión de un campo de flujo	111
3.5	Conservación de la masa	112
3.6	Ecuación de la cantidad de movimiento	114
3.6.1	Fuerzas	114
3.6.2	Flujo unidireccional	115
3.6.3	Flujo bidireccional	117
3.7	Fuerzas viscosas y pérdidas de energía mecánica	119
	Problemas	124

CAPÍTULO 4 *INTRODUCCIÓN AL MOVIMIENTO DE LOS FLUIDOS II* 130

- 4.1 Introducción 130
 - 4.2 Ecuación de bernoulli 130
 - 4.2.1 Balance de fuerzas a lo largo de líneas de corriente 131
 - 4.2.2 Balance de fuerzas en dirección normal a las líneas de corriente 133
 - 4.3 Presión de estancamiento y presión dinámica 134
 - 4.4 Variación de la presión y de la velocidad 135
 - 4.5 Aplicaciones de la ecuación de bernoulli 137
 - 4.5.1 Tubo de Pitot 138
 - 4.5.2 Tubo de Venturi y atomizador 139
 - 4.5.3 Sifón 141
 - 4.6 Ecuación de bernoulli y drenado de tanques 143
 - 4.7 *Ecuación de la energía 149
 - 4.7.1 Primera ley de la termodinámica 149
 - 4.7.2 Flujo unidimensional 151
 - 4.7.3 Relación con la ecuación de Bernoulli 153
- Problemas 155

CAPÍTULO 5 *ECUACIONES DE MOVIMIENTO EN FORMA INTEGRAL* 168

- 5.1 Flujo 168
 - 5.2 Ecuación de continuidad 171
 - 5.3 Ecuación de la cantidad de movimiento 178
 - 5.3.1 Término transitorio 179
 - 5.3.2 Término de flujo 179
 - 5.3.3 Fuerza resultante 180
 - 5.4 Teorema del transporte de reynolds 185
 - 5.5 *Ecuación de la energía 187
- Problemas 189

CAPÍTULO 6 *ECUACIONES DIFERENCIALES DEL MOVIMIENTO* 200

- 6.1 Rapidez de cambio siguiendo una partícula de fluido 200
 - 6.1.1 Aceleración en coordenadas cartesianas 203
 - 6.1.2 Aceleración en coordenadas cilíndricas 203
- 6.2 Ecuación de continuidad 206
 - 6.2.1 Formas particulares 208
- 6.3 Ecuación de la cantidad de movimiento 208
 - 6.3.1 Ecuación de Euler en coordenadas cartesianas 210
 - 6.3.2 Ecuación de Euler en coordenadas cilíndricas 211
 - 6.3.3 Ecuaciones de Navier-Stokes 211
 - 6.3.4 Condiciones de frontera 213

- 6.4 *Aplicación al movimiento de cuerpo rígido 215
- 6.5 Flujo unidimensional transitorio 215
 - 6.5.1 Ecuación de continuidad 216
 - 6.5.2 Ecuación de la cantidad de movimiento 217
 - 6.5.3 *Ecuación de la energía 219
- Problemas 221

CAPÍTULO 7 *FLUJOS INCOMPRESIBLES IRROTACIONALES* 226

- 7.1 Vorticidad y rotación 227
- 7.2 El potencial de velocidad ϕ 229
- 7.3 La función de corriente ψ 230
- 7.4 Flujos donde existen ψ y ϕ en forma simultánea 231
- 7.5 Resumen de definiciones y restricciones 232
- 7.6 Ejemplos de flujo potencial 234
 - 7.6.1 Flujo uniforme 235
 - 7.6.2 Fuente puntual 236
 - 7.6.3 Vórtice potencial 237
- 7.7 Ecuación de laplace 239
- 7.8 Fuente en un flujo uniforme 241
- 7.9 Flujo potencial sobre un cilindro 242
 - 7.9.1 Distribución de la presión 244
 - 7.9.2 Efectos viscosos 245
- 7.10 Sustentación 246
 - 7.10.1 Efecto Magnus 247
 - 7.10.2 Cuerpos aerodinámicos y alas 248
- 7.11 Interacciones de los vórtices 251
- Problemas 253

CAPÍTULO 8 *ANÁLISIS DIMENSIONAL* 257

- 8.1 Homogeneidad dimensional 258
- 8.2 Aplicación de la homogeneidad dimensional 260
 - 8.2.1 Ejemplo: Salto hidráulico 260
 - 8.2.2 Ejemplo: Arrastre sobre una esfera 262
- 8.3 El número de grupos adimensionales 267
- 8.4 Problemas de adimensionalización 270
- 8.5 Ejemplo de flujo en tubos 271
- 8.6 Grupos adimensionales comunes 273
- 8.7 Adimensionalización de las ecuaciones 274
- 8.8 Modelos a escala 276
 - 8.8.1 Semejanza geométrica 277
 - 8.8.2 Semejanza cinemática 277
 - 8.8.3 Semejanza dinámica 277
- Problemas 285

CAPÍTULO 9 FLUJOS VISCOSOS INTERNOS 291

- 9.1 Introducción 291
- 9.2 Esfuerzos viscosos y número de reynolds 291
- 9.3 Capas límite y flujos completamente desarrollados 292
- 9.4 Transición y turbulencia 294
- 9.5 Flujo de poiseuille 295
 - 9.5.1 Flujo completamente desarrollado en conductos 296
 - 9.5.2 Flujo completamente desarrollado en tubos 300
- 9.6 Transición del flujo en tuberías 303
- 9.7 Flujo turbulento en tuberías 305
- 9.8 Ecuación de la energía para flujo en tuberías 307
 - 9.8.1 Coeficiente de energía cinética 307
 - 9.8.2 Pérdidas primarias y secundarias 309
- 9.9 Válvulas y grifos 312
- 9.10 Diámetro hidráulico 314
- Problemas 317

CAPÍTULO 10 FLUJOS VISCOSOS EXTERNOS 325

- 10.1 Introducción 325
- 10.2 Capa límite laminar 325
 - 10.2.1 Análisis de volumen de control 325
 - 10.2.2 Solución por semejanza 327
- 10.3 Espesores de desplazamiento y de cantidad de movimiento 331
 - 10.3.1 Espesor de desplazamiento 331
 - 10.3.2 Espesor de cantidad de movimiento 333
 - 10.3.3 Factor de forma 334
- 10.4 Capas límite turbulentas 334
- 10.5 Separación, readherencia y estelas 338
- 10.6 Arrastre en cuerpos romos y aerodinámicos 341
- 10.7 Pelotas de golf, cricket y beisbol 347
- 10.8 Campos de flujo en automóviles 349
- Problemas 353

CAPÍTULO 11 FLUJO EN CANALES ABIERTOS 359

- 11.1 Introducción 359
- 11.2 Ondas gravitatorias de amplitud pequeña 360
- 11.3 Número de froude 363
- 11.4 Rompimiento de ondas 364
- 11.5 Tsunamis 365
- 11.6 Saltos hidráulicos 367
- 11.7 ¿Caídas hidráulicas? 371
- 11.8 Rompientes y oleaje 372

- 11.9 Flujo a través de un estrechamiento suave 373
 - 11.9.1 Flujo subcrítico en un estrechamiento 377
 - 11.9.2 Flujo supercrítico en un estrechamiento 378
 - 11.9.3 Flujo sobre tope 379
- Resumen 379
- Problemas 384

CAPÍTULO 12 FLUJO COMPRESIBLE 396

- 12.1 Introducción 396
- 12.2 Propagación de la presión en un fluido en movimiento 398
- 12.3 Regímenes de flujo 400
- 12.4 Termodinámica del flujo compresible 401
 - 12.4.1 Relaciones del gas ideal 402
 - 12.4.1.1 Calores específicos 402
 - 12.4.1.2 Variaciones de la entropía 402
 - 12.4.1.3 Relaciones del calor específico 403
 - 12.4.2 Velocidad del sonido 404
 - 12.4.3 Propiedades de estancamiento 405
- 12.5 Flujo compresible a través de una tobera 408
 - 12.5.1 Análisis del flujo isentrópico 409
 - 12.5.2 Razón de áreas 412
 - 12.5.3 Flujo estrangulado 412
- 12.6 Ondas de choque normales 414
 - 12.6.1 Razón de temperatura 415
 - 12.6.2 Razón de densidades 415
 - 12.6.3 Razón de números de Mach 416
 - 12.6.4 Razón de presiones de estancamiento 416
 - 12.6.5 Cambios de la entropía 417
 - 12.6.6 Resumen: ondas de choque normales 418
- 12.7 Ondas de choque normales débiles 421
- 12.8 Ondas oblicuas 421
 - 12.8.1 Relaciones de onda de choque oblicua 423
 - 12.8.2 Desviación del flujo 423
 - 12.8.3 Resumen de ondas de choque oblicuas 424
- 12.9 Ondas de choque oblicuas débiles y ondas de compresión 426
- 12.10 Ondas expansivas 429
- 12.11 Arrastre de onda en vehículos supersónicos 430
- Problemas 431

CAPÍTULO 13 TURBOMÁQUINAS 435

- 13.1 Introducción 435
- 13.2 Ecuación de la cantidad de movimiento angular para una turbina 435
- 13.3 Diagramas de velocidad 439

- 13.4 Turbinas hidráulicas 439
 - 13.4.1 Turbinas de impulso 441
 - 13.4.2 Turbina de flujo radial 442
 - 13.4.3 Turbina de flujo axial 443
- 13.5 Bombas 447
 - 13.5.1 Bombas centrífugas 448
 - 13.5.2 Cavitación 449
- 13.6 Mediciones del rendimiento relativo 452
- 13.7 Análisis dimensional 454
- 13.8 Hélices y molinos de viento 457
- 13.9 Generación de energía con el viento 461
- Problemas 465

CAPÍTULO 14 MECÁNICA DE FLUIDOS Y MEDIO AMBIENTE 469

- 14.1 Flujos atmosféricos 469
- 14.2 Equilibrio de la atmósfera 470
- 14.3 Patrones circulatorios y efectos de Coriolis 472
- 14.4 Capa límite planetaria 476
- 14.5 Intensidad y dirección prevalecientes del viento 477
- 14.6 Contaminación atmosférica 478
- 14.7 Dispersión de contaminantes 479
- 14.8 Difusión y mezclado 480
- Problemas 483

Capítulo 15 NOTAS HISTÓRICAS 485

- 15.1 Arquímedes de Siracusa 485
- 15.2 Leonardo da Vinci 487
- 15.3 Evangelista Torricelli 488
- 15.4 Blaise Pascal 489
- 15.5 Sir Isaac Newton 491
- 15.6 Daniel Bernoulli 494
- 15.7 Leonhard Euler 495
- 15.8 Jean le Rond D'Alembert 497
- 15.9 Joseph-Louis Lagrange 498
- 15.10 Claude Louis Marie Henri Navier 499
- 15.11 Jean L.M. Poiseuille 500
- 15.12 Gustav Heinrich Magnus 501
- 15.13 William Froude 501
- 15.14 George Gabriel Stokes 502
- 15.15 Ernst Mach 503
- 15.16 Osborne Reynolds 504
- 15.17 Ludwig Prandtl 505
- 15.18 Lewis Ferry Moody 507

xii CONTENIDO

15.19	Theodore Von Kármán	508
15.20	Geoffrey Ingram Taylor	509
	Referencias bibliográficas	511

APÉNDICE A *HERRAMIENTAS ANALÍTICAS* 513

APÉNDICE B *FACTORES DE CONVERSIÓN* 524

APÉNDICE C *PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS Y DE FLUJOS* 526

APÉNDICE D *RECURSOS WEB* 544

RESPUESTAS A PROBLEMAS SELECCIONADOS 546

ÍNDICE 560