

## INDICE

|   |           |
|---|-----------|
| Prefacio  | Xiii      |
| <b>Capítulo 1. Introduccion</b>                               | <b>1</b>  |
| 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 e isotrópica                                | 9         |
| 1.3.4. Esfuerzos globales y presión del fluido                | 10        |
| 1.3.5. Densidad y gravedad especifica                         | 12        |
| 1.3.6. Ley de 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 energías y trabajo               | 24        |
| 1.4.3. Esfuerzos viscosos normales                            | 25        |
| 1.4.4. Viscosidad   | 26        |
| 1.5. Mediciones de viscosidad                                 | 27        |
| 1.6. Capas limite   | 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        |
| <b>Capítulo 2. Estática de Fluidos</b>                        | <b>43</b> |
| 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. Manómetro  | 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. Fuerzas resultante                                     | 64        |
| 2.5.4. Balances 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. Principios de arquímedes  | 78         |
| 2.10. **Estabilidad de cuerpos flotantes                                 | 80         |
| 2.11. **Fluidos en movimientos de cuerpo rígido                          | 80         |
| 2.11.1 Aceleración vertical  | 81         |
| 2.11.2. Aceleración vertical y horizontal                                | 82         |
| 2.11.3. Rotación de cuerpo rígido  | 83         |
| Problemas  | 85         |
| <b>Capítulo 3. Introducción al Movimiento de los Fluidos I</b>           | <b>101</b> |
| 3.1. Introducción  | 101        |
| 3.2. Partículas de fluidos y volúmenes de control                        | 101        |
| 3.2.1. Sistema lagrangiano   | 101        |
| 3.2.2. Sistema eulero  | 102        |
| 3.2.3. Elementos de fluidos  | 102        |
| 3.2.4. Volúmenes de control grandes                                      | 103        |
| 3.2.5. Flujo en régimen 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. Dimensiones de un campo de flujo                                    | 111        |
| 3.5. Conservación de la masa   | 112        |
| 3.6. Ecuaciones 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 energías mecánica                    | 119        |
| Problemas  | 124        |
| <b>Capítulo 4. Introducción al Movimiento de los Fluidos II</b>          | <b>130</b> |
| 4.1. Introducción  | 130        |
| 4.2. Ecuaciones 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 Ventura y atomizador                                      | 139        |
| 4.5.3. Sifón   | 141        |
| 4.6. Ecuaciones de bernoulli y drenado de tanques                        | 143        |
| 4.7. *Ecuación de la energía   | 149        |
| 4.7.1. Primera ley de la termodinamica                                   | 149        |
| 4.7.2. Flujo unidimensional  | 151        |
| 4.7.3. Relación con la ecuación de Bernoulli                             | 153        |
| Problemas  | 155        |
| <b>Capítulos 5. Ecuaciones de Movimientos en Forma Integral</b>          | <b>168</b> |

|   |            |
|---|------------|
| 5.1. Flujo  | 168        |
| 5.2. Ecuaciones de continuidad                                      | 171        |
| 5.3. Ecuaciones de la cantidad de movimiento                        | 178        |
| 5.3.1. Terminio transitorio   | 179        |
| 5.3.2. Terminio de flujo  | 179        |
| 5.3.3. Fuerzas resultante   | 180        |
| 5.4. Teorema del transporte de reynolds                             | 185        |
| 5.5. *Ecuaciones de la energía                                      | 187        |
| Problemas   | 189        |
| <b>Capitulo 6. Ecuaciones Diferenciales del Movimiento</b>          | <b>200</b> |
| 6.1. Rapidez de cambios siguiendo una partícula de fluido           | 200        |
| 6.1.1. Aceleración en coordenadas cartesianas                       | 203        |
| 6.1.2. Aceleración en coordenadas cilíndricas                       | 203        |
| 6.2. Ecuaciones de continuidad                                      | 206        |
| 6.2.1. Formas particulares  | 208        |
| 6.3. Ecuaciones e la cantidad de movimiento                         | 208        |
| 6.3.1. Ecuaciones de Euler en coordenadas cartesianas               | 210        |
| 6.3.2. Ecuaciones de Euler en coordenadas cilíndricas               | 211        |
| 6.3.3. Ecuaciones de Navier – Stokes                                | 211        |
| 6.3.4. Condiciones de fronteras                                     | 213        |
| 6.4. *Aplicaciones al movimiento de cuerpo rígido                   | 215        |
| 6.5. Flujo unidimensional transitorio                               | 215        |
| 6.5.1. Ecuaciones de continuidad                                    | 216        |
| 6.5.2. Ecuación de la cantidad de movimiento                        | 217        |
| 6.5.3. *Ecuaciones de la energía                                    | 219        |
| Problemas   | 221        |
| <b>Capitulo 7. Flujos Incompresibles Irrotacionales</b>             | <b>226</b> |
| 7.1. Verticidad y rotación  | 227        |
| 7.2. El potencial de la velocidad                                   | 229        |
| 7.3. La función de corriente  | 230        |
| 7.4. Flujos donde existen velocidad y corriente en forma simultanea | 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. Vértice potencial  | 237        |
| 7.7. Ecuaciones de Laplace  | 239        |
| 7.8. Fuente en 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. Efectos Magnus  | 247        |
| 7.10.2. Cuerpos aerodinámicos y alas                                | 248        |
| 7.11. Interacciones de los vértices                                 | 251        |
| Problemas   | 253        |
| <b>Capitulo 8. Análisis Dimensional</b>                             | <b>257</b> |
| 8.1. Homogeneidad dimensional                                       | 258        |
| 8.2. Aplicaciones de la homogeneidad dimensional                    | 260        |
| 8.2.1. Ejemplo: salto hidráulico                                    | 260        |

|  |     |
|--|-----|
| 8.2.2. Ejemplo: Arrastre sobre una esfera            | 262 |
| 8.3. El numero de grupos adimensionales              | 267 |
| 8.4. Problemas de adimensionalización                | 270 |
| 8.5. Ejemplos 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 |
| <b>Capítulo 9. Flujos Viscosos Internos</b>          | 291 |
| 9.1. Introducción                                    | 291 |
| 9.2. Esfuerzos viscosos y numero de reynolds         | 291 |
| 9.3. Capas limite 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 de flujo en tuberías                 | 303 |
| 9.7. Flujo turbulento en tuberías                    | 305 |
| 9.8. Ecuaciones de la energía para flujo en tuberías | 307 |
| 9.8.1. Coeficiente de energía cinética               | 307 |
| 9.8.2. Perdidas primarias y secundarias              | 309 |
| 9.9. Válvulas y grifos                               | 312 |
| 9.10. Diámetro hidráulico                            | 314 |
| Problemas  | 317 |
| <b>Capítulo 10. Flujos Viscosos Externos</b>         | 325 |
| 10.1. Introducción                                   | 325 |
| 10.2. Capa limite laminar                            | 325 |
| 10.2.1. Análisis de volumen de control               | 325 |
| 10.2.2. Solución por semejanza                       | 327 |
| 10.3. Espesores de desplazamiento                    | 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 limite 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 béisbol             | 347 |
| 10.8. Campos de flujo en automóviles                 | 349 |
| Problemas  | 353 |
| <b>Capítulo 11. Flujo en Canales Abiertos</b>        | 359 |
| 11.1. Introducción                                   | 359 |
| 11.2. Ondas gravitatorias de amplitud pequeña        | 360 |
| 11.3. Numero de fraude                               | 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 |
| <b>Capítulo 12. Flujo Compresible</b>                                  | 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 en la entropía                                   | 402 |
| 12.4.1.3. Relaciones e calor específico                                | 403 |
| 12.4.2. Velocidad del sonido   | 404 |
| 12.4.3. Propiedades de estancamientos                                  | 405 |
| 12.5. Flujo compresible a través de una tobera                         | 408 |
| 12.5.1. Análisis de flujo isentrópico                                  | 409 |
| 12.5.2. Razón de áreas   | 412 |
| 12.5.3. Flujo estrangulado   | 412 |
| 12.6. Ondas de choques 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 en 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 de 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 |
| <b>Capítulo 13. Turbomaquinas</b>                                      | 435 |
| 13.1. Introducción   | 435 |
| 13.2. Ecuaciones 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. Turbinas de flujo radial                                       | 442 |
| 13.4.3. Turbinas de flujo axial  | 443 |
| 13.5. Bombas   | 447 |
| 13.5.1. Bombas centrifugas   | 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                        | 461 |
| Problemas  | 465 |
| <b>Capítulo 14. Mecánica de Fluidos y Medio Ambiente</b> | 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 |
| <b>Capítulo 15. Notas Históricas</b>                     | 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 Fraude                                    | 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 |
| 15.19. Theodore Von Karman                               | 508 |
| 15.20. Geoffrey Ingran Taylor                            | 509 |
| Referencias bibliográficas                               | 511 |
| <b>Apéndice A. Herramientas Analíticas</b>               | 513 |
| <b>Apéndice B. Factores de conversión</b>                | 524 |
| <b>Apéndice C. Propiedades de Fluidos y de Flujos</b>    | 526 |
| <b>Apéndice D. Recursos WEB</b>                          | 544 |
| Respuestas a problemas seleccionados                     | 546 |
| Índice   | 560 |