

# Contenido

**Tablas** *xi*

**Prefacio** *xiii*

**Al alumno** *xvii*

---

## **1** **Introducción** *1*

1.1 El mundo de la mecánica de fluidos *1*

1.2 Física de fluidos *10*

1.3 Dimensiones y unidades de medición *24*

1.4 Álgebra y cálculo vectoriales *29*

1.5 Problemas *36*

Bibliografía *38*

## **2** **Estática de fluidos** *39*

2.1 Fuerzas en un cuerpo fluido *39*

2.2 Esfuerzo en un fluido *40*

2.3 Presión en un fluido estático *41*

2.4 Fuerzas de presión sobre superficies sólidas *52*

2.5 Fuerzas de presión sobre cuerpos sumergidos en fluidos *60*

2.6 Fluidos estratificados *68*

2.7 Tensión superficial y capilaridad *75*

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 2.8      | Transmisión de la fuerza hidráulica                       | 77         |
| 2.9      | Problemas   | 79         |
|          | Bibliografía  | 88         |
| <b>3</b> | <b>Conservación de la masa</b>                            | <b>89</b>  |
| 3.1      | Cinemática del flujo de fluidos                           | 89         |
| 3.2      | Volúmenes y superficies de control                        | 97         |
| 3.3      | Conservación de la masa                                   | 100        |
| 3.4      | Conservación de especies químicas                         | 107        |
| 3.5      | Flujo de dos fases  | 110        |
| 3.6      | Medición del volumen y del gasto volumétrico              | 111        |
| 3.7      | Problemas   | 111        |
|          | Bibliografía  | 125        |
| <b>4</b> | <b>Flujo no viscoso</b>                                   | <b>127</b> |
| 4.1      | Criterio del flujo no viscoso                             | 127        |
| 4.2      | -Aceleración de una partícula de fluido                   | 128        |
| 4.3      | Ecuación de Euler   | 130        |
| 4.4      | Ecuación de Bernoulli                                     | 133        |
| 4.5      | La ecuación de Euler en coordenadas de línea de corriente | 150        |
| 4.6      | Flujo no viscoso en marcos de referencia no inerciales    | 152        |
| 4.7      | Flujos especiales   | 160        |
| 4.8      | Problemas   | 163        |
|          | Bibliografía  | 184        |
| <b>5</b> | <b>Conservación de la cantidad de movimiento</b>          | <b>185</b> |
| 5.1      | Introducción  | 185        |
| 5.2      | Teorema del transporte de Reynolds                        | 186        |
| 5.3      | Cantidad de movimiento                                    | 189        |

- 5.4 Aplicaciones del teorema de la cantidad de movimiento 197
- 5.5 Momento angular 219
- 5.6 Aplicaciones del teorema del momento angular 225
- 5.7 Problemas 232
- Bibliografía 263
- 6 Flujo viscoso laminar 265**
  - 6.1 Introducción 265
  - 6.2 Esfuerzo viscoso 266
  - 6.3 Fuerza viscosa 269
  - 6.4 La ecuación de movimiento de Navier-Stokes 271
  - 6.5 Aplicaciones de la ecuación de Navier-Stokes 275
  - 6.6 Capas límite laminares 311
  - 6.7 Problemas 324
  - Bibliografía 352
- 7 Flujo viscoso turbulento 353**
  - 7.1 Introducción 353
  - 7.2 Características del flujo turbulento 353
  - 7.3 Rozamiento superficial y resistencia al avance de un flujo turbulento 361
  - 7.4 Modelos simples para determinar el flujo medio de un flujo turbulento 368
  - 7.5 Problemas 374
  - Bibliografía 376
- 8 Conservación de la energía 377**
  - 8.1 Introducción 377
  - 8.2 Flujo viscoso incompresible 378
  - 8.3 La primera ley de la termodinámica 386
  - 8.4 La segunda ley de la termodinámica 394

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 8.5       | Deducción de la forma diferencial de la primera ley              | 397        |
| 8.6       | Problemas  | 399        |
|           | Bibliografía   | 400        |
| <b>9</b>  | <b>Flujo en sistemas de fluidos</b>                              | <b>401</b> |
| 9.1       | Introducción   | 401        |
| 9.2       | Pérdida de la carga hidráulica en tuberías y ductos              | 402        |
| 9.3       | Cambios de la carga hidráulica en sistemas con bombas y turbinas | 415        |
| 9.4       | Redes complejas  | 420        |
| 9.5       | Problemas  | 428        |
|           | Bibliografía   | 439        |
| <b>10</b> | <b>Análisis dimensional y modelado</b>                           | <b>441</b> |
| 10.1      | Introducción   | 441        |
| 10.2      | Análisis dimensional   | 442        |
| 10.3      | Modelado   | 456        |
| 10.4      | Resistencia al avance  | 473        |
| 10.5      | Fuerza ascensional o sustentación                                | 478        |
| 10.6      | Problemas  | 482        |
|           | Bibliografía   | 493        |
| <b>11</b> | <b>Flujo irrotacional</b>  | <b>495</b> |
| 11.1      | Introducción   | 495        |
| 11.2      | Vorticidad   | 496        |
| 11.3      | La función de corriente para un flujo incompresible              | 502        |
| 11.4      | Flujos irrotacionales planos                                     | 506        |
| 11.5      | Flujos irrotacionales de simetría axial                          | 532        |
| 11.6      | Flujo sobre perfiles aerodinámicos y alas                        | 540        |
| 11.7      | Soluciones numéricas   | 544        |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 11.8      | Flujo potencial                          | 547        |
| 11.9      | Problemas                                | 548        |
|           | Bibliografía                             | 551        |
| <b>12</b> | <b>Flujo compresible</b>                 | <b>553</b> |
| 12.1      | Introducción                             | 553        |
| 12.2      | La velocidad del sonido                  | 555        |
| 12.3      | Flujo estacionario isentrópico           | 560        |
| 12.4      | Ondas de choque                          | 570        |
| 12.5      | Flujo viscoso adiabático por una tubería | 577        |
| 12.6      | Flujo plano supersónico                  | 580        |
| 12.7      | Flujo no estacionario unidimensional     | 590        |
| 12.8      | Problemas                                | 596        |
|           | Bibliografía                             | 598        |

---

|  |        |     |
|--|--------|-----|
|  | Índice | 599 |
|--|--------|-----|

# Tablas

- 1.1 Propiedades de los fluidos a 20°C (60°F) y presión atmosférica 17
- 1.2 Propiedades de los gases perfectos 22
- 1.3 Dimensiones y unidades del SI 26
- 1.4 Prefijos de las unidades del SI 27
- 1.5 Unidades alternativas relacionadas con el SI 27
- 1.6 Conversión entre las unidades inglesas de ingeniería (UII) y las unidades del SI 28
- 1.7 Constantes físicas 30
- 2.1 Propiedades de la atmósfera normal en Estados Unidos 73
- 6.1 Factor de fricción y diámetro hidráulico para tubos no circulares 293
- 7.1 Rugosidad  $\epsilon$  de los diferentes materiales que se emplean en tubos 363
- 9.1 Propiedades del flujo que interviene en la circulación sistémica 427
- 10.1 Dimensiones de las cantidades de la mecánica de fluidos 443
- 10.2 Parámetros adimensionales del flujo de un fluido 457