

Índice general

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN I

- 1.1 La mecánica de fluidos en la ingeniería 1
- 1.2 Los fluidos y la hipótesis del continuo 2
 - 1.2.1 El modelo del continuo 4
- 1.3 Propiedades de los fluidos 5
 - 1.3.1 Densidad, volumen específico, peso específico y densidad relativa 5
 - 1.3.2 Presión 7
 - 1.3.3 Propiedades relacionadas con la temperatura y la energía 9
 - 1.3.4 Relaciones entre propiedades y el gas ideal 10
 - 1.3.5 Viscosidad 12
 - 1.3.6 Propiedades secundarias 19
- 1.4 Dimensiones y sistemas de unidades 24
- 1.5 Alcance de la mecánica de fluidos 29
 - 1.5.1 Estática de fluidos 31
 - 1.5.2 Dinámica de los fluidos 32
- 1.6 Resolución de problemas de mecánica de fluidos (nota para el estudiante) 34
 - 1.6.1 Tipos de problemas 34
 - 1.6.2 Método sistemático para la resolución de problemas 35
- 1.7 Computadores y mecánica de fluidos 38
 - 1.7.1 Métodos numéricos como herramienta de análisis 39
 - 1.7.2 El computador como herramienta para el diseño 39
 - 1.7.3 Programas de cómputo para la resolución de problemas 40
 - 1.7.4 Dinámica de fluidos computacional 41
- Problemas 42
- Referencias 51

Capítulo 2

MECÁNICA DE LOS FLUIDOS SIN MOVIMIENTO 53

- 2.1 Presión en un punto: ley de Pascal 53
- 2.2 Variación de la presión en un fluido estático 55
 - 2.2.1 Variación de la presión en un fluido de densidad constante 57
 - 2.2.2 Variación de la presión en un fluido de densidad variable y la atmósfera estándar 62

- 2.3 **Manometría y medición de presión 64**
 - 2.3.1 Manómetros 64
 - 2.3.2 Otros dispositivos para medir la presión 62
- 2.4 **Fuerzas de presión sobre superficies 69**
 - 2.4.1 Fuerzas sobre superficies planas 71
 - 2.4.2 Fuerzas sobre superficies curvas 85
- 2.5 **Mecánica de cuerpos sumergidos y flotantes 90**
 - 2.5.1 Flotación 90
 - 2.5.2 Estabilidad de cuerpos sumergidos y flotantes 94
- 2.6 **Mecánica de fluidos en movimiento como sólido rígido 98**
 - 2.6.1 Aceleración lineal uniforme 100
 - 2.6.2 Fluido que gira con respecto a un eje vertical 100
- Problemas 104**
- Referencias 125**

Capítulo 3

CONCEPTOS FUNDAMENTALES PARA EL ANÁLISIS DE FLUJOS 127

- 3.1 **Algunos flujos típicos 127**
- 3.2 **Descripción del flujo de fluidos 129**
 - 3.2.1 El concepto de campo: descripción lagrangiana como función de la euleriana 129
 - 3.2.2 Visualización del campo de velocidades 132
 - 3.2.3 Clasificación del campo de velocidades 135
 - 3.2.4 Regímenes de flujo 140
- 3.3 **Análisis del flujo de fluidos 146**
 - 3.3.1 Las leyes fundamentales 146
 - 3.3.2 Formulación matemática: sistema como función del volumen de control 147
 - 3.3.3 Formulación matemática: el enfoque diferencial como función del volumen de control finito 148
 - 3.3.4 La derivada euleriana 150
 - 3.3.5 El teorema del transporte 153
- 3.4 **Métodos para resolver problemas de flujo en ingeniería 159**
 - Problemas 162**
 - Referencias 165**

Capítulo 4

EL MÉTODO DEL VOLUMEN DE CONTROL FINITO PARA EL ANÁLISIS DE FLUJO 167

- 4.1 **Panorama del método del volumen de control finito 150**
 - 4.1.1 Métodos para el desarrollo de las ecuaciones de trabajo 167
 - 4.1.2 Elección de los volúmenes de control adecuados 168

- 4.2 La ecuación de continuidad 171**
 - 4.2.1 Deducción de la ecuación de continuidad 171
 - 4.2.2 Caudal másico y velocidad promedio 174
 - 4.2.3 Formas simplificadas de la ecuación de continuidad 180
- 4.3 Las ecuaciones de energía 190**
 - 4.3.1 Deducción de la ecuación general de energía 190
 - 4.3.2 Algunas formas simplificadas de la ecuación general de la energía 196
 - 4.3.3 La ecuación de la energía mecánica 204
 - 4.3.4 La ecuación de Bernoulli 217
 - 4.3.5 Resumen y comparación de las diversas formas de la ecuación de la energía 230
- 4.4 Las ecuaciones de cantidad de movimiento 233**
 - 4.4.1 Deducción de la ecuación de cantidad de movimiento lineal 234
 - 4.4.2 Evaluación de los términos en la ecuación de cantidad de movimiento lineal 236
 - 4.4.3 Aplicación de la ecuación de cantidad de movimiento lineal 249
 - 4.4.4 La ecuación de cantidad de movimiento lineal para volúmenes de control móviles y deformables 259
 - 4.4.5 La ecuación del momento angular 266
 - 4.4.6 Aplicación de la ecuación del momento angular: turbomáquinas 270
- 4.5 Aplicación de continuidad, energía y cantidad de movimiento 277**
 - 4.5.1 Aplicación simultánea de continuidad, energía y cantidad de movimiento 277
 - 4.5.2 Empleo del método del volumen de control en los problemas de "diseño en ingeniería" 280
 - 4.5.3 Apoyo de computador en análisis mediante volumen de control finito 288
- Problemas 300**
- Referencias 343**

Capítulo 5

EL MÉTODO DIFERENCIAL PARA EL ANÁLISIS DE FLUJO 345

- 5.1 Conceptos preliminares 345**
 - 5.1.1 Panorama del método diferencial 345
 - 5.1.2 Alternativas para formular las ecuaciones diferenciales 346
 - 5.1.3 Cinemática de una partícula de fluido 346
 - 5.1.4 Velocidad y aceleración en coordenadas de líneas de corriente 356
- 5.2 La ecuación diferencial de continuidad 359**
 - 5.2.1 Deducción de la ecuación diferencial de continuidad 359
 - 5.2.2 Función de corriente para un flujo bidimensional y bidireccional 364

- 5.3 **Dinámica de un flujo no viscoso** 367
 - 5.3.1 Las ecuaciones de Euler 367
 - 5.3.2 Integración de las ecuaciones de Euler 375
- 5.4 **La dinámica del flujo viscoso** 383
 - 5.4.1 Las ecuaciones de Cauchy 384
 - 5.4.2 Las ecuaciones de Navier-Stokes 386
 - 5.4.3 Las ecuaciones de Reynolds-Navier-Stokes para flujo turbulento 388
- 5.5 **Condiciones de frontera e iniciales para problemas de flujo** 394
- 5.6 **Modelos y métodos para emplear el enfoque diferencial** 400
 - 5.6.1 Flujo interno estacionario totalmente desarrollado 400
 - 5.6.2 El modelo del flujo potencial y la capa límite 406
 - 5.6.3 Dinámica de fluidos computacional 409
- Problemas 429
- Referencias 438

Capítulo 6

ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE FLUJOS: ANÁLISIS DIMENSIONAL 439

- 6.1 **La necesidad del análisis dimensional** 441
- 6.2 **Los fundamentos del análisis dimensional** 445
- 6.3 **Parámetros adimensionales y teorema pi** 449
- 6.4 **Aplicación del teorema pi** 453
 - 6.4.1 Construcción de un sistema de parámetros adimensionales 453
- 6.5 **Parámetros adimensionales comunes en la mecánica de fluidos** 467
 - 6.5.1 Parámetros adimensionales estándar 467
 - 6.5.2 Significado físico de los parámetros adimensionales 477
- 6.6 **Una aplicación del análisis dimensional: prueba de modelos y semejanza** 484
 - 6.6.1 Prueba de modelos y extrapolación de resultados 484
 - 6.6.2 El principio de semejanza 489
 - 6.6.3 Dificultades en las pruebas de un modelo 492
- Problemas 498

Capítulo 7

FLUJO INCOMPRESIBLE ESTACIONARIO EN TUBERÍAS Y CONDUCTOS 511

- 7.1 **Clasificación del flujo en una tubería o conducto** 512
 - 7.1.1 Flujo laminar y flujo turbulento 512
 - 7.1.2 Flujo en desarrollo y totalmente desarrollado 515
- 7.2 **Análisis del flujo totalmente desarrollado en tuberías y conductos** 519
 - 7.2.1 Análisis del volumen de control 519
 - 7.2.2 Aplicación del análisis dimensional: factores de fricción y coeficientes de pérdida 524

- 7.2.3 Flujo laminar en una tubería circular 526
- 7.2.4 Flujo turbulento en una tubería circular: información experimental y diagrama de Moody 533
- 7.2.5 Tres tipos de cálculos de flujo en tuberías 541
- 7.2.6 Flujo totalmente desarrollado en conductos no circulares 553
- 7.2.7 Consideración detallada del flujo turbulento totalmente desarrollado en una tubería circular 561
- 7.3 **Accesorios, válvulas y pérdidas locales 571**
- 7.4 **Medida del flujo 584**
- 7.5 **Análisis y diseño de sistemas de tuberías y conductos 594**
 - 7.5.1 Ecuaciones de uso y líneas de nivel 594
 - 7.5.2 Sistemas con bombas (o ventiladores) 595
 - 7.5.3 Líneas en serie y en paralelo 620
 - 7.5.4 Redes complicadas de tuberías 625
- Problemas 626**
- Referencias 647**

Capítulo 8

FLUJO EXTERNO INCOMPRESIBLE Y ESTACIONARIO 649

- 8.1 **Fuerzas sobre los cuerpos: resistencia o arrastre y sustentación 650**
 - 8.1.1 Geometría de los cuerpos y componentes de las fuerzas 650
 - 8.1.2 Cálculo de la resistencia y la sustentación a partir de la presión y el esfuerzo cortante 652
 - 8.1.3 Coeficientes de resistencia y sustentación 657
- 8.2 **Resistencia 661**
 - 8.2.1 Resistencia de formas simples: tipos de resistencia 661
 - 8.2.2 La capa límite y su efecto en la resistencia a altos números de Reynolds 670
 - 8.2.3 Resistencia a bajos números de Reynolds 675
 - 8.2.4 Datos de trabajo de los coeficientes de resistencia 680
- 8.3 **Sustentación 684**
 - 8.3.1 Mecanismo de generación de la sustentación: el perfil simple 685
 - 8.3.2 Torbellinos, circulación y flujo sobre cuerpos con sustentación 687
 - 8.3.3 El teorema de Kutta-Joukowski 690
 - 8.3.4 Sustentación sobre cilindros y esferas giratorias: el efecto Magnus 694
 - 8.3.5 Información de sustentación (y resistencia) para perfiles estándar 696
 - 8.3.6 Dispositivos para aumentar la sustentación y efectos tridimensionales 701
- 8.4 **Aplicaciones de la aerodinámica no relacionadas con la aviación 703**
 - 8.4.1 Aerodinámica de los vehículos terrestres 704
 - 8.4.2 Vibración inducida por el flujo 707

8.4.3 La aerodinámica en los deportes 712

Problemas 719

Referencias 730

Capítulo 9 FLUJO POTENCIAL Y TEORÍA DE LA CAPA LÍMITE 731

- 9.1 Teoría del flujo potencial 733**
 - 9.1.1 Dinámica del flujo sin viscosidad e irrotacional 733
 - 9.1.2 El potencial de velocidades y la función de corriente 736
 - 9.1.3 Métodos para resolver problemas de flujo potencial 747
 - 9.1.4 Flujos potenciales planos a partir de singularidades 748
 - 9.1.5 Flujos sobre cuerpos a partir de la superposición de singularidades simples 752
 - 9.1.6 El método de diferencias finitas para el cálculo directo de flujos potenciales 763
 - 9.1.7 El método de singularidades distribuidas (paneles) para el cálculo directo de los flujos potenciales 772
 - 9.2 Capas límite 776**
 - 9.2.1 Análisis dimensional y determinaciones cualitativas de los parámetros de la capa límite 776
 - 9.2.2 Las ecuaciones diferenciales del análisis de la capa límite 783
 - 9.2.3 Evaluación de los parámetros clave de la capa límite 786
 - 9.2.4 Ecuación integral de la cantidad de movimiento para las capas límite 788
 - 9.2.5 Evaluación de los parámetros de la capa límite para el flujo sobre una placa plana 795
 - 9.2.6 Cálculo de capas límite con gradiente de presión 806
 - 9.2.7 Separación de la capa límite y derrumbe del modelo de flujo potencial y de capa límite 815
- Problemas 819**
- Referencias 833**

Capítulo 10 FLUJO COMPRESIBLE 835

- 10.1 Algunos conceptos de termodinámica 836**
 - 10.1.1 Propiedades, estado y proceso 836
 - 10.1.2 Las leyes de la termodinámica 838
 - 10.1.3 Entropía y los procesos isentrópicos 840
 - 10.1.4 Propiedades de estancamiento 842
- 10.2 Ondas en los fluidos compresibles 848**
 - 10.2.1 Velocidad de onda, velocidad del sonido y número de Mach 849
 - 10.2.2 La naturaleza radicalmente diferente de los flujos subsónico y supersónico 856
 - 10.2.3 Ondas de choque 858

- 10.3 El flujo isentrópico y la ecuación de Bernoulli 867**
 - 10.3.1 Flujo isentrópico estacionario de un gas ideal 867
 - 10.3.2 Relación con la ecuación de Bernoulli y un criterio para el flujo incompresible 873
 - 10.3.3 El estado crítico 874
- 10.4 Flujo interno: flujo unidimensional en un conducto de área variable 875**
 - 10.4.1 Flujo isoenergético e isentrópico con cambio de área: consideraciones preliminares 876
 - 10.4.2 Flujo isoenergético e isentrópico de un gas ideal 880
 - 10.4.3 Flujo en una tobera convergente 891
 - 10.4.4 Flujo en una tobera convergente-divergente 894
- 10.5 Flujo interno: flujo en conductos de área constante con fricción 901**
 - 10.5.1 Consideración preliminar: comparación con el flujo incompresible en un conducto 901
 - 10.5.2 Flujo adiabático sin trabajo de un gas ideal (flujo de Fanno) 902
 - 10.5.3 Flujo con fricción en un conducto 913
- 10.6 Efectos de la compresibilidad en el flujo externo 920**
 - Problemas 927
 - Referencias 938

Capítulo II**FLUJO DE LÍQUIDOS EN CANALES ABIERTOS 939**

- 11.1 Conceptos introductorios 939**
 - 11.1.1 Distribuciones de velocidad y aproximación del flujo unidimensional 940
 - 11.1.2 Parámetros adimensionales y velocidad de onda 941
 - 11.1.3 Clasificación del flujo en canales abiertos 944
 - 11.2 Flujo uniforme 946**
 - 11.2.1 Fórmulas de Chezy y de Manning 946
 - 11.2.2 Análisis y diseño de canales de flujo uniforme 954
 - 11.3 Conceptos para el análisis de un flujo variado 958**
 - 11.3.1 Energía específica y profundidad crítica 958
 - 11.3.2 Flujo sin fricción en un canal rectangular 965
 - 11.3.3 Salto hidráulico 976
 - 11.4 Flujo gradualmente variado 982**
 - 11.4.1 La ecuación diferencial del flujo gradualmente variado 982
 - 11.4.2 Clasificación de los perfiles superficiales 985
 - 11.4.3 Cálculo de los perfiles superficiales 990
 - 11.5 Diversos aspectos del flujo en canales abiertos 995**
 - 11.5.1 Métodos de medición en el flujo en canales abiertos 995
 - 11.5.2 Analogía entre el flujo en canales abiertos y el flujo compresible 1002
- Problemas 1004**
Referencias 1011

APÉNDICES 1013

- Apéndice A Propiedades físicas 1014
- Apéndice B Propiedades de áreas geométricas comunes 1026
- Apéndice C Factores de conversión 1029
- Apéndice D Dimensiones de tuberías y tubos calibrados 1035
- Apéndice E Tablas de funciones del flujo compresible para un gas ideal con $k = 1.4$ 1038
- Apéndice F Herramientas numéricas 1044
- Apéndice G Lista de símbolos y dimensiones 1064
- Apéndice H Ecuaciones diferenciales en coordenadas cilíndricas (r, θ, x) y esféricas (r', ϕ, θ') 966
- Apéndice I Solucionador generalizado espacio-temporal de alta precisión (GUTS) 1074
- Apéndice J Problemas de diseño 1076
- Apéndice K Películas y vídeos de mecánica de fluidos 1083
- Índice de materias 1085