

INDICE

Capitulo I. Introducción	I
1.1. La mecánica de fluidos en la ingeniería	1
1.2. Los fluidos y la hipótesis del continuo	22
1.2.1. El modelo del continuo	4
1.3. Propiedades de los fluidos	
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	
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 herramientas de análisis	
1.7.2. El computador como herramienta para el diseño	39
1.7.3. Programas de computo para la resolución de problemas	40
1.7.4. Dinámica de fluidos computacional	41
Problemas	42
Referencias	51
Capitulo 2. Mecánica de los fluidos sin movimiento	
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	
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	
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	
2.6.2. Fluido que gira con respecto a un eje vertical	100
Problemas	104
Referencias	125
Capitulo 3. Conceptos fundamentales para el análisis de flujos	127

3.1. Algunos flujos típicos	
3.2. Descripción del flujo de fluidos	
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	
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	
4.2.1. Deducción de la adecuación 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	
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	
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	288

finito	
Problemas	300
Referencias	343
Capítulo 5. El método diferencial para el análisis de flujo	
5.1. Conceptos preliminares	345
5.1.1. Panorama del método diferencial	
5.1.2. Alternativas para formular las ecuaciones diferenciales	
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	
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	
5.3.1. Las ecuaciones de Euler	367
5.3.2. Integración de las ecuaciones de Euler	375
5.4. La dinámica de 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	
5.6.1. Flujo interno estacionario totalmente desarrollado	400
5.6.2. El modelo del flujo potencial y la capa límite	
Problemas	429
Referencias	438
Capítulo 6. Organización de la información de flujos: análisis dimensional	
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	
6.4.1. Construcción de un sistema de parámetros adimensionales	453
6.5. Parámetros adimensionales comunes en la mecánica de fluidos	
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	
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 incomprensible estacionario en tuberías y conductos	
7.1. Clasificación del flujo en una tubería o conducto	
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	
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 desarrollando en conductos no circulares	553
7.2.7. Considerando detallada del flujo turbulento totalmente desarrollando 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 conductores	
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 incomprensible y estacionario	649
8.1. Fuerzas sobre los cuerpos: resistencia o arrastre y sustentación	
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	
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. Mecanismos 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 giratorios: 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	
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 calculo directo de flujos potenciales	763
9.1.7. El método de singularidades distribuidas (paneles) para el calculo directo de los flujos potenciales	772
9.2. Capas limite	
9.2.1. Análisis dimensional y determinaciones cuantitativas de los parámetros de la capa limite	776
9.2.2. Las ecuaciones diferenciales del análisis de la capa limite	783
9.2.3. Evaluación de los parámetros clave de la capa limite	786
9.2.4. Ecuación integral de la cantidad de movimiento para las capas limite	788
9.2.5. Evaluación de los parámetros de la capa limite para el flujo sobre una placa plana	795
9.2.6. Calculo de capas limite con gradiente de presión	806
9.2.7. Separación de la capa limite y derrumbe del modelo de flujo potencial y de capa limite	815
Problemas	819
Referencias	833
Capítulo 10. Flujo compresible	835
10.1. Algunos conceptos de termodinámica	
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 numero de Mach	849
10.2.2. La naturaleza radicalmente diferente de los fujos subsónico y supersónico	856
10.2.3. Ondas de choque	858
10.3. El flujo isentrópico y la ecuación de Bernoulli	
10.3.1. Flujo isentrópico estacionario de un gas ideal	867
10.2.3. Relación con la ecuación de Bernoulli y un criterio para el flujo incomprensible	873
10.3. El flujo isentrópico y al ecuación de Bernoulli	
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 incomprensible	873
10.3.3. El estado físico	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	
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 11. Flujo de líquidos en canales abiertos	
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	
11.2.1. Formulas de Chezy y de Manning	946
11.2.2. Análisis y diseño de canales de flujo uniforme	954
11.3. Conceptos par el análisis de un flujo variado	
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	
11.4.1. La ecuación diferencial del flujo gradualmente variado	982
11.4.2. Clasificación de los perfiles superficiales	985
11.4.3. Calculo de los perfiles superficiales	990
11.5. Diversos aspectos del flujo en canales abiertos	
11.1. 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, θ, ϕ)	1966
Apéndice I Solucionador generalizado espacio-temporal de alta precisión (GUST)	1074
Apéndice J Problemas de diseño	1076
Apéndice K Películas y videos de mecánica de fluidos	1083
Índice de materias	1085