

INDICE

Prólogo	XV
Lista de Símbolos	XVII
Lista de abreviaturas	XXI
Capítulo 1. Introducción	1
1.1. Ámbito de la mecánica de fluidos	1
1.2. Esquemas históricos del desarrollo de la mecánica de fluidos	2
1.3. El libro, su contenido, y como estudiar mejor la mecánica de fluidos	2
1.4. Cómo resolver los problemas	3
1.5. Dimensiones y unidades	4
Capítulo 2. Propiedades de los Fluidos	9
2.1. Distinción entre un sólido y un fluido	9
2.2. Distinción entre un gas y un líquido	9
2.3. Densidad, peso específico, volumen específico y densidad relativa	9
2.4. Fluidos compresible e incompresibles	11
2.5. Compresibilidad de los líquidos	11
2.6. Peso específico de los líquidos	13
2.7. Ecuaciones de estado de los gases perfectos	14
2.8. Compresibilidad de los gases	16
2.9. Atmósfera estándar	17
2.10. Fluido ideal	18
2.11. Viscosidad	18
2.12. Tensión superficial	23
2.13. Presión de vapor de los líquidos	25
Problemas	26
Capítulo 3. Estática de Fluidos	29
3.1. Presión en un punto igual en todas direcciones	29
3.2. Variación de presión en un fluido en reposo	30
3.3. Presión expresada como la altura de un fluido	32
3.4. Presión absoluta y presión manométrica	34
3.5. Barómetro	35
3.6. Medición de la presión	36
3.7. Fuerza sobre un área plana	42
3.8. Centro de presión	44
3.9. Fuerza sobre un área curvada	50
3.10. Flotación y estabilidad de cuerpos sumergidos y flotantes	53
3.11. Masas fluidas sometidas a aceleración	57
Problemas	60
Capítulo 4. Principio Básicos del Flujo Fluido	65
4.1. Tipos de flujo	65
4.2. Flujo laminar y turbulento	66
4.3. Flujo estacionario y flujo uniforme	67
4.4. Sendas, líneas de corriente y líneas fluidas	68
4.5. Cantidad de flujo y velocidad media	68
4.6. Sistema y volumen de control	70
4.7. Ecuación de continuidad	71
4.8. Flujo unidimensional, bidimensional y tridimensional	73
4.9. Red de flujo	73

4.10. Uso y limitaciones de la red de flujo	75
4.11. Sistema de referencia en problemas de flujo	77
4.12. Velocidad y aceleración en un flujo estacionario	77
4.13. Velocidad y aceleración en un flujo no estacionario	80
Problemas	81
Capítulo 5. Consideraciones Energéticas en el Flujo Estacionario	85
5.1. Energía cinética de un fluido en movimiento	85
5.2. Energía potencial	86
5.3. Energía interna	86
5.4. Ecuación general de la energía para el flujo estacionario de cualquier fluido	87
5.5. Ecuaciones de la energía para fluidos estacionarios de fluidos incompresibles, y el teorema de Bernoulli	89
5.6. Ecuación de la energía para el flujo estacionario de fluidos compresibles	91
5.7. La ecuación de Euler para movimiento estacionario de un fluido ideal a lo largo de una línea de corriente	93
5.8. Presión en el flujo fluido	94
5.9. Carga	95
5.10. Potencia en el flujo fluido	95
5.11. Cavitación	97
5.12. Definición de las líneas piezométrica y de energía	99
5.13. Pérdida de carga en una descarga sumergida	101
5.14. Aplicación de las líneas piezométrica de energía	101
5.15. Método de resolución de problemas de flujo	104
5.16. Trayectoria de un chorro	106
5.17. Flujo sobre una trayectoria curvada	108
5.18. Vórtice rotacional o forzado	108
5.19. Vórtices irrotacionales o libres	110
Problemas	113
Capítulo 6. Cantidad de Movimiento y Fuerzas en Flujos	117
6.1. Deducción del principio de cantidad de movimiento	117
6.2. Ecuaciones de Navier – Stokes	119
6.3. Factor de corrección de la cantidad de movimiento	119
6.4. Aplicaciones del principio de cantidad de movimiento	120
6.5. Fuerza ejercida sobre un conducto a presión	122
6.6. Fuerza ejercida sobre álabe o pala estático	125
6.7. Álabes móviles: relación entre velocidad absoluta y relativa	126
6.8. Fuerza ejercida por un chorro sobre un álabe o pala en movimiento	127
6.9. Reacción de un chorro	132
6.10. Propulsión a chorro	132
6.11. Máquinas rotatorias: continuidad, velocidad, par	133
6.12. Carga equivalente a trabajo mecánico	137
6.13. Flujo a través de un canal rotatorio	138
6.14. Reacción con rotación	138
6.15. El principio de la cantidad de movimiento aplicado a molinos y hélices	139
Problemas	142
Capítulo 7. Semejanza y Análisis Dimensional	147

7.1. Definición y usos de la semejanza	147
7.2. Semejanza geométrica	147
7.3. Semejanza cinemática	148
7.4. Semejanza dinámica	148
7.5. Relaciones de escala	153
7.6. Comentarios sobre los modelos	153
7.7. Análisis dimensional	154
Problemas	159
Capítulo 8. Flujo Incompresible Estacionario en Conductos a Presión	161
8.1. Flujo laminar y turbulento	161
8.2. Numero de Reynolds crítico	162
8.3. Radio hidráulico, diámetro hidráulico	163
8.4. Pérdida de carga en conductos de sección transversal constante	163
8.5. Fricción en conductos circulares	166
8.6. Flujo laminar en tuberías circulares	166
8.7. Condiciones en entrada en el flujo laminar	167
8.8. Flujo turbulento	168
8.9. Subcapa viscosa en flujo turbulento	170
8.10. Perfil de velocidades en un flujo turbulento	173
8.11. Rugosidad de la tubería	175
8.12. Diagrama para el coeficiente de fricción	177
8.13. Resolución de problemas de flujo en tuberías por el método de tanteo	178
8.14. Resolución rigurosa de problemas de flujo en tuberías	182
8.15. Ecuaciones empíricas para el flujo en tuberías	185
8.16. Fricción fluida en conductos no circulares	186
8.17. Pérdidas locales en flujo turbulento	187
8.18. Pérdida de carga en la entrada	187
8.19. Pérdida debida a un estrechamiento	189
8.20. Pérdida debida a un ensanchamiento	190
8.21. Pérdida debida a un ensanchamiento	190
8.22. Pérdida en accesorios de tuberías	193
8.23. Pérdidas en curvas y codos	193
8.24. Resolución de problemas de tubería única con pérdidas locales	194
8.25. Tubería con una bomba o una turbina	199
8.26. Tuberías con ramificaciones	201
8.27. Tuberías en serie	206
8.28. Tuberías en paralelo	208
8.29. Redes de tuberías	210
8.30. Temas adicionales del flujo en tuberías	213
Problemas	214
Capítulo 9. Fuerzas sobre Cuerpos Sumergidos	223
9.1. Introducción	223
9.2. Resistencia de fricción de la capa límite. Flujo incompresible	224
9.3. Capa límite laminar para flujo incompresible sobre una placa plana lisa	226
9.4. Capa límite turbulenta para flujo incompresible sobre una placa plana lisa	228

9.5. Resistencia de fricción para flujo incompresible sobre una placa plana lisa con régimen de transición	231
9.6. Separación de la capa límite y resistencia de presión	233
9.7. Resistencia de cuerpos tridimensionales (flujo incompresible)	234
9.8. Resistencia sobre cuerpos bidimensionales (flujo incompresible)	239
9.9. Sustentación y circulación	240
9.10. Flujo ideal alrededor de un cilindro	242
9.11. Sustentación de un perfil de ala	244
9.12. Resistencia inducida sobre un perfil de ala de longitud finita	245
9.13. Diagramas de sustentación y resistencia	247
9.14. Efectos de la compresibilidad sobre la resistencia y sustentación	249
9.15. Comentarios finales	251
Problemas	251
Capítulo 10. Flujo Estacionario en Canales Abiertos	255
10.1. Canales abiertos	255
10.2. Flujo uniforme	256
10.3. Resolución de problemas de flujo uniforme	260
10.4. Distribución de velocidad en canales abiertos	262
10.5. Canales abiertos <<anchos y poco profundo>>	264
10.6. Sección transversal de mayores rendimiento	264
10.7. Secciones circulares parcialmente llenas	267
10.8. Flujo laminar en canales abiertos	268
10.9. Energías específicas y profundidades alternativas de flujo en canales rectangulares	270
10.10. Flujo subcrítico y supercrítico	273
10.11. Profundidad crítica en canales no rectangulares	274
10.12. Incidencia de la profundidad crítica	276
10.13. Obstáculos y estrechamientos	277
10.14. Flujo no uniformes o variable	280
10.15. Ecuación de la energía para flujo lentamente variable	281
10.16. Perfiles de superficie de agua en un flujo lentamente variable	283
10.17. Ejemplos de perfiles de superficie de agua	285
10.18. El resalto hidráulica	288
10.19. Posición del resalto hidráulica	291
10.20. Velocidad de las olas de gravedad	293
10.21. Flujo alrededor de curvas en canales	295
10.22. Transiciones	296
10.23. Hidráulica de los colectores	298
10.24. Otros temas relacionados con el flujo en canales abiertos	301
Problemas	302
Capítulo 11. Medida de los Fluidos	311
11.1. La medida de las propiedades fluidas	311
11.2. Medida de la presión estática	313
11.3. Medida de la velocidad con el tubo pitot	315
11.4. Medida de la velocidad por otros métodos	317
11.5. Medida del caudal	319
11.6. Orificios, toberas y tubos	320
11.7. El venturi	326
11.8. Medidor de tobera	329

11.9. Medidor de orificio	331
11.10. Medida de los fluidos compresibles	332
11.11. Vertederos de pared delgada	334
11.12. Vertederos hidrodinámico y descarga libre	338
11.13. Vertedero de esclusa	341
11.14. Compuertas de esclusa	341
11.15. Medida de la elevación de la superficie de un líquido	342
11.16. Otros métodos para la medida del caudal	343
Problemas	343
Capítulo 12. Problemas del Flujo no Estacionario	349
12.1. Introducción	349
12.2. Descarga con altura variable en el depósito	349
12.3. Flujo no estacionario de fluidos incompresible en tuberías	352
12.4. Establecimiento de flujo estacionario	355
12.5. Velocidad de la onda en tuberías	357
12.6. Golpe de ariete	358
12.7. Chimeneas de equilibrio	364
Problemas	366
Capítulo 13. Flujo Estacionario de Fluidos Compresibles	373
13.1. Consideraciones termodinámicas	373
13.2. Ecuaciones fundamentales aplicables al flujo de fluidos compresibles	375
13.3. Velocidad del sonido	376
13.4. Flujo adiabático (con o sin fricción)	378
13.5. Propiedades de remanso	378
13.6. Flujo isentrópico	381
13.7. Efecto de la variación de área en el flujo compresible unidimensional	382
13.8. Flujo compresible a través de una tobera convergente	383
13.9. Flujo isentrópico a través de una tobera convergente – divergente	385
13.10. Onda de choque unidimensional	387
13.11. La onda de choque oblicua	389
13.12. Flujo isotérmico	391
13.13. Flujo isotérmico en un conducto de área constante	391
13.14. Flujo adiabático en un conducto de área constante	394
13.15. Comparación entre distintos tipos de flujo	396
13.16. Conclusiones	397
Problemas	397
Capítulo 14. Matemáticas del Flujo Ideal	401
14.1. Ecuación diferencial de la continuidad	401
14.2. Flujo rotacional e irrotacional	403
14.3. Circulación y vorticidad	404
14.4. La función de corriente	406
14.5. Campos fluidos sencillos	406
14.6. Potencial de velocidades	409
14.7. Ortogonalidad de líneas de corriente y líneas equipotenciales	410
14.8. Flujo a través de medios porosos	412
Problemas	413
Capítulo 15. Máquinas Hidráulicas. Bombas	417

15.1. Descripción de las bombas centrífugas y de flujo axial	417
15.2. Altura desarrollada por una bomba	419
15.3. Rendimiento de las bombas	420
15.4. Leyes de semejanza para bombas	420
15.5. Características de funcionamiento de las bombas a velocidad constante	422
15.6. Características de funcionamiento con velocidad y tamaños distintos	422
15.7. Punto de funcionamiento de una bomba	425
15.8. Velocidad específica de una bomba	426
15.9. Factor de velocidad – periférica	427
15.10. Cavitación en las bombas	428
15.11. Efecto de la viscosidad	431
15.12. Selección de bombas	432
15.13. Bombas en serie y en paralelo	434
15.14. Instalaciones de bombas	435
Problemas	436
Capítulo 16. Máquinas Hidráulicas. Turbinas	441
16.1. Turbinas hidráulicas	441
16.2. Turbinas de impulso	441
16.3. Funcionamiento de una turbina de impulso	445
16.4. Altura sobre una turbina de impulso y rendimiento	445
16.5. Inyectores para turbinas de impulso	447
16.6. Turbinas de reacción	448
16.7. Funcionamiento de una turbina de reacción	450
16.8. Tubos de descarga y altura en las turbinas de reacción	451
16.9. Rendimiento de las turbinas	453
16.10. Leyes de semejanza para turbinas de reacción	455
16.11. Factor de velocidad periférica y velocidad específica de las turbinas	456
16.12. Cavitación en turbinas	457
16.13. Selección de turbinas	460
16.14. Turbina – bomba	461
16.15. Instalaciones de turbinas	462
Problemas	463
Apéndices	
A. Propiedades fluidas y geométricas	467
B. Aplicaciones y programas informáticos	473
C. Referencias	479
D. Respuesta a los ejercicios	483
Índice	493