

## INDICE

Prefacio	XVII
<b>Capítulo Uno.</b>	1
<b>Introducción y Conceptos Básicos</b>	
1.1. Introducción	2
¿Qué es un fluido?	2
Áreas de aplicación de la mecánica de fluidos	4
1.2. La condición de no – deslizamiento	6
1.3. Breve historia de la mecánica de fluidos	7
1.4. Clasificación de los Flujos de Fluidos	9
Regiones viscosas de flujo en comparación con las no – viscosas	9
Flujo interno en comparación con el externo	10
Flujo compresible en comparación con el incompresible	10
Flujo laminar en comparación con el turbulento	11
Flujo natural (o no - forzado) en comparación con el forzado	11
Flujo estacionario en comparación con el no – estacionario	11
Flujos unidimensional, bidimensional y tridimensional	12
1.5. Sistemas y volumen de control	14
1.6. Importancia de las dimensiones y de las unidades	15
Algunas unidades SI e inglesas	14
Homogeneidad dimensional	18
Razones para conversión de unidades	20
1.7. Modelado Matemático de los Problemas de Ingeniería	21
Modelado en la ingeniería	21
1.8. Técnica para la Resolución de Problemas	22
Paso 1: Enunciado del problema	22
Paso 2: Esquemas	23
Paso 3: Hipótesis y aproximaciones	23
Paso 4: Leyes físicas	23
Paso 5: Propiedades	23
Paso 6: Cálculos	23
Paso 7: Razonamiento, verificación y comentario	23
1.9. Paquetes de Software para Ingeniería	24
Engineering Solver (EES) (Programa para resolver ecuaciones de ingeniería)	25
FLUENT	26
1.10. Exactitud, Precisión y Dígitos Significativos	26
Resumen	30
Bibliografía y lecturas recomendadas	30
Proyecto de aplicaciones: ¿qué tiene en común las explosiones nucleares?	31
Problemas	32
<b>Capítulo Dos.</b>	35
<b>Propiedades de los Fluidos</b>	
2.1. Introducción	36
Medio continuo	36
2.2. Densidad y gravedad específica	37
Densidad de los gases ideales	38

2.3. Presión de vapor y cavitación	39
2.4. Energía y calores específicos	41
2.5. Coeficiente de compresibilidad	42
Coeficiente de expansión volumétrica	44
2.6. Viscosidad	46
2.7. Tensión superficial y efecto de capilaridad	51
Efecto de capilaridad	53
Resumen	55
Bibliografía y lectura recomendadas	56
Proyector de aplicaciones: cavitación	57
Problemas	58
<b>Capítulo Tres.</b>	<b>65</b>
<b>Presión y Estática de Fluidos</b>	
3.1. Presión	66
Presión en un punto	67
Variación de la presión con la profundidad	68
3.2. El manómetro	71
Otros instrumentos para medir la presión	74
3.3. El barómetro y la presión atmosférica	75
3.4. Introducción a la estática de fluidos	78
3.5. Fuerzas hidrostáticas sobre superficies planas sumergidas	79
Caso especial: placa rectangular sumergida	82
3.6. Fuerzas hidrostáticas sobre superficies curvas sumergidas	85
3.7. Flotación y estabilidad	89
Estabilidad de los cuerpos sumergida y los flotantes	92
3.8. Fluidos en el movimiento del cuerpo rígido	95
Caso especial 1: Fluidos en reposo	96
Caso especial 2: Caída libre de un cuerpo de fluido	97
Aceleración sobre una trayectoria recta	97
Rotación en un recipiente cilíndrico	99
Resumen	102
Bibliografía recomendadas	103
Problemas	103
<b>Capítulo Cuatro.</b>	<b>121</b>
<b>Cinemática de Fluidos</b>	
4.1. Descripciones lagrangiana y Euleriana	122
Campo de aceleraciones	124
Derivada material	127
4.2. Fundamentos de Visualización de Flujo	129
Líneas de corriente y tubos de corriente	129
Líneas de trayectoria	130
Líneas de traza	132
Líneas fluidas	134
Técnicas refractivas de visualización del flujo	135
Técnicas de visualización del flujo sobre la superficie	136
4.3. Gráfica de los Datos sobre flujo de fluidos	136
Gráficas de perfiles	137
Gráficas vectoriales	137
Gráficas de contornos	138

4.4. Otras Descripciones Cinemáticas	139
Tipos de movimiento o deformación de los elementos de fluidos	139
Verticidad y rotacionalidad	144
Comparación de dos fluidos circulares	147
4.5. El Teorema de Transporte de Reynolds	148
Deducción alterna del teorema de transporte de Reynolds	153
Relación entre la derivada materia, y el RTT	155
Resumen	156
Proyector de aplicaciones: actuadores fluídicos	157
Bibliografía y lecturas recomendadas	158
Problemas	158
<b>Capítulo Cinco.</b>	171
<b>Educación de Conservación de Masa, de Bernoulli y de la Energía</b>	
5.1. Introducción	172
Conservación de la masa	172
Conservación de la cantidad de movimiento	172
Conservación de la energía	172
5.2. Conservación de la masa	173
Gastos de masa y de volumen	173
Principio de conservación de la masa	175
Volúmenes de control en movimiento en deformación	177
Balance de masa para procesos de flujo estacionario	177
Caso especial: flujo incompresible	178
5.3. Energía mecánica y eficiencia	180
5.4. La ecuación de Bernoulli	185
Aceleración de una partícula de fluido	186
Deducción de la ecuación de Bernoulli	186
Balance de fuerzas a través de las líneas de corriente	188
Flujo no estacionario y compresible	189
Presiones estáticas, dinámica y de estancamiento	189
Limitaciones en el uso de la ecuación de Bernoulli	190
Líneas de gradiente hidráulica (LGH) y línea de energía (LE)	192
5.5. Aplicaciones de la Ecuación de Bernoulli	194
5.6. Ecuación general de la energía	201
5.7. Análisis de energía de los flujos estacionarios	206
Caso especial: Flujo incompresible sin aparatos de trabajo mecánica y con fricción despreciable	208
Factor de corrección de la energía cinética, $x$	208
Resumen	215
Bibliografía y lecturas recomendadas	216
Problemas	216
<b>Capítulo Seis.</b>	227
<b>Análisis de la Cantidad de Movimiento de los Sistemas de Flujo</b>	
6.1. Leyes de Newton y conservación de la cantidad de movimiento	228
6.2. Elección de un volumen de control	229
6.3. Fuerzas que actúan sobre un volumen de control	230
6.4. La ecuación del momento lineal	233
Casos especiales	235
Factor de corrección del flujo de la cantidad de movimiento, $B$	235

Flujo estacionario en reposo	238
Flujo estacionario en reposo con una entrada y una salida	238
Flujo sin fuerzas externas	238
6.5. Repaso del movimiento rotacional y del momento angular	248
6.6. La ecuación del momento angular	250
Casos especiales	252
Flujo sin momento externos	253
Dispositivos de flujo radical	254
Resumen	259
Bibliografía y lecturas recomendadas	260
Problemas	260
<b>Capítulo Siete.</b>	269
<b>Análisis Dimensional y Modelado</b>	
7.1. Dimensiones y unidades	270
7.2. Homogeneidad dimensional	271
Eliminación de dimensiones de las ecuaciones	272
7.3. Análisis dimensional y similitud	277
7.4. El método de repetición de variables y el teorema Pi de Buckingham	281
Proyector histórico: Personas honradas con parámetros dimensionales	289
7.5. Pruebas experimentales y similitud incompleta	297
Configuración de un experimento y correlación de los datos experimentales	297
Similitud incompleta	298
Pruebas en el túnel de viento	298
Flujos con superficies libres	301
Proyector de Aplicaciones: ¿Cómo vuela una mosca?	304
Resumen	305
Bibliografía y lecturas recomendadas	305
Problemas	305
<b>Capítulo Ocho.</b>	321
<b>Flujo en Tuberías</b>	
8.1. Introducción	322
8.2. Flujos laminar y turbulento	232
Número de Reynolds	324
8.3. La región de entrada	325
Longitudes de entrada	326
8.4. Flujo laminar en tuberías	335
Caída de presión y pérdida de carga	329
Tuberías inclinadas	331
Flujo laminar en tuberías no circulares	332
8.5. Flujo Turbulento en tuberías	335
Esfuerzo de corte turbulento	336
Perfil de velocidad turbulento	338
El diagrama de Moody	340
Tipos de problema de flujo de fluidos	343
8.6. Pérdida menores	347
8.7. Redes de tuberías y selección de bomba	354
Sistemas de tuberías con bombas y turbinas	356
8.8. Medición de razón de flujo y de velocidad	364

Sonda de Pitot y sonda de Pitot estática (tubo de Prandtl)	365
Flujómetros de obstrucción: placas de orificio, medidores de Venturi y toberas de flujo	366
Flujómetros de desplazamiento positivo	369
Flujómetros de área variable (rotámetro)	372
Flujómetros ultrasónicos	373
Flujómetros electromagnéticos	375
Flujómetros de vórtice	376
Anemómetros térmicos (hilo aliente y película caliente)	377
Velocimetría láser Doppler	378
Velocimetría de imagen de partícula	380
Proyector de aplicaciones: Cómo funciona o no funcionan, los flujómetro de placa de orificio	383
Resumen	384
Bibliografía y lecturas recomendadas	385
Problemas	386
<b>Capítulo Nueve.</b>	399
<b>Análisis Diferencial de Flujo de Fluidos</b>	
9.1. Introducción	400
9.2. Conservación de Masa: La Ecuación de Continuidad	400
Deducción con el uso del teorema de divergencia	401
Deducción con el uso de un volumen de control infinitesimal	402
Forma alternativa de la ecuación de continuidad	405
Ecuación de continuidad en coordenadas cilíndricas	406
Casos especiales de la ecuación de continuidad	406
9.3. La Función de Corriente	412
La función de corriente en coordenadas cartesianas	412
La función de corriente en coordenadas cilíndricas	419
La función de corriente de flujo compresible	420
9.4. Conservación de Cantidad de Movimiento Lineal: Ecuación de Cauchy	421
Deducción con el uso del teorema de divergencia	421
Deducción con el uso de un volumen de control infinitesimal	422
Forma alternativa de la ecuación de Cauchy	425
Deducción con el uso de la segunda Ley de Newton	425
9.5. La Ecuación de Navier – Stokes	426
Introducción	426
Fluidos newtonianos versus fluidos no – newtonianos	427
Deducción de la ecuación de Navier – Stokes para flujo isotérmico incompresible	428
Ecuaciones de continuidad y de Navier – Stokes en coordenadas cartesianas	430
Ecuaciones de continuidad y de Navier – Stokes en coordenadas cilíndricas	431
9.6. Análisis Diferencial de Problemas de Flujo de Fluidos	432
Cálculo del campo de presión para un campo de velocidad conocido	432
Soluciones exactas de las ecuaciones de continuidad y de Navier – Stokes	437
Bibliografía y lecturas recomendadas	456

Problemas	456
<b>Capitulo Diez.</b>	471
<b>Soluciones Aproximadas de la Ecuación de Navier – Stokes</b>	
10.1. Introducción	472
10.2. Ecuaciones de movimiento sin dimensiones	473
10.3. Aproximación de flujo de Stokes	476
10.4. Aproximación de flujo de Stokes	476
Fuerza de arrastre sobre una esfera en flujo de Stokes	479
10.4. Aproximación para regiones invíscidas de flujo	481
Derivación de la ecuación de Bernoulli en regiones invíscidas de flujo	482
10.5. La Aproximación de flujo irrotacional	485
Ecuación de continuidad	485
Ecuación de cantidad de movimiento	487
Deducción de la ecuación de Bernoulli en Regiones irrotacionales de flujo	487
Regiones irrotacionales bidimensionales de flujo	490
Superposición de flujo en regiones irrotacionales	494
Flujos planares irrotacionales elementales	494
Flujo irrotacionales formados por superposición	501
10.6. La Aproximación de la Capa Límite	510
Ecuaciones de la capa límite	515
El procedimiento de capa límite	520
Espesor del desplazamiento	524
Espesor de cantidad de movimiento	527
Capa límite turbulenta sobre placa plana	528
Capas límite con gradientes de presión	534
Técnica de la integral de la cantidad de movimiento para capas límite	539
Resumen	547
Bibliografía y lecturas recomendadas	548
Proyector de aplicaciones: formación de gotitas	549
Problemas	550
<b>Capitulo Once.</b>	561
<b>Flujo sobre Cuerpos: Arrastre y Sustentación</b>	
11.1. Introducción	562
11.2. Arrastre y sustentación	563
11.3. Arrastre debido a fricción y a presión	567
Reducción del arrastre mediante de cambio de forma del cuerpo para una más currentilínea	568
Separación de flujo	569
11.4. Coeficientes de Arrastre de Geometrías Comunes	571
Sistemas biológicos y arrastre	572
Coeficientes de arrastre de vehículos	574
Superposición	577
11.5. Flujo paralelo sobre Placas Planas	579
Coeficiente de fricción	580
11.6. Flujo sobre cilindros y esferas	583
Efecto de rugosidad de superficie	586
11.7. Sustentación	587
Efectos de los extremos de las alas	591

Sustentación generada por rotación	594
Resumen	598
Bibliografías y lecturas recomendadas	599
Proyector de Aplicaciones: reducción del arrastre	600
Problemas	601
<b>Capítulo Doce.</b>	611
<b>Flujo Compresible</b>	
12.1. Propiedades de estancamiento	612
12.2. Velocidad del sonido y número de Mach	615
12.3. Flujo isentrópico unidimensional	617
Variación de la velocidad de fluido con el área de flujo	620
Relaciones de propiedades de flujo isentrópico de gas ideal	622
12.4. Flujo isentrópico en toberas	624
Toberas convergentes	625
Toberas convergentes – divergentes	629
12.5. Ondas de Choque y Ondas de expansión	633
Choques normales	633
Choques oblicuos	640
Ondas de expansión de Prandtl – Meyes	644
12.6. Flujo en ducto con Transferencia de Calor de Fricción Despreciable (Flujo de Rayleigh)	648
Relaciones entre las propiedades para el flujo de Rayleigh	654
Flujo de Rayleigh bloqueado	655
12.7. Flujo Adiabático en un Ducto con Fricción (Flujo de Fanno)	657
Relaciones entre las propias del flujo de Fanno	660
Flujo de Fanno bloqueado	663
Proyector de aplicaciones: ondas de interacción de las capas límite	667
Resumen	668
Bibliografía y lecturas recomendadas	669
Problemas	669
<b>Capítulo Trece.</b>	679
<b>Flujo en Canal Abierto</b>	
13.1. Clasificación de flujos en canales abiertos	680
Flujo uniforme y variado	680
Flujos laminares y turbulentos en canales	681
13.2. Número de Froude y Velocidad de Onda	683
Velocidad de ondas superficiales	685
13.3. Energía específica	687
13.4. Ecuaciones de energía y continuidad	690
13.5. Flujo Uniforme en Canales	691
Flujo uniforme crítico	693
Métodos de superposición para perímetros no uniformes	693
13.6. Mejores Secciones Transversales hidráulicas	697
Canales rectangulares	699
Canales trapezoidales	699
13.7. Flujo de variación gradual	701
Perfiles de superficie de líquido en canales abiertos, y (x)	703
Algunos perfiles representativos de la superficie	706
Soluciones numéricos del perfil de la superficie	708

13.8. Flujo y Variación Rápida y Salto hidráulico	709
13.9. Control y medida del flujo	714
Compuertas de corriente subálvea	714
Compuertas de sobreflujo	716
Resumen	723
Bibliografía y lecturas recomendadas	724
Problemas	725
<b>Capítulo Catorce.</b>	735
<b>Turbomaquinaria</b>	
14.1. Clasificaciones y Terminología	736
14.2. Bombas	738
Curvas de rendimiento de la bomba y correspondencia entre una bomba y un sistema de tubería	739
Cavitación de la bomba y la carga de aspiración neta positiva	745
Bombas en serie en paralelo	748
Bombas de desplazamiento positivo	751
Bombas dinámicas	754
Bombas centrífugas	754
Bombas axiales	764
14.3. Leyes de Semejanza para Bombas	773
Análisis dimensional	773
Velocidad específica de la bomba	775
Leyes de semejanza	777
14.4. Turbinas	781
Turbinas de desplazamiento positivo	782
Turbinas dinámicas	782
Turbinas de impulsión o acción	783
Turbinas de reacción	785
14.5. Leyes de Semejanza para Turbinas	795
Parámetros adimensionales de turbinas	795
Velocidad específica de las turbinas	797
Turbinas de gas y de vapor	800
Proyectos de aplicaciones: atomizadores de Combustible rotatorios	802
Resumen	803
Bibliografía y lecturas recomendadas	803
Problemas	804
<b>Capítulo Quince.</b>	817
<b>Introducción a la Dinámica de Flujos Computacional</b>	
15.1. Introducción y fundamentos	818
Motivación	818
Ecuaciones del movimiento	818
Procedimiento de solución	819
Ecuaciones de movimiento adicionales	821
Generación de la malla e independencia de la malla	821
Condiciones de la frontera	826
La práctica lo hace perfecto	830
15.2. Cálculos de la DFC de Flujo Laminar	831
Región de entrada de flujo una tubería a $Re = 500$	544
Flujo alrededor de un cilindro circular a $Re = 150$	833

15.3. Cálculos de la DFC Turbulenta	840
Flujo alrededor de un cilindro circular a $Re = 10\,000$	843
Flujo alrededor de un cilindro circular a $Re = 10^7$	844
Diseño del estator con álabes guía para un ventilador de flujo axial	845
15.4. DFC con transferencia de calor	853
Aumento de temperatura en un intercambio de calor de flujo cruzado	853
Enfriamiento de un conjunto de circuitos integrados	855
15.5. Cálculos de la DFC de Flujo Compresible	860
Flujo compresible por una tobera convergente – divergente	561
Ondas de choque oblicuas en una cuña	865
15.6. Cálculos de la DFC para flujo en canal abierto	866
Flujo sobre una protuberancia en el fondo de un canal	867
Flujo a través de una compuerta de descarga (salto hidráulico)	868
Proyector de aplicaciones: un estómago virtual	869
Resumen	870
Bibliografía y lectura recomendadas	870
Problemas	871
Apéndice 1.	885
Tablas y Gráficas de Propiedades (Unidades SI)	
Tabla A – 1. masa molar, constante de gas y calores específicos de gas ideal de algunas sustancias	886
Tabla A – 2. Propiedades de puntos de ebullición y de congelación	887
Tabla A – 3. Propiedades del agua saturada	888
Tabla A – 4. Propiedades de refrigerante 134 <sup>a</sup> saturado	889
Tabla A – 5. Propiedades del amoníaco saturado	890
Tabla A – 6. Propiedades del propano saturado	891
Tabla A – 7. Propiedades de líquidos	892
Tabla A – 8. Propiedades de metales líquidos	893
Tabla A – 9. Propiedades de metales líquidos	893
Tabla A – 10. Propiedades del aire a 1 atm de presión	895
Tabla A – 11. Propiedades de la atmósfera a gran altitud	897
Tabla A – 12. Diagrama de Moody para el factor de fricción para flujo totalmente desarrollado en tuberías circulares	898
Tabla A – 13. Funciones de flujo compresible isentrópico unidimensional para un gas ideal con $k = 1.4$	899
Tabla A – 14. Funciones de onda de choque normal unidimensional para un gas ideal con $k = 1.4$	900
Tabla A – 15. Funciones de flujo de Rayleigh para un gas ideal con $k = 1.4$	901
Tabla A – 16. Funciones de flujo de Fanno para un gas ideal con $k = 1.4$	902
<b>Apéndice 2.</b>	
<b>Tablas y Gráficas de Propiedades (Unidades Inglesas)</b>	
Tabla A – 1I. Masa molar, constante de gas y calores específicos de gas ideal de algunas sustancias	904
Tabla A – 2I. Propiedades de puntos de ebullición y de congelación	905
Tabla A – 3I. Propiedades del agua saturada	906
Tabla A – 4I. Propiedades de refrigerante 134 <sup>a</sup> saturado	907
Tabla A – 5I. Propiedades del amoníaco saturado	908
Tabla A – 6I. Propiedades del propano saturado	909

Tabla A – 7I. Propiedades de líquidos	910
Tabla A – 8I. Propiedades de metales líquidos	911
Tabla A – 9I. Propiedades del aire a 1 atm de presión	912
Tabla A – 10I. Propiedades de gases a 1 atm de presión	913
Tabla A – 11I. Propiedades de la atmósfera a gran altitud	915
Glosario	917
Índice	931