

# Contenido

---

<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1-1	Nota a los estudiantes	1
1-2	Definición de un fluido	3
1-3	Objetivo de la mecánica de fluidos	4
1-4	Ecuaciones básicas	5
1-5	Métodos de análisis	6
1-5.1	Sistema y volumen de control	6
1-5.2	Enfoque diferencial contra enfoque integral	7
1-5.3	Métodos de descripción	8
1-6	Dimensiones y unidades	10
1-6.1	Sistemas de dimensiones	10
1-6.2	Sistemas de unidades	11
1-6.3	Sistema de unidades preferido	12
1-7	Resumen de objetivos	13
	Problemas	13
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>CONCEPTOS FUNDAMENTALES</b>	<b>19</b>
2-1	Fluido como un medio continuo	19
2-2	Campo de velocidades	21
2-2.1	Flujos unidimensional, bidimensional y tridimensional	22
2-2.2	Líneas en el tiempo, líneas de trayectoria, líneas de traza y líneas de corriente	23
2-3	Campo de esfuerzos	26
2-4	Viscosidad	29
2-4.1	Fluido newtoniano	30
2-4.2	Fluidos no newtonianos	33
2-5	Descripción y clasificación de los movimientos de fluidos	34
2-5.1	Flujos viscosos y no viscosos	34
2-5.2	Flujos laminar y turbulento	39
2-5.3	Flujos compresible e incompresible	41
2-5.4	Flujos internos y externos	41
2-6	Resumen de objetivos	42
	Problemas	43
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>ESTÁTICA DE FLUIDOS</b>	<b>56</b>
3-1	La ecuación básica de la estática de fluidos	56
3-2	Variaciones de presión en un fluido estático	60

3-3	La atmósfera estándar	66
3-4	Sistemas hidráulicos	69
3-5	Fuerza hidrostática sobre superficies sumergidas	69
3-5.1	Fuerza hidrostática sobre una superficie plana sumergida	69
3-5.2	Fuerza hidrostática sobre una superficie curva sumergida	77
3-6	Flotación y estabilidad	81
3-7	Fluidos en el movimiento de cuerpo rígido	83
3-8	Resumen de objetivos	88
	Problemas	89

**CAPÍTULO 4 ECUACIONES BÁSICAS EN FORMA INTEGRAL PARA UN VOLUMEN DE CONTROL** 107

4-1	Leyes básicas para un sistema	107
4-1.1	Conservación de la masa	107
4-1.2	Segunda ley de Newton	108
4-1.3	El principio del momento angular	108
4-1.4	La primera ley de la termodinámica	108
4-1.5	La segunda ley de la termodinámica	109
4-2	Relación de las derivadas del sistema con la formulación del volumen de control	109
4-2.1	Derivación	110
4-2.2	Interpretación física	115
4-3	Conservación de la masa	116
4-3.1	Casos especiales	117
4-4	Ecuación de momento para el volumen de control inercial	124
4-4.1	Análisis del volumen de control diferencial	136
4-4.2	Volumen de control moviéndose con velocidad constante	141
4-5	Ecuación del momento para el volumen de control con aceleración rectilínea	144
4-6	Ecuación del momento para el volumen de control con aceleración arbitraria	152
4-7	El principio del momento angular	158
4-7.1	Ecuación para el volumen de control fijo	158
4-7.2	Ecuación para el volumen de control rotatorio	163
4-8	La primera ley de la termodinámica	168
4-8.1	Relación de trabajo efectuado por un volumen de control	169
4-8.2	Ecuación del volumen de control	171
4-9	La segunda ley de la termodinámica	175
4-10	Resumen de objetivos	177
	Problemas	177

**CAPÍTULO 5 INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DIFERENCIAL DEL MOVIMIENTO DE UN FLUIDO** 216

5-1	Conservación de la masa	216
5-1.1	Sistema de coordenadas rectangulares	216
5-1.2	Sistema de coordenadas cilíndricas	222
5-2	Función de corriente para un flujo bidimensional incompresible	225
5-3	Movimiento de un elemento de fluido (cinemática)	229
5-3.1	Accleración de una partícula de fluido en un campo de velocidad	231
5-3.2	Rotación de un fluido	236
5-3.3	Deformación de fluido	240
5-4	Ecuación del momento	244
5-4.1	Fuerzas que actúan sobre una partícula de fluido	245

5-4.2	Ecuación diferencial del momento	246
5-4.3	Fluido newtoniano: ecuaciones de Navier-Stokes	246
5-5	Resumen de objetivos	248
	Referencias	248
	Problemas	249
<b>CAPÍTULO 6</b>	<b>FLUJO INCOMPRESIBLE NO VISCOSO</b>	<b>258</b>
6-1	Ecuaciones de momento para flujos sin fricción: ecuaciones de Euler	258
6-2	Ecuaciones de Euler en coordenadas de línea de corriente	259
6-3	Ecuación de Bernoulli. Integración de la ecuación de Euler a lo largo de una línea de corriente para flujo estacionario	263
6-3.1	Derivación empleando coordenadas de línea de corriente	263
6-3.2	Derivación empleando coordenadas rectangulares	264
6-3.3	Presiones estática, de estancamiento y dinámica	266
6-3.4	Aplicaciones	270
6-3.5	Precauciones en el uso de la ecuación de Bernoulli	276
6-4	Relación entre la primera ley de la termodinámica y la ecuación de Bernoulli	277
6-5	Ecuación de Bernoulli inestable. Integración de la ecuación de Euler a lo largo de una línea de corriente	284
6-6	Flujo irrotacional	287
6-6.1	Ecuación de Bernoulli aplicada al flujo irrotacional	287
6-6.2	Potencial de velocidad	288
6-6.3	Función de corriente y potencial de velocidad para flujo bidimensional, incompresible e irrotacional; ecuación de Laplace	290
6-6.4	Flujos planos elementales	292
6-6.5	Superposición de flujos planos elementales	296
6-7	Resumen de objetivos	302
	Referencias	302
	Problemas	303
<b>CAPÍTULO 7</b>	<b>ANÁLISIS DIMENSIONAL Y SIMILITUD</b>	<b>317</b>
7-1	Naturaleza del análisis dimensional	317
7-2	Teorema Pi de Buckingham	318
7-3	Determinación de los grupos $\Pi$	319
7-4	Grupos adimensionales de importancia en mecánica de fluidos	325
7-5	Similitud de flujo y estudio de modelos	327
7-5.1	Similitud incompleta	330
7-5.2	Escalamiento con parámetros dependientes múltiples	337
7-5.3	Comentarios acerca de la prueba de modelos	340
7-6	Adimensionalización de las ecuaciones diferenciales básicas	341
7-7	Resumen de objetivos	344
	Referencias	344
	Problemas	345
<b>CAPÍTULO 8</b>	<b>FLUJO INTERNO INCOMPRESIBLE VISCOSO</b>	<b>355</b>
8-1	Introducción	355
	<b>PARTE A. FLUJO LAMINAR COMPLETAMENTE DESARROLLADO</b>	<b>357</b>
8-2	Flujo laminar completamente desarrollado entre placas paralelas infinitas	357

8-2.1	Ambas placas estacionarias	357
8-2.2	La placa superior moviéndose con velocidad constante, $U$	364
8-3	Flujo laminar completamente desarrollado en una tubería	371
<b>PARTE B. FLUJO EN TUBERÍAS Y DUCTOS</b>		<b>376</b>
8-4	Distribución de esfuerzos de corte en un flujo completamente desarrollado en una tubería	376
8-5	Perfiles de velocidad turbulentos en un flujo completamente desarrollado en una tubería	379
8-6	Consideraciones de energía de flujo en tubería	381
8-6.1	Coficiente de energía cinética	383
8-6.2	Pérdida de carga	383
8-7	Cálculo de la pérdida de carga	384
8-7.1	Pérdidas mayores: factor de fricción	384
8-7.2	Pérdidas menores	391
8-7.3	Ductos no circulares	396
8-8	Solución de problemas de flujo en tubería	397
8-8.1	Sistemas de una sola trayectoria	397
8-8.2	Sistemas de trayectorias múltiples	412
<b>PARTE C. MEDICIÓN DE FLUJO</b>		<b>417</b>
8-9	Métodos directos	417
8-10	Restricción de los medidores de flujo para flujos internos	418
8-10.1	La placa de orificio	421
8-10.2	La tobera de flujo	423
8-10.3	El venturi	424
8-10.4	El elemento de flujo laminar	425
8-11	Medidores de flujo lineales	429
8-12	Métodos transversales	430
8-13	Resumen de objetivos	431
	Referencias	432
	Problemas	433
<b>CAPÍTULO 9</b>	<b>FLUJO EXTERNO INCOMPRESIBLE VISCOSO</b>	<b>453</b>
<b>PARTE A. CAPAS LÍMITE</b>		<b>454</b>
9-1	Concepto de la capa límite	454
9-2	Espesor de la capa límite	456
9-3	Capa límite laminar de placa plana: solución exacta	459
9-4	Ecuación integral de momento	464
9-5	Empleo de la ecuación integral del momento para el flujo de gradiente de presión cero	470
9-5.1	Flujo laminar	471
9-5.2	Flujo turbulento	476
9-6	Gradientes de presión en flujo de capa límite	479
<b>PARTE B. FLUJO DE FLUIDO ALREDEDOR DE CUERPOS SUMERGIDOS</b>		<b>482</b>
9-7	Arrastre	483
9-7.1	Flujo sobre una placa plana paralela al flujo: arrastre de fricción	484
9-7.2	Flujo sobre una placa plana normal al flujo: arrastre de presión	487
9-7.3	Flujo sobre una esfera y un cilindro: arrastre de fricción y de presión	489
9-7.4	Perfil aerodinámico	495
9-8	Sustentación	498
9-9	Resumen de objetivos	516
	Referencias	516
	Problemas	518

<b>CAPÍTULO 10</b>	<b>FLUJO EN CANALES ABIERTOS</b>	<b>539</b>
10-1	Características de los canales abiertos	540
10-2	Propagación de ondas superficiales	542
10-2.1	Velocidad de onda	543
10-2.2	El número de Froude	545
10-3	Ecuación de la energía para flujo en canal abierto	546
10-3.1	Energía específica	548
10-4	Flujo sin fricción: efecto del cambio de área	551
10-4.1	Flujo sobre una protuberancia	551
10-4.2	Flujo a través de una compuerta de esclusa	554
10-5	Flujo a profundidad normal: flujo uniforme	558
10-5.1	Ecuaciones básicas	558
10-5.2	La correlación de Manning para la velocidad	560
10-5.3	Sección transversal óptima del canal	566
10-5.4	Flujo normal crítico	568
10-6	Flujo con profundidad que varía gradualmente	571
10-6.1	Clasificación de perfiles superficiales	572
10-6.2	Cálculo de perfiles superficiales	576
10-7	El salto hidráulico	580
10-7.1	Ecuaciones básicas	580
10-7.2	Aumento de la profundidad a través de un salto hidráulico	582
10-7.3	Pérdida de carga a través de un salto hidráulico	583
10-8	Mediciones de flujo en canal abierto	586
10-8.1	Vertedores de cresta vertiente afilada	586
10-8.2	Vertedores de cresta vertiente amplia	590
10-8.3	Compuertas de esclusa	591
10-8.4	Canales críticos	592
10-9	Resumen de objetivos	593
	Referencias	593
	Problemas	594
<b>CAPÍTULO 11</b>	<b>MAQUINARIA HIDRÁULICA</b>	<b>601</b>
11-1	Introducción y clasificación de maquinaria hidráulica	601
11-2	Alcance del material del capítulo	605
11-3	Análisis de turbomaquinaria	605
11-3.1	El principio del momento angular	605
11-3.2	La ecuación de Euler para turbomáquinas	606
11-3.3	Análisis del polígono de velocidad	608
11-4	Características de funcionamiento	616
11-4.1	Parámetros de funcionamiento	616
11-4.2	Análisis dimensional y velocidad específica	627
11-4.3	Reglas de similitud	632
11-4.4	Cavitación y carga neta de succión positiva	636
11-5	Aplicación en sistemas de flujos	638
11-5.1	Máquinas que absorben trabajo	638
11-5.2	Máquinas que producen trabajo	671
11-6	Resumen de objetivos	681
	Referencias	682
	Problemas	684

<b>CAPÍTULO 12</b>	<b>INTRODUCCIÓN AL FLUJO COMPRESIBLE</b>	<b>700</b>
12-1	Repaso de termodinámica	700
12-2	Propagación de ondas sonoras	708
12-2.1	Velocidad del sonido	708
12-2.2	Tipos de flujo. El cono de Mach	712
12-3	Estado de referencia: propiedades locales de estancamiento isentrópico	714
12-3.1	Propiedades locales de estancamiento isentrópico local para el flujo de un gas ideal	715
12-4	Condiciones críticas	723
12-5	Resumen de objetivos	724
	Referencias	724
	Problemas	725
<b>CAPÍTULO 13</b>	<b>FLUJO COMPRESIBLE, UNIDIMENSIONAL Y ESTABLE</b>	<b>732</b>
13-1	Ecuaciones básicas para el flujo isentrópico	732
13-2	Efecto de la variación del área sobre las propiedades en flujo isentrópico	736
13-3	Flujo isentrópico de un gas ideal	739
13-3.1	Ecuaciones básicas	739
13-3.2	Condiciones de referencia para el flujo isentrópico de un gas ideal	740
13-3.3	Tablas para el cálculo del flujo isentrópico de un gas ideal	743
13-3.4	Flujo isentrópico en una tobera convergente	745
13-3.5	Flujo isentrópico en una tobera convergente-divergente	751
13-4	Flujo en un ducto de área constante con fricción	758
13-4.1	Ecuaciones básicas para flujo adiabático	758
13-4.2	Flujo adiabático: la línea de Fanno	761
13-4.3	Tablas para el cálculo del flujo de la línea de Fanno de un gas ideal	766
13-4.4	Flujo isotérmico	775
13-5	Flujo sin fricción en un ducto de área constante con intercambio de calor	777
13-5.1	Ecuaciones básicas	777
13-5.2	La línea de Rayleigh	780
13-5.3	Tablas para el cálculo del flujo de la línea de Rayleigh de un gas ideal	786
13-6	Ondas de choque normales	790
13-6.1	Ecuaciones básicas	791
13-6.2	Tablas para el cálculo de ondas de choque normales en un gas ideal	799
13-7	Flujo supersónico en un canal con ondas de choque	804
13-7.1	Flujo en una tobera convergente-divergente	805
13-7.2	Difusor supersónico	807
13-7.3	Operación de túnel de viento supersónico	808
13-7.4	Canal de área constante con fricción	809
13-7.5	Canal de área constante con adición de calor	810
13-8	Resumen de objetivos	813
	Referencias	814
	Problemas	814
<b>Apéndice A</b>	<b>DATOS DE PROPIEDADES DE FLUIDOS</b>	<b>837</b>
<b>Apéndice B</b>	<b>ECUACIONES DE MOVIMIENTO EN COORDENADAS CILÍNDRICAS</b>	<b>849</b>
<b>Apéndice C</b>	<b>CINTAS DE VIDEO Y PELÍCULAS DE MECÁNICA DE FLUIDOS</b>	<b>851</b>

<b>Apéndice D</b>	SELECCIÓN DE CURVAS DE FUNCIONAMIENTO PARA BOMBAS Y VENTILADORES	854
<b>Apéndice E</b>	TABLAS PARA EL CÁLCULO DE FLUJO COMPRESIBLE	866
<b>Apéndice F</b>	ANÁLISIS DE LA INCERTIDUMBRE EXPERIMENTAL	882
<b>Apéndice G</b>	UNIDADES, PREFIJOS Y FACTORES DE CONVERSIÓN DEL SI	890
	<b>Respuestas a problemas seleccionados</b>	<b>892</b>
	<b>Índice</b>	<b>907</b>