

INDICE

Prefacio	XIX
Nomenclatura	XXVII
Capitulo uno	
Conceptos básicos de la transferencia de calor	1
1-1 Termodinámica y transferencia de calor	2
Áreas de aplicación de la transferencia de calor	
Fundamentos históricos	3
1-2 Transferencia de calor en la ingeniería	4
Elaboración de modelos en la transferencia de calor	5
1-3 Calor y otras formas de energía	6
Calores específicos de gases, líquidos y sólidos	7
transferencia de la energía	9
1-4 Primera ley de la termodinámica	11
Balance de energía para sistemas cerrados (mas fija)	
Balance de energía para sistemas flujo estacionario	12
1-5 Mecanismos de transferencia de calor	
1-6 Conducción	17
Conductividad térmica	19
Difusividad térmica	23
1-7 Convención	25
1-8 Radiación	27
1-9 Mecanismos simultáneos de transferencia de calor	30
1-10 Técnica de resolución de problemas	35
Una observación sobre las cifras significativas	37
Software para ingeniería	38
Solucionar de ecuación de ecuación de ingeniería o Engineering Equation Solver (EES)	39
Herramientas de transferencia de calor o Heat transfer Tools (HTT)	
Temas de interés especial: comodidad térmica	40
Resumen	
Bibliografía y lecturas sugeridas	47
Problemas	
Capitulo dos	
Ecuación de la conducción de calor	61
2-1 introducción	62
Transferencia de calor estable en comparación con la transferencia transitoria	63
Transferencia de calor multidimensional	64
Generación de calor	66
2-2 Ecuación unidimensional de la conducción de calor	
Ecuación de la conducción de calor en una pared plana grande	68
Ecuación de la conducción de calor en un cilindro largo	69
Ecuación de la conducción de calor en una esfera	71
Ecuación unidimensional combinada de la conducción de calor	72
2-3 Ecuación general de conducción de calor	
Coordenadas rectangulares	74
Coordenadas cilíndricas	75

Coordenadas esféricas	76
2-4 Condiciones de frontera e iniciales	77
1 Condición de frontera de temperatura específica	78
2 Condición de frontera de flujo específico de calor	79
3 Condición de convención de frontera	81
4 Condición de radiación de frontera	82
5 Condiciones de frontera en la interfase	83
6 Condiciones de frontera generalizadas	84
2-5 Resolución de problemas unidimensionales de conducción de calor en estado estable	86
2-6 Generación de calor en un sólido	97
2-7 Conductividad térmica variable, $k(T)$	104
Tema de interés especial: un breve repaso de las ecuaciones diferenciales	107
Resumen	111
Bibliografía y lecturas sugeridas	112
Problemas	113
Capítulo tres	
Conducción de calor en estado estable	127
3-1 Conducción de calor en estado estable en paredes planas	128
El concepto de resistencia térmica	129
Rede de resistencias térmicas	131
Paredes planas de capas múltiples	133
3-2 Resistencia térmica por contacto	138
3-3 redes generalizadas de resistencias térmicas	143
3-4 Conducción de calor en cilindros y esferas	146
Cilindros y esferas con capas múltiples	148
3-5 Relación crítica de aislamiento	153
3-6 Transferencia de calor desde superficies con aletas	156
Ecuación de la aleta	157
Eficiencia de la aleta	160
Efectividad de la aleta	163
Longitud apropiada de una aleta	165
3-7 Transferencia de calor en configuraciones comunes	169
Temas de interés especial: transferencia de calor a través de paredes y techos	175
Resumen	185
Bibliografía y lecturas sugeridas	186
Problemas	187
Capítulo cuarto	
Conducción de calor en régimen transitorio	209
4-1 Análisis de sistemas concentrados	210
Criterios para el análisis de sistemas concentrados	211
Algunas observaciones sobre la transferencia de calor en sistemas concentrados	213
4-2 Conducción de calor en régimen transitorio en paredes planas grandes, cilindros largos y esferas con efectos espaciales	216
4-3 Conducción de calor en régimen transitorio en sólidos semiinfinitos	228

4-4 Conducción de calor en régimen transitorio en sistemas multidimensionales	231
Temas de interés especial: refrigeración y congelación de alimentos	239
Resumen	250
Bibliografía y lecturas sugeridas	251
Problemas	252
Capítulo cinco	
Métodos numéricos en la conducción de calor	265
5-1 ¿Por qué los métodos numéricos?	266
1 Limitaciones	
2 Una mejor elaboración de modelos	267
3 Flexibilidad	
4 Complicaciones	
5 Naturaleza humana	268
5-2 Formulación en diferencias finitas de ecuaciones diferenciales	269
5-3 Conducción unidimensional de calor en estado estacionario	272
Condiciones de frontera	274
5-4 Conducción bidimensional de calor en estado estacionario	282
Nodos frontera	283
Fronteras irregulares	287
5-5 Conducción de calor en régimen transitorio	291
Conducción de calor en régimen transitorio en una pared plana	293
Conducción bidimensional de calor en régimen transitorio	304
Temas de interés especial: control del error numérico	309
Resumen	313
Bibliografía y lecturas sugeridas	
Problemas	314
Capítulo seis	
Fundamentos de la convección	333
6-1 Mecanismo físico de la convección	334
Numero de Nusselt	336
6-2 Clasificación de los flujos de fluidos	
Flujo viscoso en comparación con el viscoso	337
Flujo compresible en comparación con el incompresible	
Flujo laminar en comparación con el turbulento	
Flujo natural (o no forzado) en la comprobación con el forzado	338
Flujo estacionario en comparación con el no estacionario (Transitorio)	
Flujo unidimensionales, bidimensionales y tridimensionales	
6-3 Capa limite de la velocidad	339
Esfuerzo cortante superficial	340
6-4 Capa limite térmica	
Numero de Prandtl	341
6-5 Flujos laminar y turbulento	342
Numero de Reynolds	
6-6 Transferencia de calor y de la cantidad de movimiento en el flujo turbulento	343
6-7 Dedución de las ecuaciones diferenciales de la convección	
Ecuación de la conservación de la masa	345
Ecuaciones de la conservación de la cantidad de movimiento	346

Ecuación de la conversación de la energía	348
6-8 Soluciones de las ecuaciones de convención para una placa plana	352
La ecuación de la energía	355
6-9 Ecuaciones adimensionales de la convención y semejanza	356
6-10 Formas funcionales de los coeficientes de fricción y de convección	357
6-11 Analogías entre la cantidad de movimiento y la transferencia de calor	359
Resumen	361
Bibliografía y lecturas sugeridas	362
Problemas	363
Capitulo siete	
Convención externa forzada	367
7-1 Fuerza de resistencia al movimiento y transferencia de calor en el flujo externo	368
Resistencia al movimiento debida a la fricción y la presión	
Transferencia de calor	370
7-2 Flujo paralelo sobre placas planas	371
Coefficiente de fricción	372
Coefficiente de transferencia de calor	373
Placa plana con tramo inicial no calentado	
Flujo uniforme de calor	375
7-3 Flujo a través de cilindros y esferas	380
Efecto de la aspereza de la superficie	382
Coefficiente de transferencia de calor	384
7-4 Flujo a través de bancos de tubos	389
Calidad de presión	392
Temas de interés especial: reducción de la transferencia de calor a través de superficies: aislamiento térmico	395
Resumen	406
Bibliografía y lecturas sugeridas	407
Problemas	408
Capitulo ocho	419
Convención interna forzada	
8-1 Introducción	
8-2 Velocidad media y temperatura media	420
Flujos laminar y turbulento en tubos	422
8-3 La región de entrada	423
Longitudes de entrada	425
8-4 Análisis térmico	426
Flujo constante de calor en la superficie ($q_s = \text{constante}$)	427
Temperatura superficial constante ($T_s = \text{constante}$)	428
Flujo laminar en tubos	431
Caída de presión	433
Perfil de temperatura y el número de Nusselt	434
Flujo de calor en la superficie	435
Temperatura superficial constante	
Flujo laminar en tubos no circulares	436

Desarrollo del flujo laminar en la región de entrada	
8-6 Flujo turbulento en tubos	441
Superficies ásperas	442
Desarrollo del flujo turbulento en la región de entrada Flujo turbulento en tubos no circulares	443
Flujo por la sección anular entre tubos concéntricos Mejoramiento de la transferencia de calor	444
Resumen	449
Bibliografía y lecturas sugeridas	450
Problemas	452
Capítulo nueve	459
Convención natural	
9-1 Mecanismo físico de la convención natural	460
9-2 Ecuación del movimiento y el número de Grashof	463
El número de Grashof	465
9-3 Convención natural sobre superficies	466
Placas verticales ($T_s = \text{constante}$) Placas verticales ($q_s = \text{constante}$) Cilindros verticales Placas inclinadas	467
Placas horizontales Cilindros horizontales y esferas	469
9-4 Convención natural desde superficies con aletas y PCB	
Enfriamiento por convención natural de superficies con aletas ($T_s = \text{constante}$)	473
Enfriamiento por convención natural de PCB verticales ($q_s = \text{constante}$)	474
Gasto de masa por el espacio entre placas	475
9-5 Convención natural dentro de recintos cerrados	477
Conductividad térmica efectiva	478
Recintos cerrados rectangulares horizontales Recintos cerrados rectangulares inclinados	479
Recintos cerrados rectangulares verticales Cilindros concéntricos	480
Esferas concéntricas Convención natural y radiación combinadas	481
9-6 Convención natural y forzada y combinadas	486
Temas de interés especial: transferencia de calor a través de ventanas	489
Resumen	499
Bibliografía y lecturas sugeridas	500
Problemas	501
Capítulo diez	
Ebullición y condensación	515
10-1 Transferencia de calor en la ebullición	516
10-2 Ebullición en estanque	
Regímenes de ebullición y la curva de ebullición	518
Correlaciones de la transferencia de calor en la ebullición en estanque	522
Mejoramiento de la transferencia de calor en la ebullición en estanque	526
10-3 Ebullición en flujo	530
10-4 Transferencia de calor en la condensación	532

10-5 Condensación en película	
Regímenes de flujo	534
Correlaciones de la transferencia de calor para la condensación en película	535
10-6 Condensación en película dentro de tubos horizontales	
10-7 Condensación por gotas	545
Temas de interés especial: tubos de calor	546
Resumen	551
Bibliografía y lecturas sugeridas	
Problemas	553
Capítulo once	
Fundamentos de la radiación térmica	561
11-1 introducción	562
11-2 Radiación térmica	563
11-3 Radiación de cuerpo negro	565
11-4 intensidad de radiación	571
Angulo sólido	572
Intensidad de la radiación emitida	573
Radiación incidente	574
Radiosidad	
Capacidad espectrales	575
11-5 Propiedades de radiación	577
Emisividad	578
Absortividad, reflectividad y transmisividad	582
Ley de Kirchhoff	584
El efecto de invernadero	585
11-6 Radiación atmosférica y solar	586
Temas de interés especial: ganancia de calor solar a través de las ventanas	590
Resumen	597
Bibliografía y lecturas sugeridas	
Problemas	599
Capítulo doce	
Transferencia de calor por radiación	605
12-1 El factor de visión	606
12-2 Relaciones del factor de visión	609
1 la relación de reciprocidad	610
2 La regla de la suma	613
3 La regla de superposición	615
4 La regla de simetría	616
Factores de visión entre superficies infinita, ente largas: el método de las cuerda cruzadas	618
12-3 Transferencias de calor por radiación: superficies negra	620
12-4 Transferencias de calor por radiación: superficies grises y difusas	
Radiosidad	
Transferencia neta de calor por radiación hacia una superficie o desde una superficie	623
Transferencia neta de calor por radiación entre dos superficies	

cualesquiera	625
Métodos de resolución de los problemas sobre radiación	626
Transferencia de calor por radiación en recintos cerrados de dos superficies	627
Transferencia de calor por radiación en recintos cerrados de tres superficies	629
12-5 Blindajes contra la radiación y el efectos de la radiación	635
Efecto de la radiación sobre las mediciones de temperatura	637
12-6 Intercambio de radiación con gases emisores y absorbentes	639
Propiedades relativas a la radiación de un medio participantes	640
Emisividad y absorptividad de gases y mezclas de gases	642
Temas de interés especial: transferencias de calor desde le cuerpo humano	649
Resumen	653
Bibliografía y lecturas sugeridas	
Problemas	655
Capítulo trece	
Intercambiadores de calor	667
13-1 Tipos de Intercambiadores de calor	668
13-2 El coeficiente de transferencia de calor total	671
Factor de incrustación	674
13-3 Análisis de los Intercambiadores de calor	678
13-4 Método de la diferencia de temperatura media logarítmica	680
Intercambiadores de calor a contrafujo	682
Intercambiadores de calor de pasos múltiples y de flujo cruzado: uso de un factor de corrección	683
13-5 Método de la efectividad-NTU	690
13-6 Selección de los Intercambiadores de calor	
Velocidad de las transferencia de calor	700
Costo	
Potencia para el bombeo	
Tamaño y peso	
Tipo	701
Materiales	
Otras consideraciones	702
Resumen	703
Bibliografía y lecturas sugeridas	704
Problemas	705
Apéndice 1	
Tablas y diagramas de propiedades (sistema internacional)	717
Tabla A-1 Masa molar, constante de los gases y propiedades en el punto crítico	718
Tabla A-2 Propiedades en los puntos de ebullición y de congelación	719
Tabla A-3 Propiedades de metales sólidos	720
Tabla A-4 Propiedades de no metales sólidos	723
Tabla A-5 Propiedades de materiales de construcción	724
Tabla A-6 Propiedades de materiales aislantes	726
Tabla A-7 Propiedades de alimentos comunes	727

Tabla A-8 Propiedades de diversos materiales	729
Tabla A-9 Propiedades del agua saturada	730
Tabla A-10 Propiedades del refrigerante 134^a saturado	731
Tabla A-11 Propiedades del amoniaco saturado	732
Tabla A-12 Propiedades del propano saturado	733
Tabla A-13 Propiedades de líquidos	734
Tabla A-14 Propiedades de metales líquidos	735
Tabla A-15 Propiedades del aire a la presión de 1 atm	736
Tabla A-16 Propiedades de gases a la presión de 1 atm de presión	737
Tabla A-17 Propiedades de la atmosfera a gran altitud	739
Tabla A-18 Emisividades de las superficies	740
Tabla A-19 Propiedades relativas a la radiación solar de los materiales	742
Tabla A-20 Diagrama de Moody del factor de fricción para flujo completamente desarrollado en tubos circulares	743
Apéndice 2	
Tablas y diagramas de propiedades (Sistemas ingles)	745
Tabla A-1I masa molar, constante de los gases y propiedades en el punto critico	746
Tabla A-2I Propiedades en los puntos de ebullición y de congelación	747
Tabla A-3I Propiedades de metales sólidos	748
Tabla A-4I Propiedades de no metales sólidos	751
Tabla A-5I Propiedades de materiales de construcción	752
Tabla A-6I Propiedades de materiales aislantes	754
Tabla A-7I Propiedades de alimentos comunes	755
Tabla A-8I Propiedades de diversos materiales	757
Tabla A-9I Propiedades del agua saturada	758
Tabla A-10I Propiedades del refrigerante 134^a saturado	759
Tabla A-11I Propiedades del amoniaco saturado	760
Tabla A-12I Propiedades del propano saturado	761
Tabla A-13I Propiedades de líquidos	762
Tabla A-14I Propiedades de metales líquidos	
Tabla A-15I Propiedades del aire a la presión de 1 atm	764
Tabla A-16I Propiedades de gases a la presión de 1 atm de presión	765
Tabla A-17I Propiedades de la atmosfera a gran altitud	767
Apéndice 3	
Introducción al EES	769
Tabla A-19 Propiedades relativas a la radiación solar de los materiales	769
Índice	