

# INDICE GENERAL



Prefacio	v
<b>PARTE I MECANICA, CALOR Y SONIDO</b>	
<b>1 Unidades, cantidades físicas y vectores</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción	1
1.2 Patrones y unidades	2
1.3 Consistencia de las unidades y conversiones	4
1.4 Precisión y cifras significativas	5
1.5 Vectores y suma de vectores	6
1.6 Componentes de los vectores	10
*1.7 Vectores unitarios	13
*1.8 Productos de vectores	14
<b>2 Equilibrio de una partícula</b>	<b>21</b>
2.1 Introducción	21
2.2 Fuerza	21
2.3 Equilibrio. Primera ley de Newton	24
2.4 Análisis de la primera ley de Newton	26
2.5 Tercera ley del movimiento de Newton	27
2.6 Modelos ideales	29
2.7 Equilibrio de una partícula	29
2.8 Rozamiento	34
<b>3 Movimiento rectilíneo</b>	<b>46</b>
3.1 Movimiento	46
3.2 Velocidad media	46
3.3 Velocidad instantánea	48
3.4 Aceleración media e instantánea	50

3.5	Movimiento uniformemente acelerado	52
*3.6	Obtención de la velocidad y de la coordenada por integración	55
3.7	Caída libre de los cuerpos	58
3.8	Velocidad relativa	62
<b>4</b>	<b>Segunda ley de Newton. Gravitación</b>	<b>70</b>
4.1	Introducción	70
4.2	Segunda ley de Newton. Masa	70
4.3	Sistemas de unidades	73
4.4	Ley de Newton de la gravitación	75
4.5	Masa y peso	77
4.6	Aplicaciones de la segunda ley de Newton	79
<b>5</b>	<b>Movimiento en un plano</b>	<b>96</b>
5.1	Movimiento en un plano	96
5.2	Velocidades media e instantánea	96
5.3	Aceleraciones media e instantánea	98
5.4	Componentes de la aceleración	99
5.5	Movimiento de un proyectil	102
5.6	Movimiento circular	109
5.7	Fuerza centrípeta	112
5.8	Movimiento en un círculo vertical	115
5.9	Movimiento de un satélite	118
*5.10	Efecto de la rotación de la Tierra sobre $g$	122
5.11	Velocidad relativa	124
<b>6</b>	<b>Trabajo y energía</b>	<b>134</b>
6.1	Trabajo	134
6.2	Trabajo realizado por una fuerza variable	137
6.3	Trabajo y energía cinética	140
6.4	Energía potencial gravitacional	142
6.5	Energía potencial elástica	149
6.6	Fuerzas conservativas y disipativas	151
*6.7	Trabajo interno	153
*6.8	Energía potencial interna	154
6.9	Potencia	155
6.10	Potencia y velocidad	156
*6.11	Masa y energía	156
<b>7</b>	<b>Impulso y momento lineal</b>	<b>166</b>
7.1	Impulso y momento lineal	166
7.2	Conservación del momento lineal	171
7.3	Choques	173
7.4	Choques inelásticos	173
7.5	Choques elásticos	176
7.6	Retroceso	178
7.7	Centro de masa	179
*7.8	Propulsión de un cohete	181
*7.9	Generalizaciones	184

<b>8</b>	<b>Equilibrio. Momento de una fuerza</b>	<b>193</b>
8.1	Momento o torque de una fuerza	193
8.2	La segunda condición de equilibrio	194
8.3	Centro de gravedad	198
8.4	Pares	201
*8.5	Vector momento o torque	202
<b>9</b>	<b>Rotación</b>	<b>209</b>
9.1	Introducción	209
9.2	Velocidad angular	209
9.3	Aceleración angular	211
9.4	Rotación con aceleración angular constante	212
9.5	Relación entre velocidades y aceleraciones angulares y lineales	213
9.6	Energía cinética de rotación. Momento de inercia	214
*9.7	Cálculo de momentos de inercia	218
9.8	Trabajo y potencia en el movimiento de rotación	222
9.9	Momento y aceleración angular	223
*9.10	Rotación alrededor de un eje móvil	226
*9.11	Teorema del eje paralelo	228
9.12	Momento angular e impulso angular	229
9.13	Conservación del momento angular	231
*9.14	Representación vectorial de cantidades angulares	235
9.15	Comparación entre el movimiento lineal y angular	238
<b>10</b>	<b>Elasticidad</b>	<b>248</b>
10.1	Esfuerzo	248
10.2	Deformación	252
10.3	Elasticidad y plasticidad	253
10.4	Módulos de elasticidad	255
10.5	Constante de recuperación	258
<b>11</b>	<b>Movimiento periódico</b>	<b>263</b>
11.1	Introducción	263
11.2	Fuerzas restauradoras elásticas	264
11.3	Conceptos fundamentales	264
11.4	Ecuaciones del movimiento armónico simple	265
11.5	Círculo de referencia	273
11.6	Movimiento de un cuerpo suspendido de un resorte helicoidal	276
11.7	Movimiento armónico angular	277
11.8	Péndulo simple	278
*11.9	Péndulo físico	280
<b>12</b>	<b>Estática de fluidos</b>	<b>287</b>
12.1	Densidad	287
12.2	Presión en un fluido	288
12.3	Manómetros	290
12.4	Bombas de vacío	292



12.5	Principio de Arquímedes	294
*12.6	Fuerzas contra un dique	297
12.7	Tensión superficial	298
12.8	Diferencia de presión entre las caras de una película superficial	302
*12.9	Angulo de contacto y capilaridad	303
<b>13</b>	<b>Dinámica de fluidos</b>	<b>313</b>
13.1	Introducción	313
13.2	Ecuación de continuidad	315
13.3	Ecuación de Bernouilli	315
13.4	Aplicaciones de la ecuación de Bernouilli	318
13.5	Viscosidad	323
13.6	Ley de Poiseuille	325
13.7	Ley de Stokes	328
13.8	Número de Reynolds	329
<b>14</b>	<b>Temperatura y expansión</b>	<b>336</b>
14.1	Concepto de temperatura	336
14.2	Termómetros	338
14.3	Definición de una escala de temperatura	340
14.4	Escala Celsius, Rankine y Fahrenheit	342
14.5	Dilatación térmica	343
*14.6	Esfuerzos térmicos	347
<b>15</b>	<b>Cantidad de calor</b>	<b>353</b>
15.1	Transferencia del calor	353
15.2	Cantidad de calor	354
15.3	Capacidad calorífica	355
15.4	Valores experimentales de las capacidades caloríficas	358
15.5	Cambios de fase	359
15.6	Ejemplos	363
<b>16</b>	<b>Transferencia del calor</b>	<b>370</b>
16.1	Conducción	370
*16.2	Flujo calorífico radial	375
16.3	Convección	376
16.4	Radiación	379
16.5	Ley de Stefan-Boltzmann	379
16.6	El emisor ideal	381
<b>17</b>	<b>Propiedades térmicas de la materia</b>	<b>387</b>
17.1	Ecuaciones de estado	387
17.2	El gas ideal	388
17.3	Superficie $pVT$ para un gas ideal	392
*17.4	Superficie $pVT$ para una sustancia real	393
17.5	Diagramas de fases	395
17.6	Punto triple y punto crítico	397

17.7	Presión de vapor	399
*17.8	Humedad	400
17.9	Cámara de burbujas	402
<b>18</b>	<b>La primera ley de la termodinámica</b>	<b>407</b>
18.1	La energía y el trabajo en termodinámica	407
18.2	El trabajo en los cambios de volumen	408
18.3	Calor en los cambios de volumen	410
18.4	Energía interna	411
18.5	Proceso adiabático	413
18.6	Proceso isocoro	413
18.7	Proceso isoterma	414
18.8	Proceso isobárico	414
18.9	Proceso de estrangulación	415
18.10	Forma diferencial de la primera ley	416
18.11	Energía interna de un gas ideal	416
18.12	Capacidades caloríficas de un gas ideal	417
18.13	Proceso adiabático de un gas ideal	420
<b>19</b>	<b>La segunda ley de la termodinámica</b>	<b>427</b>
19.1	Motores térmicos	427
19.2	Motores de combustión interna	429
19.3	Máquinas de vapor	432
19.4	El frigorífico	432
19.5	Segunda ley de la termodinámica	434
19.6	Ciclo de Carnot	436
*19.7	Escala Kelvin de temperaturas	441
*19.8	Cero absoluto	442
*19.9	Entropía	443
*19.10	La entropía y la segunda ley	445
*19.11	Conversión de la energía	447
<b>20</b>	<b>Propiedades moleculares de la materia</b>	<b>451</b>
20.1	Teoría molecular de la materia	451
20.2	Número de Avogadro	453
20.3	Propiedades de la materia	454
20.4	Teoría cinética de un gas ideal	455
20.5	Capacidad calorífica molar de un gas	460
*20.6	Distribución de las velocidades moleculares	461
20.7	Cristales	463
*20.8	Capacidad calorífica de un cristal	465
<b>21</b>	<b>Ondas mecánicas</b>	<b>470</b>
21.1	Introducción	470
21.2	Ondas periódicas	471
21.3	Descripción matemática de una onda	474
21.4	Cálculo de la velocidad de una onda transversal	477
21.5	Velocidad de una onda longitudinal	480

21.6	Carácter adiabático de una onda longitudinal	482
*21.7	Ondas en el agua	484
<b>22</b>	<b>Vibraciones en los cuerpos</b>	<b>491</b>
22.1	Condiciones en la frontera de una cuerda	491
22.2	Superposición y ondas estacionarias	492
22.3	Vibración de una cuerda fija por ambos extremos	495
22.4	Ondas estacionarias longitudinales	497
22.5	Vibraciones de los tubos de órgano	498
*22.6	Vibraciones de varillas y placas	500
22.7	Interferencia de ondas longitudinales	501
22.8	Resonancia	503
<b>23</b>	<b>Fenómenos acústicos</b>	<b>507</b>
23.1	Ondas sonoras	507
23.2	Intensidad	509
23.3	Nivel de intensidad y sonoridad	510
23.4	Timbre y tono	512
*23.5	Intervalos musicales y escalas	513
23.6	Pulsaciones	515
*23.7	El efecto Doppler	517
*23.8	Radiación de un pistón	521
23.9	Aplicaciones de los fenómenos acústicos	524
 <b>PARTE II ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO, LUZ, Y FÍSICA ATÓMICA</b>		
<b>24</b>	<b>Ley de Coulomb</b>	<b>531</b>
24.1	Cargas eléctricas	531
24.2	Estructura atómica	532
24.3	Conductores y aisladores	534
24.4	Carga por inducción	534
24.5	Ley de Coulomb	536
24.6	Interacciones eléctricas	541
<b>25</b>	<b>El campo eléctrico; ley de Gauss</b>	<b>545</b>
25.1	El campo eléctrico	545
25.2	Cálculo del campo eléctrico	550
25.3	Líneas de campo	556
25.4	Ley de Gauss	558
25.5	Aplicaciones de la ley de Gauss	562
<b>26</b>	<b>Potencial</b>	<b>574</b>
26.1	Energía potencial eléctrica	574
26.2	Potencial	577
26.3	Cálculo de diferencias de potencial	581



26.4	Superficies equipotenciales	584
26.5	Gradiente de potencial	586
26.6	Experimento de Millikan de la gota de aceite	588
26.7	El electronvolt	590
*26.8	El osciloscopio de rayos catódicos	591
<b>27</b>	<b>Capacidad. Propiedades de los dieléctricos</b>	<b>599</b>
27.1	Capacitores	599
27.2	Capacitor de placas paralelas	600
27.3	Capacitores en serie y en paralelo	602
27.4	Energía de un capacitor cargado	605
*27.5	Efecto de un dieléctrico	607
*27.6	Teoría molecular de las cargas inducidas	611
*27.7	Polarización y desplazamiento	614
<b>28</b>	<b>Corriente eléctrica, resistencia y fuerza electromotriz</b>	<b>621</b>
28.1	Corriente eléctrica	621
28.2	Resistividad	624
28.3	Resistencia	626
28.4	Fuerza electromotriz	628
28.5	Relaciones corriente-voltaje	636
28.6	Trabajo y potencia en circuitos eléctricos	639
28.7	Efectos fisiológicos de las corrientes	642
*28.8	El campo eléctrico terrestre	643
*28.9	Teoría de la conducción metálica	644
<b>29</b>	<b>Circuitos e instrumentos de corriente continua</b>	<b>651</b>
29.1	Resistores en serie y en paralelo	651
29.2	Reglas de Kirchhoff	654
29.3	Amperímetros y voltímetros	657
29.4	El ohmmímetro	661
*29.5	Circuito en serie $R$ - $C$	662
*29.6	Corriente de desplazamiento	665
<b>30</b>	<b>El campo magnético</b>	<b>675</b>
30.1	Magnetismo	675
30.2	El campo magnético	676
30.3	Líneas del campo magnético; flujo magnético	680
30.4	Movimiento de partículas cargadas en campos magnéticos	681
30.5	La medida de $e/m$ realizada por Thomson	683
*30.6	Isótopos y espectroscopia de masas	685
<b>31</b>	<b>Fuerzas magnéticas sobre conductores con corriente</b>	<b>691</b>
31.1	Fuerza sobre un conductor	691
31.2	El efecto Hall	692
31.3	Fuerza y torque sobre un circuito completo	694
31.4	Galvanómetro de bobina móvil	698

*31.5	Motor de corriente continua	699
*31.6	Bomba electromagnética	701
<b>32</b>	<b>Campo magnético de una corriente</b>	<b>706</b>
32.1	Fuentes de campo magnético	706
32.2	Campo magnético de una carga móvil	706
32.3	Campo magnético de un elemento de corriente. Ley de Biot	709
32.4	Campo magnético de un conductor rectilíneo largo	710
32.5	Fuerza entre conductores paralelos; el ampere	712
32.6	Campo magnético de una espira circular	714
32.7	Ley de Ampère	716
32.8	Aplicaciones de la ley de Ampère	718
32.9	Campos magnéticos y corrientes de desplazamiento	721
<b>33</b>	<b>Fuerza electromotriz inducida</b>	<b>729</b>
33.1	Fuerza electromotriz cinética	729
33.2	Ley de Faraday	735
33.3	Campos eléctricos inducidos	739
33.4	Ley de Lenz	741
33.5	Corrientes en torbellino	743
<b>34</b>	<b>Inductancia</b>	<b>751</b>
34.1	Inductancia mutua	751
34.2	Autoinductancia	753
34.3	Energía en un inductor	755
34.4	Circuito $R-L$	756
34.5	Circuito $L-C$	759
34.6	Circuito $R-L-C$	761
<b>35</b>	<b>Propiedades magnéticas de la materia</b>	<b>768</b>
35.1	Materiales magnéticos	768
35.2	Permeabilidad magnética	769
35.3	Teoría molecular del magnetismo	771
*35.4	Magnetización e intensidad magnética	772
*35.5	Ferromagnetismo	776
*35.6	Dominios magnéticos	777
*35.7	Histéresis	778
*35.8	El campo magnético terrestre	780
<b>36</b>	<b>Corrientes alternas</b>	<b>784</b>
36.1	Introducción	784
36.2	Circuitos que contienen resistencia, inductancia o capacitancia	785
36.3	Circuito en serie $R-L-C$	789
36.4	Valor medio y valor eficaz; instrumentos de corriente alterna	792
36.5	Potencia en los circuitos de corriente alterna	795
36.6	Resonancia de los circuitos en serie	797
36.7	Circuitos en paralelo	799
*36.8	Transformador	800



<b>37</b>	<b>Ondas electromagnéticas</b>	<b>807</b>
37.1	Introducción	807
*37.2	Velocidad de una onda electromagnética	809
37.3	Energía de las ondas electromagnéticas	812
*37.4	Ondas electromagnéticas en la materia	815
37.5	Ondas sinusoidales	815
37.6	Ondas estacionarias	817
*37.7	Radiación de una antena	819
<b>38</b>	<b>Naturaleza y propagación de la luz</b>	<b>823</b>
38.1	Naturaleza de la luz	823
38.2	Fuentes luminosas	824
38.3	Velocidad de la luz	825
38.4	El espectro electromagnético	827
38.5	Ondas, frentes de onda y rayos	828
38.6	Reflexión y refracción	829
38.7	Reflexión total interna	834
38.8	Principio de Huygens	836
38.9	Dispersión	839
*38.10	Absorción	840
*38.11	Iluminación	842
<b>39</b>	<b>Imágenes formadas por una sola superficie</b>	<b>849</b>
39.1	Introducción	849
39.2	Reflexión en una superficie plana	850
39.3	Reflexión en un espejo esférico	852
39.4	Foco y distancia focal	858
39.5	Métodos gráficos	859
39.6	Refracción en una superficie plana	861
39.7	Refracción en una superficie esférica	863
39.8	Resumen	866
<b>40</b>	<b>Lentes e instrumentos ópticos</b>	<b>870</b>
40.1	Las imágenes como objetos	870
40.2	La lente delgada	871
40.3	Lentes divergentes	875
40.4	Métodos gráficos	876
40.5	Imágenes como objetos para las lentes	878
*40.6	Aberraciones de las lentes	878
40.7	El ojo	880
*40.8	Defectos de la visión	882
40.9	La lupa	883
40.10	La cámara fotográfica	884
40.11	El proyector	885
40.12	El microscopio compuesto	887
40.13	Telescopios	888

<b>41</b>	<b>Interferencia y difracción</b>	<b>896</b>
41.1	Interferencia y fuentes coherentes	896
41.2	Experimentos de Young y de Pohl	899
*41.3	Distribución de intensidad en las franjas de interferencia	902
41.4	Interferencias en láminas delgadas. Anillos de Newton	904
41.5	Depósitos delgados sobre vidrio	908
*41.6	Interferómetro de Michelson	909
41.7	Difracción de Fresnel	912
41.8	Difracción de Fraunhofer por una sola rendija	915
41.9	Red de difracción	920
*41.10	Difracción de los rayos X por un cristal	923
*41.11	Poder de resolución de los instrumentos ópticos	924
*41.12	Holografía	926
<b>42</b>	<b>Polarización</b>	<b>933</b>
42.1	Polarización	933
42.2	Ley de Malus y porcentaje de polarización	935
42.3	Polarización por reflexión	937
*42.4	Doble refracción	939
42.5	Polarizadores	940
*42.6	Esparcimiento de la luz	941
42.7	Polarización circular y elíptica	943
42.8	Análisis óptico de esfuerzos	945
42.9	Actividad óptica	946
<b>43</b>	<b>Mecánica relativista</b>	<b>951</b>
43.1	Invarianza de las leyes de la física	951
43.2	Naturaleza relativa de la simultaneidad	953
43.3	Relatividad del tiempo	954
43.4	Relatividad de la longitud	957
*43.5	La transformación de Lorentz	959
43.6	Momento lineal	962
43.7	Trabajo y energía	963
43.8	Relatividad y mecánica newtoniana	965
<b>44</b>	<b>Fotones, electrones y átomos</b>	<b>971</b>
44.1	Emisión y absorción de la luz	971
44.2	Emisión termoiónica	972
44.3	Efecto fotoeléctrico	975
44.4	Espectros de líneas	978
44.5	Niveles de energía	980
44.6	Espectros atómicos	982
44.7	El láser	984
44.8	Producción y esparcimiento de rayos X	986
<b>45</b>	<b>Mecánica cuántica</b>	<b>995</b>
45.1	El átomo de Bohr	995
45.2	Naturaleza ondulatoria de las partículas	1000

45.3	Microscopio electrónico	1002
*45.4	Probabilidad e incertidumbre	1003
*45.5	Funciones de onda	1007
45.6	Espín del electrón	1010
<b>46</b>	<b>Átomos, moléculas y sólidos</b>	<b>1015</b>
46.1	El principio de exclusión	1015
46.2	Estructura atómica	1017
46.3	Moléculas diatómicas	1019
46.4	Espectros moleculares	1021
46.5	Estructura de los sólidos	1023
46.6	Propiedades de los sólidos	1026
46.7	Semiconductores	1027
46.8	Dispositivos semiconductores	1029
<b>47</b>	<b>Física nuclear</b>	<b>1034</b>
47.1	El átomo nuclear	1034
47.2	Propiedades de los núcleos	1036
47.3	Radiactividad natural	1040
47.4	Estabilidad nuclear	1043
47.5	Transformaciones radiactivas	1045
47.6	Reacciones nucleares	1048
47.7	Aceleradores de partículas	1050
47.8	Fisión nuclear	1053
47.9	Fusión nuclear	1055
47.10	Partículas fundamentales	1057
*47.11	Física de altas energías	1060
47.12	La radiación y las ciencias biológicas	1064
<b>Apéndices</b>		
<b>A</b>	Sistema Internacional de Unidades	1069
<b>B</b>	Relaciones matemáticas útiles	1072
<b>C</b>	El alfabeto griego	1074
<b>D</b>	Funciones trigonométricas naturales	1075
<b>E</b>	Tabla periódica de los elementos	1076
<b>F</b>	Factores de conversión de unidades	1077
<b>G</b>	Constantes numéricas	1079
<b>Respuestas a los problemas impares</b>		<b>1081</b>
<b>Índice de tablas</b>		<b>1093</b>
<b>Índice de materias</b>		<b>1095</b>