

Contenido

Prefacio	VII
Objetivo del libro	VII
Cómo usar este libro	VIII
A mis colegas	XI
Encuadre filosófico	XI
Enfoque pedagógico adoptado en este libro	XII
Aprendizaje por inmersión en la física	XII
Agradecimientos	XV

Capítulo 1

Rol del laboratorio en el aprendizaje de las ciencias	1
1.1 ¿Por qué hacemos experimentos?	2
1.2 Redacción de informes de laboratorio	5
1.3 Seguridad en el laboratorio	5
Referencias	6

Capítulo 2

Introducción al análisis gráfico	7
2.1 Representación gráfica de resultados	8
2.2 Elección de las variables	10
2.3 Relación lineal	10
2.4 Relación potencial	10
2.5 Relación exponencial	13
2.6 Transformación de variables - pseudovariables	15
2.7 Sugerencias para generar gráficos	15
Ejercicios y problemas	17
Referencias	21

Capítulo 3

Actividades de análisis gráfico	23
3.1 Leyes de escala	24
3.2 Análisis de resultados experimentales	26
Referencias	37

Capítulo 4

Errores de medición - Incertidumbre del resultado de una medición	39
4.1 Introducción	40
4.2 Sensibilidad, precisión y exactitud	43
4.3 Fuente de errores	44
4.3.1 Errores introducidos por el instrumento	44
4.4 Clasificación de los errores	45
4.5 Cifras significativas	46
4.6 Determinación de los errores de medición	47
4.7 Nonio, vernier o calibre	48
Ejercicios y problemas	50
Referencias	52

Capítulo 5

Tratamiento estadístico de datos	53
5.1 Introducción	54
5.2 Histogramas y distribución estadística	54
5.3 Parámetros de localización de una distribución	56
5.4 Parámetros estadísticos de dispersión- desviación estándar	58
5.4.1 Distribución normal o gaussiana	58
5.5 Magnitud que se mide N veces	59
5.6 Número óptimo de mediciones	61
5.6.1 Decálogo práctico	62
5.7 ♣Combinación de mediciones independientes	62
5.8 Discrepancia	63
Ejercicios y problemas	65
Histogramas	66
Objetivo	66
Introducción	66
Referencias	67

Capítulo 6

Mediciones indirectas	69
6.1 Introducción - Propagación de incertidumbres	70
6.2 Truncamiento de números	72
6.3 Elección de los instrumentos	73
6.4 ♣♣Propagación de incertidumbres con variables correlacionadas	74
Ejercicios y problemas	76
Referencias	78

Capítulo 7

Métodos cuantitativos y regresión lineal	79
7.1 Métodos cuantitativos y regresión lineal	80
7.1.1 Correlación y causalidad	84
7.1.2 Incerteza en los parámetros de ajuste	84
7.1.3 La navaja de Occam o criterio de parsimonia	85
Ejercicios y problemas	88
Referencias	91

Capítulo 8

Experimentos simples de metrología y análisis de datos. I - Medición de densidades	93
8.1 Principio de Arquímedes	94
8.2 Viaje al interior de la Tierra	98
Referencias	100

Capítulo 9

Experimentos introductorios de mecánica	101
9.1 Introducción	102
9.2 Experimento de caída libre: Física aristotélica	105
9.3 Experimento	106

Anexo A. Ecuación de movimiento del péndulo simple	112
Referencias	114
Capítulo 10	
La cámara digital como instrumento de medición en el laboratorio	115
10.1 Introducción	116
10.2 Formas geométricas formadas por la sombra de una lámpara	119
10.3 Fuerza viscosa en el aire	122
Anexo A. Régimen laminar y turbulento	128
Anexo B. Movimiento de caída en un medio fluido con roce proporcional a v^2	130
Referencias	131
Capítulo 11	
La tarjeta de sonido de una PC como instrumento de medición	133
11.1 Tarjeta de sonido de las computadoras personales	134
11.2 Ondas sonoras	137
11.3 Actividad	140
Referencias	142
Capítulo 12	
Medir el Sistema Solar desde el aula	143
12.1 Introducción	144
Anexo A. Trayectoria de un rayo de luz en la atmósfera	159
Anexo B. Períodos de la Luna	160
Referencias	162
Capítulo 13	
Sistemas elásticos - Ley de Hooke	163
13.1 Ley de Hooke	164
Referencias	168
Capítulo 14	
Leyes de Newton y fuerza de rozamiento	169
14.1 Fuerza de roce seco de Coulomb	170
Anexo A. Estudio del movimiento del sistema de dos cuerpos con roce seco	173
Referencias	174
Capítulo 15	
Oscilaciones libres y amortiguadas	175
15.1 Introducción	176
15.2 Oscilaciones libres	176
15.3 Oscilaciones amortiguadas	177
Anexo A. Caso de fuerzas de roce dependiente del cuadrado de la velocidad - Roce turbulento	181
● Oscilador armónico con fuerza de roce turbulento	182
Referencias	184
Capítulo 16	
Péndulos físicos	185
16.1 Introducción	186
16.1.1 Período para pequeñas amplitudes	187
16.1.2 Ejercicios preliminares	188
16.2 Péndulo no intuitivo	189
16.2.1 Ejercicios preliminares	190
16.3 Péndulo reversible de Kater	191
Anexo A. Período de un péndulo simple para grandes amplitudes	194
Referencias	195
Capítulo 17	
Péndulo cicloidal - Braquistócrona y tautócrona	197
17.1 Introducción	198
17.2 Evolutas e involutas	200
17.3 Arreglo experimental	201
Referencias	205
Capítulo 18	
Oscilaciones forzadas - Resonancia	207
18.1 Introducción	208
Referencias	213
Capítulo 19	
Cadenas colgantes - Catenarias y parábolas	215
19.1 Introducción	216
19.1.1 Ejercicios preliminares	219
Referencias	221
Capítulo 20	
Propiedades elásticas de los materiales - Módulo de rigidez - Flexión de barras	223
20.1 Propiedades eléctricas de los materiales	224
20.2 ♣ Flexión de barras - Teoría de Euler-Bernoulli	228
20.2.1 ♣ Barra empotrada con un extremo libre	229
20.2.2 Viga de peso despreciable empotrada con un extremo libre que sostiene un peso P	229
20.2.3 Viga con carga distribuida uniformemente y empotrada un extremo libre	231
20.3 ♣ Vibraciones de una barra	231
20.3.1 ♣ Vibraciones de una barra con un extremo libre	232
20.3.2 ♣ Vibraciones de una barra con ambos extremos libres	233
Anexo A	238
Anexo B. Momentos areales para distintas secciones transversales	239
Referencias	240

Capítulo 21	
Dinámica de una cadena en movimiento	241
21.1 Cadena colgante del borde de una mesa o a través de un tubo	242
21.2 Cadena en caída vertical - Estudio del movimiento de un saltador <i>bungee</i>	245
Referencias	250
Capítulo 22	
Sistemas mecánicos de masa variable - Materiales granulares	251
22.1 Materiales granulares	252
22.2 Flujo de materiales granulares	252
22.3 Divertimento: Experimento de la taza y la llave	259
Anexo A. Máquina de Atwood con masas constantes	262
Anexo B. Máquina de Atwood con masa variable	263
Anexo C. Oscilador de masa variable	265
Referencias	269
Capítulo 23	
Estabilidad de las rotaciones - Una paradoja divertida	271
23.1 Introducción	272
23.2 Modelo simplificado - Sistemas rotantes no inerciales	273
23.3 Arreglo experimental	275
Anexo A. ♣♣ Descripción teórica de una barra en rotación	277
Referencias	279
Capítulo 24	
Circuitos simples de corriente - Ley de Ohm	281
24.1 Dependencia de la corriente con la tensión - Ley de Ohm	282
24.2 Construcción de un divisor de tensión	283
Ejercicio preliminar:	285
24.3 Curva V-I usando un sistema de adquisición conectado a una PC	287
24.4 Entradas en modo común y diferenciales	288
24.5 Circuitos equivalentes de una fuente - Teoremas de Thévenin y Norton	290
Anexo A. ♣ Resistencia interna de voltímetros y amperímetros	292
Referencias	294
Capítulo 25	
Redes de resistencias	295
25.1 Introducción	296
25.2 Redes de resistencias en 1D - Relación de Fibonacci	296
25.3 Redes de resistencias en 2D	298
25.3.1 Modelo teórico	299
Referencias	300
Capítulo 26	
Puente de Wheatstone	301
26.1 Introducción	302
26.2 Puente de hilo	306
26.2.1 Precisión del puente de hilo	307
26.2.2 ♣ Incertidumbres en las mediciones con puente de hilo	307
Preguntas de evaluación	308
Referencias	309
Capítulo 27	
Medición de resistencias a cuatro puntas o método de Kelvin	311
27.1 Determinación de resistencias de bajo valor	312
27.2 Método de las cuatro puntas o método de Kelvin	312
27.3 Medición de la resistividad de una muestra de geometría simple - caso 1D	315
27.4 Determinación de la resistividad de una muestra bidimensional	316
27.5 Método de van der Pauw - Transresistencias - Muestra plana	319
27.6 ♣ Muestra tridimensional grande, método de Wenner	321
Referencias	322
Capítulo 28	
Variación de la resistencia eléctrica con la temperatura	325
28.1 Introducción	326
28.2 Modelo simple de conducción en sólidos	326
Preguntas	330
Anexo A. ♣ Modelo simple de conducción en semiconductores	330
Referencias	331
Capítulo 29	
Conducción en líquidos - Estimación de la carga del electrón	333
29.1 Modelo simple de conducción en líquidos - Electrólisis	334
Referencias	337

Capítulo 30	
Condensadores y dieléctricos	339
30.1 Introducción	340
30.2 Capacímetros	341
Referencias	345
Capítulo 31	
Circuito RC	347
31.1 Circuito RC	348
31.2 Circuito RC excitado - Respuesta forzada	354
Anexo A. Determinación de la diferencia de fases entre dos señales	355
Referencias	357
Capítulo 32	
Fuerza de Lorentz y Ley de Ampère	359
32.1 Fuerza entre dos espiras circulares	360
Referencias	363
Capítulo 33	
Ley de Ampère y de Biot-Savart	365
33.1 Introducción	366
33.2 Sensor de efecto Hall	369
Referencias	374
Capítulo 34	
Ley de inducción de Faraday - Inducción mutua	375
34.1 Introducción	376
Referencias	384
Capítulo 35	
Autoinducción y circuito RL	385
35.1 Introducción	386
35.2 Autoinducción	386
35.3 Circuito RL - Respuesta transitoria	388
35.4 Circuito RL conectado a una fuente alterna	390
Estimación del valor de la autoinductancia de una espira circular	392
Anexo A. Estimación del valor de la autoinductancia de una bobina	391
Referencias	392
Capítulo 36	
Física de la caída de un imán permanente por un tubo	393
36.1 Introducción	394
36.2 Oscilación de un imán permanente en un campo uniforme	394
36.3 Determinación del momento magnético de un imán permanente	395
36.4 Pulsos inducidos por un imán al atravesar una espira	397
36.5 Caída de un imán por un tubo conductor	400
Referencias	403
Capítulo 37	
Campos y potenciales electrostáticos - Ecuación de Laplace	405
37.1 Introducción	406
37.2 Resolución numérica de la ecuación de Laplace, método de relajación	409
37.3 Condiciones de borde de Dirichlet y Neumann	410
Preguntas	413
Referencias	414
Capítulo 38	
Oscilaciones libres y forzadas de un circuito RLC	415
38.1 Oscilaciones libres	416
38.2 Diagrama de fase	417
38.3 Oscilaciones forzadas	418
38.4 Reactancias e impedancias complejas	420
38.5 ♣♣♣ Sistemas lineales	424
Referencias	427
Capítulo 39	
Circuitos acoplados	429
39.1 ♣♣♣ Oscilaciones acopladas: Circuitos RLC acoplados libres	430
39.2 ♣♣♣ Circuitos RLC acoplados forzados	432
Referencias	442
Capítulo 40	
Corrientes de Foucault o corrientes parásitas - Campos cuasiestacionarios en conductores	445
40.1 Introducción	446
40.2 ♣♣♣ Campos electromagnéticos cuasiestacionarios en conductores	446
40.3 Apantallamiento electromagnético - Simetría cilíndrica	448
40.4 Efecto piel o pelicular	456
Anexo A. Teoría del efecto piel o pelicular	463
Anexo B. Funciones de Bessel	465
Referencias	466
Capítulo 41	
Ondas estacionarias en una dimensión	467
41.1 Ondas estacionarias en una cuerda	468
41.2 Ondas estacionarias en tubos (Tubo de Kuntz)	470
Anexo A. Accionador mecánico de frecuencia variable	475
Anexo B. Ondas de presión	476
Referencias	477

Capítulo 42	
Interferencia de ondas acústicas - Batido	479
42.1 Principio de superposición	480
42.2 Batido	480
Referencias	484
Capítulo 43	
Caja cuadrada - Resonadores de Helmholtz	485
43.1 Ondas estacionarias en una caja cuadrada	486
43.2 Resonancia de una botella - Resonador de Helmholtz	489
Referencias	493
Capítulo 44	
Ondas de ultrasonidos	495
44.1 Ultrasonido	496
44.2 Par ultrasónico	497
44.3 Propiedades físicas de las ondas de ultrasonido	498
Reflexión de ondas	499
Referencias	501
Capítulo 45	
Efecto Doppler	503
45.1 Efecto Doppler - Introducción	504
45.2 Fuente en movimiento circular	506
Referencias	511
Capítulo 46	
Experimentos de óptica geométrica	513
46.1 Óptica geométrica- Leyes de la reflexión y refracción	514
46.2 Lentes delgadas	517
Referencias	523
Capítulo 47	
Experimentos de óptica física	525
47.1 Difracción e interferencia de la luz. La luz como fenómeno ondulatorio	526
47.2 Determinación de intensidad de un patrón	530
47.3 Polarización - Ley de Malus	533
Referencias	535
Capítulo 48	
Tensión superficial	537
48.1 Fuerzas de cohesión y adhesión	538
48.2 Ascenso capilar	539
Referencias	545
Capítulo 49	
Experimentos con fluidos - Experimento de Torricelli	547
49.1 Fluidos ideales y teorema de Bernoulli	548
49.2 Fluidos viscosos	548
49.3 Experimento de Torricelli	551
Anexo A. Tiempo de evacuación de un recipiente	557
Anexo B. Vena contracta	558
Anexo C. ♣♣♣ Teorema de Torricelli, modelo teórico	559
Referencias	562
Capítulo 50	
Termometría - Sensores de temperatura	563
50.1 Termómetros - Sensores de temperatura	564
Referencias	570
Capítulo 51	
Dilatación térmica de sólidos	571
51.1 Dilatación térmica	572
Referencias	574
Capítulo 52	
Experimentos de enfriamiento de un cuerpo - Decaimiento exponencial	575
52.1 Propagación del calor	576
52.2 Enfriamiento de un cuerpo	576
Referencias	580
Capítulo 53	
Conservación de la energía y calorimetría	581
53.1 Conservación de la energía - Primer Principio de la Termodinámica	582
53.2 Equivalente en agua del calorímetro	583
53.3 Transiciones de fases	587
Referencias	593
Capítulo 54	
Gases ideales - Determinación del peso molecular	595
54.1 Gases ideales	596
Referencias	602
Capítulo 55	
Teoría cinética de los gases - Relación de calores específicos para gases ideales	603
55.1 Teoría cinética y capacidad calorífica de gases ideales	604
55.2 Experimento de Clement-Desormes	605
55.3 Experimento de Rüchardt	608
Referencias	613
Capítulo 56	
Conducción y convección térmica - Ondas de calor	615
56.1 Temperaturas del pasado	616

56.2 Transmisión de calor	618	62.2 Coeficientes de absorción - Áreas de fotopicos	681
56.3 Ondas de calor en una dimensión	620	Referencias	685
56.3.1 Modelo I	620	Capítulo 63	
56.3.2 ♣♣ Ondas térmicas. Modelo II (tema opcional)	624	Vida media del ^{40}K - Nucleosíntesis	687
56.4 Barra con enfriamiento lateral - Convección	629	63.1 Nucleosíntesis	688
Anexo A. Propiedades térmicas de materiales	632	63.2 Espectroscopía de rayos gamma	690
Referencias	633	63.3 Eficiencia de un detector de rayos gamma	690
Capítulo 57		63.4 Determinación de vidas medias largas	691
Difusión	635	Referencias	694
57.1 Leyes de Fick de la difusión	636	Capítulo 64	
57.2 Difusión en una y dos dimensiones	637	Determinación de la banda de energía prohibida de semiconductores	695
57.3 Difusión en agua	638	64.1 Banda de energía prohibida de semiconductores	696
Referencias	642	64.2 Diodos semiconductores	696
Capítulo 58		Referencias	700
Experimento de Michelson	643	Capítulo 65	
58.1 El interferómetro de Michelson	644	Capacidad calorífica de un sólido a bajas temperaturas - Modelos de Einstein y de Debye	701
Referencias	650	65.1 Capacidad calorífica de un sólido a bajas temperaturas	702
Capítulo 59		65.2 Efecto Leidenfrost	708
Materiales ferromagnéticos - Transiciones de fase	651	Referencias	710
59.1 Materiales ferromagnéticos y ferrimagnéticos	652	Capítulo 66	
59.2 Curva de histéresis	653	Estimación de la constante solar, la luminosidad del Sol y la atenuación de la luz en la atmósfera	711
59.3 Determinación de la curva de histéresis	654	66.1 La luminosidad del Sol y la constante solar	712
Anexo A. Número de vueltas de las bobinas del toroide	659	66.2 Extinción de la luz en la atmósfera	713
Anexo B. Circuito integrador	660	66.3 Determinación de la irradiancia solar	716
Referencias	661	66.4 ♣ Calefacción de una placa expuesta al Sol	719
Capítulo 60		66.5 Máxima distancia de visibilidad en el aire, turbidez	722
Naturaleza estadística del decaimiento radioactivo	663	Anexo A. Fotómetros	726
60.1 Decaimientos radioactivos	664	Calibración	727
60.2 La distribución de Poisson	664	Referencias	728
Referencias	667	Apéndice A	
Capítulo 61		Pautas y sugerencias para la redacción de informes científico - técnicos	729
Dinámica relativista - Colisiones de fotones y electrones - Efecto Compton	669	A.1 Introducción	730
61.1 Cinemática relativista	670	A.2 Organización del informe - Formato	731
61.2 Interacción de la radiación con la materia. Efecto Compton	671	Encabezamiento del informe	731
61.3 Mecanismos de interacción de fotones en un detector de rayos gamma	673	Cuerpo del informe	731
Referencias	678	A.3 Comentarios adicionales	734
Capítulo 62		Ejemplo de informe técnico	736
Interacción de la radiación electromagnética con la materia	679	Resumen	736
62.1 Pasaje de la radiación electromagnética por la materia	680	Introducción	736
		Materiales y método, descripción del experimento	736

Resultados y discusión	736	C.1 Regresión lineal - Datos con errores	746
Conclusiones	737	C.2 Significación estadística de parámetros de un ajuste	749
Referencias	737	Referencias	750
Apéndice B		Apéndice D	
Normas y recomendaciones de seguridad en los laboratorios	739	Método de cuadrados mínimos - Caso no lineal	751
B.1 Introducción	740	D.1 Método de cuadrados mínimos en relaciones no lineales	752
B.2 Recomendaciones generales	740	D.2 Estimación de las incertidumbres de los parámetros del modelo	753
B.3 Cuidados y recomendaciones personales	740	D.3 Simulación de resultados experimentales - Método de Montecarlo	754
B.4 Recomendaciones generales para el uso de un láser	741	Referencias	755
B.5 Recomendaciones generales para usar líquidos criogénicos	741	Apéndice E	
B.6 Normas generales para usar productos químicos	742	Lock-in amplifier	757
B.7 Normas generales para usar sustancias radiactivas	742	E.1 El lock-in amplifier	758
Referencias	743	Referencias	761
Apéndice C		Índice temático	763
Correlación lineal - Significación de parámetros	745		