

Contenido

Prefacio	VII
Objetivo del libro	VII
Cómo usar este libro	VIII
A mis colegas	XI
Enquadre 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	Oscilador armónico con fuerza de roce turbulento.....	182
Referencias.....	114	Referencias.....	184
Capítulo 10		Capítulo 16	
La cámara digital como instrumento de medición en el laboratorio.....	115	Péndulos físicos.....	185
10.1 Introducción.....	116	16.1 Introducción.....	186
10.2 Formas geométricas formadas por la sombra de una lámpara.....	119	16.1.1 Período para pequeñas amplitudes.....	187
10.3 Fuerza viscosa en el aire.....	122	16.1.2 Ejercicios preliminares.....	188
Anexo A. Régimen laminar y turbulento.....	128	16.2 Péndulo no intuitivo.....	189
Anexo B. Movimiento de caída en un medio fluido con roce proporcional a v^2	130	16.2.1 Ejercicios preliminares.....	190
Referencias.....	131	16.3 Péndulo reversible de Kater.....	191
Capítulo 11		Anexo A. Período de un péndulo simple para grandes amplitudes.....	194
La tarjeta de sonido de una PC como instrumento de medición.....	133	Referencias.....	195
11.1 Tarjeta de sonido de las computadoras personales.....	134	Capítulo 17	
11.2 Ondas sonoras.....	137	Péndulo cicloidal - Braquistócrona y tautócrona.....	197
11.3 Actividad.....	140	17.1 Introducción.....	198
Referencias.....	142	17.2 Evolutas e involutas.....	200
Capítulo 12		17.3 Arreglo experimental.....	201
Medir el Sistema Solar desde el aula.....	143	Referencias.....	205
12.1 Introducción.....	144	Capítulo 18	
Anexo A. Trayectoria de un rayo de luz en la atmósfera.....	159	Oscilaciones forzadas - Resonancia.....	207
Anexo B. Períodos de la Luna.....	160	18.1 Introducción.....	208
Referencias.....	162	Referencias.....	213
Capítulo 13		Capítulo 19	
Sistemas elásticos - Ley de Hooke.....	163	Cadenas colgantes - Catenarias y parábolas.....	215
13.1 Ley de Hooke.....	164	19.1 Introducción.....	216
Referencias.....	168	19.1.1 Ejercicios preliminares.....	219
Capítulo 14		Referencias.....	221
Leyes de Newton y fuerza de rozamiento.....	169	Capítulo 20	
14.1 Fuerza de roce seco de Coulomb.....	170	Propiedades elásticas de los materiales - Módulo de rigidez - Flexión de barras.....	223
Anexo A. Estudio del movimiento del sistema de dos cuerpos con roce seco.....	173	20.1 Propiedades eléctricas de los materiales.....	224
Referencias.....	174	20.2 ♣ Flexión de barras - Teoría de Euler-Bernoulli.....	228
Capítulo 15		20.2.1 ♣ Barra empotrada con un extremo libre.....	229
Oscilaciones libres y amortiguadas.....	175	20.2.2 Viga de peso despreciable empotrada con un extremo libre que sostiene un peso P.....	229
15.1 Introducción.....	176	20.2.3 Viga con carga distribuida uniformemente y empotrada un extremo libre.....	231
15.2 Oscilaciones libres.....	176	20.3 ♣ Vibraciones de una barra.....	231
15.3 Oscilaciones amortiguadas.....	177	20.3.1 ♣ Vibraciones de una barra con un extremo libre.....	232
Anexo A. Caso de fuerzas de roce dependiente del cuadrado de la velocidad - Roce turbulento.....	181	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	<i>Lock-in amplifier</i>	757
B.7 Normas generales para usar sustancias radiactivas.....	742	E.1 El <i>lock-in amplifier</i>	758
Referencias	743	Referencias	761
Apéndice C		Índice temático	763
Correlación lineal – Significación de parámetros ..	745		