

CONTENIDO

PRÓLOGO	xvii
AGRADECIMIENTOS.....	xxiii
MÓDULO I - CONCEPTOS BÁSICOS DE METROLOGÍA Y TEORÍA DE ERRORES	1
CAPÍTULO 1 - METROLOGÍA - INCERTIDUMBRES DE MEDICIÓN - ERRORES	3
Introducción	3
Precisión y exactitud.....	5
Fuentes de error	5
Clasificación de los errores	7
Cifras significativas	7
Referencias	8
Actividad 1 Órdenes de magnitud	9
Introducción	9
Proyecto - Tamaño molecular	9
Referencias.....	9
Actividad 2 Tiempo de reacción de una persona.....	10
Introducción	10
Proyecto - Tiempo de reacción frente a distintos estímulos	10
Referencias	11
CAPÍTULO 2 - TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS	13
Histogramas y distribución estadística.....	13
Magnitud que se mide N veces.....	16
Número óptimo de mediciones.....	17
Decálogo práctico	18
Combinación de mediciones independientes.....	19
Discrepancia, repetibilidad y reproducibilidad.....	19
Referencias	20
Actividad 3 Histogramas y estadística.....	21
Introducción	21
Proyecto 1 - Histograma obtenido artesanalmente	21
Proyecto 2 - Histogramas de mediciones usando fotointerruptores	22
Referencias.....	22
CAPÍTULO 3 - MEDICIONES INDIRECTAS	23
Propagación de incertidumbres	23
Elección de los instrumentos	26
Referencias	27
Actividad 4 Mediciones de longitudes y volúmenes - Propagación de errores	27
Proyecto 1 - Medición indirecta del volumen de un cuerpo regular	28
Proyecto 2 - Medición del volumen de un cuerpo de forma irregular	28

Actividad 5	Mediciones de masas y densidades.....	29
	Introducción	29
	Proyecto 1 - Construcción y calibración de una balanza usando un sensor de fuerzas	29
	Proyecto 2 - Determinación de la densidad del papel	30
	Proyecto 3 - Método de Arquímedes para determinar densidades I	30
	Proyecto 4 - Método de Arquímedes para determinar densidades II	31
	Proyecto 5 - Método de Arquímedes para determinar densidades III.....	33
	Proyecto 6 - Determinación de densidades usando un picnómetro	33
	Proyecto 7 - Estimación de la densidad de la Tierra.....	34
	Temas complementarios. Composición y origen de la Tierra	34
	Referencias.....	35
Actividad 6	Mediciones de tiempos	36
	Introducción	36
	Proyecto - Comparación de técnicas de medición de tiempos	36
CAPÍTULO 4 - MÉTODOS CUALITATIVOS DE ANÁLISIS GRÁFICO	.....	37
	Importancia de la representación gráfica	37
	Elección de las variables	37
	Relación lineal	38
	Función potencial	39
	Transformación de variables.....	40
	Elección de las escalas	42
	Aplicaciones de gráficos log-log	43
	Comparación de los distintos tipos de escalas	44
	La ley exponencial	46
	Diseño de gráficos	48
	Referencias	49
Actividad 7	Experimentos caseros.....	50
	Introducción	50
	Proyecto 1 - Crecimiento biológico. Isometría y alometría	50
	Proyecto 2 - Crecimiento de una especie hipotética	51
	Proyecto 3 - Un problema ecológico	52
	Proyecto 4 - Experimento en la mesa de la cocina. Gotas de aceite sobre agua.....	53
	Proyecto 5 - Péndulo de dos hilos	54
	Proyecto 6 - La geometría de bollitos de papel.....	55
	Proyecto 7 - Enfriamiento de un termómetro de mercurio. Decaimiento exponencial	57
	Referencias.....	58
CAPÍTULO 5 - MÉTODOS CUANTITATIVOS DE ANÁLISIS GRÁFICO	.....	59
	Método de cuadrados mínimos. Regresión lineal	59
	Precauciones en el análisis	62
	Referencias	63
Actividad 8	Leyes del péndulo	64
	Proyecto - Período del péndulo. Determinación de g	64
	Referencias.....	64
MÓDULO II - EXPERIMENTOS DE MECÁNICA	.....	65
Actividad 9	Movimiento uniformemente acelerado - Determinación de g.....	67
	Introducción	67
	Proyecto 1 - Estudio del movimiento en caída libre	67
	Proyecto 2 - Determinación de g	68
	Análisis detallado.....	68
	Referencias.....	70

Actividad 10	Introducción a la dinámica - Segunda ley de Newton..	71
	Introducción	71
	Proyecto 1 - Estudio preliminar. Medición de la aceleración de un móvil	71
	Proyecto 2 - Estudio dinámico. Segunda Ley de Newton.....	73
	Referencias	73
Actividad 11	Fuerza de rozamiento	77
	Introducción	77
	Proyecto 1 - Determinación del coeficiente de roce cinético μ_k	77
	Proyecto 2 - Determinación del coeficiente de roce estático μ_e	78
	Referencias	78
Actividad 12	Conservación de la energía mecánica	79
	Introducción	79
	Proyecto - Estudio de la conservación de la energía	80
	Referencias	80
Actividad 13	Conservación de la cantidad de movimiento en colisiones..	81
	Introducción	81
	Proyecto 1 - Estudio preliminar	81
	Proyecto 2 - Choque plástico	82
	Referencias	82
Actividad 14	Dinámica de sistemas en rotación	83
	Introducción	83
	Proyecto 1 - Estudio preliminar. Efecto del rozamiento	84
	Proyecto 2 - Dinámica del sistema sujeto a torques externos	84
	Referencias	85
Actividad 15	Ley de conservación del momento angular	85
	Introducción	85
	Proyecto - Estudio de la conservación de la energía y el momento angular	86
	Referencias	86
Actividad 16	Sistemas elásticos - Ley de Hooke	87
	Introducción	87
	Proyecto 1 - Propiedades elásticas de un resorte.	87
	Proyecto 2 - Propiedades elásticas de una banda elástica	88
	Proyecto 3 - Sistemas de resortes (o bandas elásticas) en serie y paralelo	88
	Referencias	89
Actividad 17	Movimiento oscilatorio armónico	90
	Introducción	90
	Proyecto 1 - Estudio del sistema oscilante	90
	Proyecto 2 - Oscilaciones amortiguadas	91
	Referencias	91
Actividad 18	Péndulo físico.....	93
	Introducción	93
	Proyecto 1 - Determinación del momento de inercia de un cuerpo usando un péndulo físico.....	95
	Proyecto 2 - Aplicaciones del método de Determinación del momento de inercia de una pieza mecánica	96
	Referencias	96
Actividad 19	Anillos oscilantes	97
	Introducción	97
	Proyecto - Estudio del sistema	98
	Referencias	98

Actividad 20	Péndulo goteador	99
	Introducción	99
	Proyecto - Período de oscilación del péndulo goteador	100
	Referencias	101
Actividad 21	Péndulo no intuitivo.....	102
	Introducción	102
	Proyecto - Determinación del período del péndulo.....	102
	Referencias.....	103
Actividad 22	Péndulo reversible de Kater	103
	Introducción	103
	Proyecto 1 - Realización estándar del péndulo de Kater.....	104
	Proyecto 2 - Otra realización del péndulo reversible	105
	Referencias	106
Actividad 23	Péndulo de varillas.....	106
	Introducción	106
	Proyecto - Período en función del largo de las varillas.....	107
	Referencias.....	108
Actividad 24	Péndulo interrumpido.....	109
	Introducción	109
	Proyecto 1 - El péndulo como superposición de dos péndulos de distintas longitudes	110
	Proyecto 2 - Conservación de la energía	110
	Referencias	111
MÓDULO III - EXPERIMENTOS DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO		113
Actividad 25	Campos y potenciales electrostáticos - Ecuación de Laplace	115
	Introducción	115
	Proyecto 1 - Análisis semi-cuantitativo	118
	Proyecto 2 - Análisis cuantitativo. Método de relajación I	119
	Proyecto 3 - Análisis cuantitativo. Método de relajación II	120
	Referencias	120
Actividad 26	Circuitos de corriente continua	121
	Proyecto 1 - Construcción de un divisor de tensión	121
	Proyecto 2 - Determinación de la característica voltaje-corriente de un conductor metálico. Ley de Ohm	122
	Proyecto 3 - Resistencias en serie y paralelo. Uso de un óhmetro	124
	Proyecto 4 - Determinación de las características voltaje-corriente usando un sistema de adquisición de datos	124
	Proyecto 5 - Puente de Wheatstone	125
	Proyecto 6 - Redes de resistencias construidas con trazos de grafito	127
	Referencias	128
Actividad 27	Conducción en líquidos - Estimación de la carga del electrón	129
	Introducción	129
	Proyecto 1 - Conductividad de un líquido I. Estudio semicuantitativo.....	131
	Proyecto 2 - Conductividad de un líquido II. Relación voltaje-corriente	131
	Proyecto 3 - Conductividad de un líquido III. Efecto de la temperatura	131
	Proyecto 4 - Electrólisis y carga del electrón	132
	Referencias	132
Actividad 28	Teoremas de Thévenin y Norton	133
	Introducción	133
	Proyecto - Modelo de una fuente	133
	Referencias	134

Actividad 29	Variación de la resistencia con la temperatura	135
	Introducción	135
	Proyecto - Dependencia de la resistencia con la temperatura	136
	Referencias	138
Actividad 30	Capacitores y dieléctricos	139
	Introducción	139
	Proyecto 1 - Variación de la capacidad con la geometría	140
	Proyecto 2 - Variación de la capacidad por la presencia de un medio dieléctrico	140
	Referencias	141
Actividad 31	Circuito RC	141
	Proyecto 1 - Carga y descarga de un capacitor usando un sistema de adquisición de datos conectado a una PC	141
	Proyecto 2 - Circuito RC. Respuesta estacionaria con señal de excitación cuadrada	142
	Proyecto 3 - Circuito RC. Respuesta estacionaria con señal de excitación senoidal	144
	Referencias	144
Actividad 32	Ley de Ampère - Ley de Biot-Savart - Medición del campo magnético terrestre	145
	Introducción	145
	Proyecto 1 - Campo magnético terrestre	145
	Proyecto 2 - Campo magnético axial de una bobina	147
	Proyecto 3 - Medición de campos magnéticos usando una sonda de efecto Hall	147
	Proyecto 4 - Campo magnético de un imán permanente	148
	Referencias	149
Actividad 33	Ley de inducción de Faraday - Inducción mutua	150
	Introducción	150
	Proyecto 1 - Inducción electromagnética	151
	Proyecto 2 - Transformador	152
	Proyecto 3 - Campo magnético de una espira	152
	Proyecto 4 - Paradoja electromagnética	153
	Referencias	154
Actividad 34	Ley de inducción de Faraday - Autoinducción y circuito RL	155
	Introducción	155
	Proyecto 1 - Característica voltaje-corriente de una autoinductancia	156
	Proyecto 2 - Tiempo característico del circuito RL	156
	Proyecto 3 - Respuesta en frecuencia del circuito RL	157
	Referencias	157
Actividad 35	Física de la caída de un imán permanente por un tubo conductor	158
	Introducción	158
	Proyecto 1 - Determinación del momento magnético de un imán permanente	158
	Proyecto 2 - Estudio experimental de los pulsos inducidos por un imán al atravesar una espira	160
	Proyecto 3 - Caída de un imán permanente por un tubo conductor	162
	Referencias	164
MÓDULO IV - EXPERIMENTOS DE ONDAS Y ÓPTICA		165
Actividad 36	Ondas en cuerdas - Modos normales de oscilación - Resonancia	167
	Introducción	167
	Proyecto - Ondas estacionarias en cuerdas	168
	Referencias	169
Actividad 37	Ondas acústicas en tubos - Tubo de Kundt	170
	Introducción	170
	Proyecto 1 - Ondas estacionarias en un tubo semicerrado. Tubo de Kundt	171

Proyecto 2 - Efecto de la variación de la longitud del tubo	173
Proyecto 3 - Ancho de las resonancias	173
Proyecto 4 - Estudio de la onda estacionaria en el interior del tubo	174
Referencias	174
Actividad 38 Resonadores de Helmholtz - Cavidades resonantes acústicas	175
Introducción	175
Proyecto 1 - Resonancias en una botella. Resonadores de Helmholtz I	177
Proyecto 2 - Resonadores de Helmholtz II	178
Referencias	178
Actividad 39 Ondas acústicas en una caja prismática	179
Introducción	179
Proyecto 1 - Ondas estacionarias en una caja	180
Proyecto 2 - Estudio de los modos normales de oscilación	181
Proyecto 3 - Ancho de las resonancias	181
Referencias	181
Actividad 40 Ondas de ultrasonido - Óptica física usando ultrasonido	182
Introducción	182
Proyecto 1 - Características de la propagación de ondas ultrasónicas	183
Proyecto 2 - Análisis de Fourier	184
Proyecto 3 - Óptica física con ultrasonido	185
Referencias	186
Actividad 41 Interferencia de ondas acústicas - Batido	187
Introducción	187
Proyecto 1 - Escuchando la superposición de ondas	188
Proyecto 2 - Experimentos cuantitativos. Batido	189
Referencias	191
Actividad 42 Leyes de la reflexión y la refracción	191
Introducción	191
Proyecto 1 - Estudio de la reflexión y la refracción	192
Proyecto 2 - Reflexión total interna	194
Referencias	194
Actividad 43 Aplicaciones de las leyes de la reflexión y la refracción - Prismas	195
Introducción	195
Proyecto 1 - Determinación del ángulo de refringencia de un prisma	195
Proyecto 2 - Determinación del índice de refracción	196
Proyecto 3 - Desplazamiento lateral de un haz al atravesar un medio de caras paralelas ..	197
Referencias	197
Actividad 44 Óptica geométrica - Lentes delgadas	198
Introducción	198
Proyecto 1 - Lentes convergentes. Observaciones cualitativas I	199
Proyecto 2 - Propiedades de las lentes. Observaciones cualitativas II	200
Proyecto 3 - Lentes convergentes. Estudio cuantitativo	201
Referencias	202
Actividad 45 Lentes divergentes- Lentes gruesas - Aberraciones	202
Introducción	202
Proyecto 1 - Método sencillo para estimar f de una lente divergente	203
Proyecto 2 - Método cuantitativo para estimar f de una lente divergente	203
Proyecto 3 - Lentes gruesas. Aberraciones de esfericidad	204
Referencias	205
Actividad 46 Difracción e interferencia de la luz - La luz como fenómeno ondulatorio	207
Introducción	207

Proyecto 1 - Observación del fenómeno de difracción e interferencia utilizando una tela	208
Proyecto 2 - Difracción por una rendija o un alambre fino.....	208
Proyecto 3 - Distribución de intensidad de las figuras de difracción	210
Proyecto 4 - Interferencia por dos rendijas o más rendijas	211
Proyecto 5 - Medición de λ usando redes de difracción	212
Referencias	212
Actividad 47 Polarización - Ley de Malus - La luz como onda transversal	213
Introducción	213
Proyecto - Ley de Malus	213
Referencias	215
Actividad 48 Leyes de Fresnel - La luz como fenómeno electromagnético	215
Introducción	215
Proyecto 1 - Determinación del ángulo de Brewster.....	216
Proyecto 2 - Leyes de Fresnel	218
Referencias	218
MÓDULO V - EXPERIMENTOS DE TERMOMETRÍA Y TERMODINÁMICA.....	219
Actividad 49 Termometría - Sensores de temperatura	221
Introducción	221
Proyecto 1 - Calibración de un termómetro de gas	222
Proyecto 2 - Calibración de una termocupla	223
Proyecto 3 - Termómetro de resistencia de platino (RTD)	224
Proyecto 4 - Termómetro basado en un diodo.....	226
Proyecto 5 - Termómetro basado en un circuito integrado	227
Referencias	228
Actividad 50 Termometría - Ley de enfriamiento	229
Introducción	229
Proyecto 1 - Enfriamiento de un termómetro de mercurio	229
Proyecto 2 - Tiempo de respuesta de un termómetro usando un sistema de toma de datos conectado a una PC	232
Proyecto 3 - Estudio del enfriamiento y el calentamiento de cuerpos de distintos materiales	233
Referencias	233
Actividad 51 Dilatación térmica de sólidos.....	234
Introducción	234
Proyecto 1 - Determinación del coeficiente de dilatación térmica I	234
Proyecto 2 - Determinación del coeficiente de dilatación térmica II	236
Referencias	236
Actividad 52 Calorimetría y conservación de la energía.....	237
Introducción	237
Proyecto 1 - Conservación de la energía	237
Proyecto 2 - Medición del calor específico de un sólido	239
Referencias	239
Actividad 53 Transiciones de fase - Calor latente de transformación.....	240
Introducción	240
Proyecto 1 - Transición líquido-vapor. Calor latente de vaporización	240
Proyecto 2 - Transición sólido-líquido. Calor latente de fusión	242
Referencias	243
Actividad 54 Equivalente eléctrico del calor.....	244
Introducción	244
Proyecto 1 - Determinación del equivalente en agua del calorímetro.....	244

	Proyecto 2 - Equivalente eléctrico del calor	245
	Referencias	247
Actividad 55	Procesos termodinámicos.....	247
	Introducción	247
	Proyecto 1 - Procesos termodinámicos simples	249
	Proyecto 2 - Procesos termodinámicos con distintos gases	250
	Referencias	250
MÓDULO VI - EXPERIMENTOS DE FÍSICA MODERNA		251
Actividad 56	Interferometría - Interferómetro de Michelson	253
	Introducción	253
	Proyecto 1 - Determinación de la longitud de onda de un láser	255
	Proyecto 2 - Determinación del índice de refracción de una lámina de vidrio	256
	Proyecto 3 - Efecto del estado de polarización	256
	Proyecto 4 - Separación de dobletes	257
	Proyecto 5 - Análogo acústico del interferómetro de Michelson. Tubo de Quincke| .....	258
	Referencias	259
Actividad 57	Curva de histéresis - Estudio de la transición de fase de un material magnético	260
	Introducción	260
	Proyecto 1 - Medición de la curva de histéresis	261
	Proyecto 2 - Determinación de la temperatura de Curie	262
	Referencias	263
Actividad 58	Naturaleza estadística del decaimiento radiactivo.....	265
	Introducción	265
	Proyecto - Estudio experimental de la estadística del proceso radiactivo.....	266
	Referencias	267
Actividad 59	Dinámica relativista - Colisiones de fotones y electrones - Efecto Compton	268
	Introducción	268
	Proyecto - Estudio experimental de la colisión fotón-electrón. Efecto Compton	272
	Referencias.....	274
Actividad 60	Interacción de la radiación electromagnética con la materia.....	275
	Introducción	275
	Proyecto 1 - Variación del tiempo muerto del sistema con la tasa de conteo	276
	Proyecto 2 - Determinación del coeficiente de absorción lineal	276
	Referencias	278
Actividad 61	Vida media del ^{40}K - Nucleosíntesis	279
	Introducción	279
	Proyecto - Vida media del ^{40}K	280
	Referencias	284
Actividad 62	Transiciones de fases de superconductores	285
	Introducción	285
	Proyecto 1 - Medición de la transición resistiva	285
	Proyecto 2 - Medición de la transición magnética. Efecto Meissner	290
	Referencias	293
Actividad 63	Propiedades irreversibles de superconductores	294
	Introducción	294
	Proyecto 1 - Caracterización del imán permanente.....	298
	Proyecto 2 - Experimento F(T). Determinación de la línea de reversibilidad	298
	Proyecto 3 - Experimento F(t). Relajación magnética	299
	Proyecto 4 - Experimento F(z) [o F(H)]. Ciclo de histéresis	300
	Referencias	301

Actividad 64	Determinación de la banda de energía prohibida de semiconductores	302
	Introducción	302
	Proyecto 1 - Absorción óptica de un semiconductor	302
	Proyecto 2 - Determinación del E_g del Si y del Ge por medio de mediciones eléctricas ...	304
	Referencias	306
Actividad 65	Fonones en un sólido - Determinación de la temperatura de Debye..	307
	Introducción	307
	Proyecto 1 - Determinación de la temperatura de Debye I	310
	Proyecto 2 - Determinación del calor de evaporación del nitrógeno líquido	3 10
	Proyecto 3 - Determinación de la temperatura de Debye II	3 12
	Proyecto 4 - Observación del efecto Leidenfrost	313
	Referencias	314
APÉNDICES	.....	315
Apéndice A	Sugerencias para la realización de un proyecto experimental..	3 17
	Referencias	318
Apéndice B	Pautas y sugerencias para la redacción de informes	3 19
	Organización del informe	319
	Encabezamiento del informe	320
	Cuerpo del informe	320
	Comentarios finales	321
Apéndice C	Sugerencias para las presentaciones orales	322
	Referencias	322
Apéndice D	Sistemas de adquisición de datos por computadoras.....	323
	Referencias	325
Apéndice E	Portales y sitios en Internet sobre Física y ciencias	326
Apéndice F	Análisis avanzado	330
	Introducción	330
	Método de cuadrados mínimos incluyendo errores.....	330
	Regresión lineal considerando las incertidumbres de medición	333
	Bondad de ajuste. Criterios cuantitativos	334
	Intervalos de confianza y nivel de significación. Muestras pequeñas.....	335
	Simulación de resultados experimentales. Método de Montecarlo.....	336
	Aplicaciones.....	337
	Referencias	338
Apéndice G	Determinación de la diferencia de fases entre dos señales	339
Apéndice H	Período de un péndulo simple	341
	Referencias	342
Apéndice I	Fotómetros - Construcción y calibración	343
	Fotómetros	343
	Métodos de calibración	345
	Referencias	346
Apéndice J	Normas de seguridad en el laboratorio	347
	Recomendaciones generales	347
	Recomendaciones para el uso de un láser	347
	Recomendaciones generales para usar líquidos criogénicos	348
	Normas generales para usar productos químicos..	348
	Normas generales para usar sustancias radiactivas	349
	Referencias	350
Índice Alfabético.....	.....	351