

# *Experimentos de física,* **De bajo costo usando TIC's**

**Salvador Gil**

**Prefacio:** Objetivo del libro. Como usar este libro. A nuestros colegas. Encuadre filosófico, Enfoque pedagógico adoptado en este trabajo, Agradecimientos.

## **Módulo I Introducción a las ciencias experimentales**

**Capítulo 1.** Marco de referencia: Rol del laboratorio en el aprendizaje de las ciencias. ¿Por qué hacemos experimentos? Redacción de informes de laboratorio. Seguridad en el laboratorio.

## **Módulo II Análisis de datos y metrología**

### **Capítulo 2. Análisis gráfico de resultados**

- 2.1 Importancia de la representación gráfica
- 2.2 Elección de las variables
- 2.3 Relación lineal
- 2.4 Relación potencial
- 2.5 Relación exponencial
- 2.6 Transformación de variables – pseudovariables
- 2.7 Sugerencias para generar gráficos
- 2.8 Ejercicios y problemas

### **Capítulo 3. Descubriendo leyes experimentales – Actividades**

Proyecto. 1 Relación masa – longitud de hojas de una planta.

Proyecto. 2 Experimentos con plantas reales

- ✓ Relación tamaño de una hoja y su masa.
- ✓ Relación tamaño de una fruta y su masa.
- ✓ Relación tamaño de una especie de mamífero y su longitud

Proyecto. 3 Buscando leyes de conservación en la naturaleza.

Proyecto. 4 Importancia del tamaño en Biología

Proyecto. 5 Frecuencia de aparición de palabras en los idiomas. Ley de Zipf

Proyecto. 6 ¿Por qué la primera página de una tabla o manual de la biblioteca es en general la más ajada? Ley de Benford

### **Capítulo 4. Introducción a la teoría de errores Conceptos básicos de metrología – Incertidumbres de medición**

- 4.1 Introducción
- 4.2 Sensibilidad, precisión, y exactitud
- 4.3 Fuente de errores: apreciación, exactitud, interacción, definición.
- 4.4 Clasificación de los errores: sistemáticos, estadísticos, espurios
- 4.5 Cifras significativas

4.6 Determinación de los errores de medición- Resumen

4.7 Nonio, vernier o calibre

✓ Ejercicios y problemas

### Capítulo 5. Tratamiento estadístico de datos, Histogramas y estadística

5.1 Introducción

5.2 Histogramas y distribución estadística

5.3 Parámetros de localización de una distribución

5.4 Parámetros estadísticos de dispersión- desviación estándar

5.5 Distribución Normal o Gaussiana

5.6 Magnitud que se mide N veces

5.7 Número óptimo de mediciones

5.8 Decálogo práctico

5.9 Combinación de mediciones independientes

5.10 Discrepancia

5.11 Resumen de conceptos importantes

✓ Ejercicios y problemas

Proyecto. 7 Construcción de Histogramas y estudio de distribuciones empíricas.

Proyecto. 8 Histograma obtenido artesanalmente

### Capítulo 6. ♣ Mediciones indirectas, Propagación de errores

✓ Introducción - Propagación de incertidumbres

✓ Truncamiento de números

✓ Elección de los instrumentos

✓ Propagación de incertidumbres con variable correlacionadas

✓ Resumen de conceptos importantes

✓ Ejercicios y problemas

### Capítulo 7. ♣♣ Cuadrados mínimos y regresión lineal

✓ Método de cuadrados mínimos. Regresión lineal

✓ Correlación y causalidad

✓ Incerteza en los parámetros de ajuste

✓ La navaja de Occam o criterio de parsimonia

✓ Resumen de conceptos importantes

✓ Ejercicios y problemas

## Módulo III Experimentos Introdutorios

### Capítulo 8. Medición de densidades.

Proyecto. 9 El principio de Arquímedes I- Falsando una hipótesis

Proyecto. 10 Método de Arquímedes para determinar densidades I

Viaje al interior de la Tierra.

Proyecto. 11 Estudio de la densidad y composición interna de la Tierra

### Capítulo 9. Experimentos introductorios de mecánica: Péndulo simple y caída de los cuerpos- Fotointerruptores

✓ Fotointerruptores

Proyecto. 12 Descubriendo las leyes del péndulo- Dependencia del período en función de la longitud del péndulo

✓ Experimento de caída libre: Movimiento uniformemente acelerado y determinación de g

Proyecto. 13 Estudio del movimiento en caída libre

Proyecto. 14 Determinación de  $g$

Proyecto. 15 Conservación de la energía

**Anexo B.** Ecuación de movimiento del péndulo simple

### Capítulo 10. La cámara digital como instrumento de medición en el laboratorio

✓ Formas geométricas formadas por la sombra de una lámpara

Proyecto. 16 Estudio de la sombra de una lámpara

Proyecto. 17 Trayectoria de un chorro de agua

Proyecto. 18 ♣ Uso de video para estudiar la cinemática de un cuerpo - fuerza de roce viscoso en el aire

Proyecto. 19 ♣ Estudio de la cinemática del tiro oblicuo

(i) Caso de roce despreciable

(ii) Caso de roce apreciable – Integración numérica de las ecuaciones de movimiento

**Anexo B.** Régimen laminar y turbulento

**Anexo C.** Movimiento de caída en un medio fluido con roce proporcional a  $v^2$

### Capítulo 11. La tarjeta de sonido de una PC como instrumento de medición

✓ Tarjeta de sonido de las computadoras personales

Proyecto. 20 Determinación de la aceleración de la gravedad usando señales de audio

✓ Ondas sonoras

Proyecto. 21 Determinación de velocidad de sonido

### Capítulo 12. Midiendo el Sistema Solar desde el aula

Proyecto. 22 Determinación del tamaño de la Luna y su distancia a la Tierra - Aristarco

Proyecto. 23 Estimación del radio terrestre

Proyecto. 24 Determinación del tamaño de la Luna y su distancia a la Tierra – Hiparco

Proyecto. 25 Distancia Tierra-Sol

Proyecto. 26 Distancia Venus-Sol y Mercurio-Sol

Proyecto. 27 Distancia a otros planetas

Proyecto. 28 Aplicaciones a la Astronomía y a la Astrofísica. Leyes de Kepler y Ley de Hubble

Proyecto. 29 Expansión de Universo y Big Bang. ¿Cómo sabemos esto? ¿Cuándo ocurrió?

**Anexo A.** Trayectoria de un rayo de luz en la atmósfera.

**Anexo B.** Períodos de la Luna

## Módulo IV Experimentos de Mecánica

### Capítulo 13. Ley de Hooke

Proyecto. 30 Determinación de la constante de un resorte

Proyecto. 31 Propiedades elásticas de una banda elástica

- Proyecto. 32      Sistemas de resorte en serie y paralelo  
 Proyecto. 33      Sistema elástico no lineal
- Capítulo 14. Leyes de Newton y fuerza de rozamiento**
- Proyecto. 34      Determinación del coeficiente de roce estático,  $\mu_e$   
 Proyecto. 35      Determinación del coeficiente de roce cinético  $\mu_d$   
**Anexo A.**      Estudio del movimiento del sistema de dos cuerpos con roce seco
- Capítulo 15. Oscilaciones libres y amortiguadas**
- ✓      Oscilaciones libres y amortiguadas  
 Proyecto. 36      Estudio del sistema oscilante - Oscilaciones libres  
 Proyecto. 37      Oscilaciones amortiguadas – roce viscoso  
 Proyecto. 38      ♣ Oscilaciones amortiguadas – roce turbulento  
**Anexo B.**      Oscilador armónico con fuerza de roce turbulento
- Capítulo 16. Péndulos Físicos**
- ✓      Período para amplitudes de oscilación pequeñas  
 Proyecto. 39      Estudio de un anillo oscilante  
 Proyecto. 40      Péndulo “No-Intuitivo”  
 ✓      Péndulo reversible de Kater  
 Proyecto. 41      Realización estándar de péndulo de Kater. Medición de g  
 Proyecto. 42      Péndulo de Kater “casero”
- Capítulo 17. Péndulo cicloidal – Braquistócrona y tautócrona**
- ✓      Involutas e involutas  
 ✓      Arreglo experimental  
 Proyecto. 43      Péndulo simple – Variación del período con la amplitud  
 Proyecto. 44      Péndulo cicloidal  
 Proyecto. 45      Péndulo cicloidal perturbado- oscilaciones anarmónicas  
 Proyecto. 46      Péndulo con evoluta semicúbica- Paradoja de la carrera
- Capítulo 18. Oscilaciones forzadas – Resonancia en sistemas mecánicos**
- Proyecto. 47      Oscilaciones forzadas
- Capítulo 19. Parábolas y Catenarias**
- Proyecto. 48      Cadena simple sujeta por sus extremos  
 Proyecto. 49      Cadena con cargas
- Capítulo 20. Propiedades elásticas de los materiales. Módulo de rigidez. Flexión de barras.**
- Proyecto. 50      Medición del módulo de Young de alambres de cobre, acero, etc. por método de carga y descarga.  
 ✓      ♣ Flexión de barras - Teoría de Euler-Bernoulli  
 ✓      ♣ Barra empotrada con un extremo libre  
 ✓      ♣ Vibraciones de una barra
- Proyecto. 51      Medición del módulo de Young de barras por método estático- Deflexión de barras. Medición cargas y flecha.

- Proyecto. 52 Deflexión de barras. Determinación de la forma mediante fotografías digitales cargas y flecha
- Proyecto. 53 Deflexión de una barra delgada. Determinación de la forma mediante fotografías digitales
- Proyecto. 54 ♣ Medición del módulo de Young de barras por método dinámico.
- Proyecto. 55 ♣♣ Medición del módulo de Young a partir del sonido emitido por la muestra al ser golpeada.

### Capítulo 21. Dinámica de una cadena en movimiento

- 22.1 Cadena colgante del borde de una mesa o a través de un tubo
- Proyecto. 56 Cadena colgante del borde de una mesa o a través de un tubo
- 22.2 Cadena en caída vertical – Estudio del movimiento de un saltador Bungee
- Proyecto. 57 Cadena colgante en caída vertical- Saltador Bungee

### Capítulo 22. Sistemas mecánicos de masa variable-Materiales granulares

- ✓ Flujo de materiales granulares
- Proyecto. 58 Estudio experimental de los flujos agua y arena
- Proyecto. 59 Influencia de la forma del recipiente en los flujos arena Estudio del flujo granular.
- Proyecto. 60 Dependencia del flujo de arena con el área del orificio de salida.
- Proyecto. 61 Determinación del momento de inercia de una polea.
- Proyecto. 62 Máquina de Atwood con masa constante
- Proyecto. 63 ♣♣ Máquina de Atwood de masa variable.
- ✓ Divertimento: Experimento de la taza y la llave
- Proyecto. 64 ♣♣ Oscilador armónico de masa variable
- Anexo B. Máquina de Atwood con masas constantes
- Anexo C. Máquina de Atwood con masa variable
- Anexo D. Oscilador de masa variable

### Capítulo 23. Estudio de una barra en rotación- Estabilidad de las rotaciones

- ✓ Consideraciones sobre sistemas rotantes-no inerciales
- Proyecto. 65 Estudio de una barra en rotación
- Anexo B. Descripción teórica de una barra en rotación
- Anexo C.

## Módulo V Experimentos de Electricidad y Magnetismo

### Capítulo 24. Circuitos simples de corrientes – Ley de Ohm

- ✓ Dependencia de la corriente con la tensión- Ley de Ohm
- ✓ Construcción de un divisor de tensión
- Proyecto. 66 Determinación de las características voltaje-corriente de un conductor metálico. Ley de Ohm
- Proyecto. 67 Resistencias en serie y en paralelo. Uso de un óhmetro
- ✓ Curva V-I usando un sistema de adquisición conectado a una PC.
- Proyecto. 68 Determinación de las características voltaje-corriente una resistencia y un diodo.

- ✓ Entradas en modo común y diferenciales
- Proyecto. 69 ¿Las lámparas incandescentes, obedecen la ley de Ohm?
- Proyecto. 70 Determinación de las características voltaje-corriente una lámpara usando un sistema de adquisición de datos.
- ✓ Modelo de una Fuente – Teorema de Thévenin y Norton
- Proyecto. 71 Modelo de una fuente

**Anexo B.** ♣ Resistencia interna de Voltímetros y Amperímetros Resistencia interna de los amperímetros.

- ✓ ♣ Error sistemático introducido por los voltímetros.
- ✓ ♣ Error sistemático introducido por los amperímetros.
- ✓ ♣♣ Determinación de la resistencia interna de amperímetros y voltímetros:

### Capítulo 25. Redes de resistencias

- Proyecto. 72 Redes de resistencias en 1D – Relación de Fibonacci
- Proyecto. 73 Resistencias de grafito o realizada con una impresora de chorro de tinta
- ✓ Redes de resistencias en 2D-Modelo
- Proyecto. 74 Redes de resistencias 2D

### Capítulo 26. Puente de Wheatstone y puente de hilo

- ✓ Introducción
- Proyecto. 75 Estudio experimental del puente
- ✓ Puente de hilo
- ✓ Precisión del puente de hilo
- ✓ Incertidumbres en las mediciones con puente de hilo:
- Proyecto. 76 Determinación del valor de una resistencia incógnita usando un puente de hilo

### Capítulo 27. Método de las cuatro puntas o método de Kelvin para medir resistencias y resistividad

- ✓ Determinación de resistencias de bajo valor
- ✓ Método de las cuatro puntas o método de Kelvin
- ✓ Medición de la resistividad de una muestra geometría simple-caso 1D.
- Proyecto. 77 Medición de la resistividad de un alambre por el método de las cuatro puntas
- ✓ Determinación de la resistividad de una muestra bidimensional
- Proyecto. 78 Determinación de la resistividad de una muestra plana
- ✓ Método de van der Pauw- transresistencias – Muestra plana
- Proyecto. 79 Determinación de la resistividad de una muestra plana pequeña
- ✓ Muestra tridimensional grande, método de Wenner

### Capítulo 28. Variación de la resistencia con la temperatura

- ✓ Modelo simples de conducción en sólidos
- Proyecto. 80 Variación de la resistencia con la temperatura de un alambre metálico por el método de las cuatro puntas

Proyecto. 81	Variación de la resistencia con la temperatura de una aleación metálica
Proyecto. 82	Variación de la resistencia con la temperatura de un termistor
<b>Anexo B.</b>	Modelo simple de conducción en semiconductores
<b>Capítulo 29.</b>	<b>Conducción en líquidos – Estimación de la carga del electrón</b>
✓	Modelo simples de conducción en líquidos-Electrólisis
Proyecto. 83	Conductividad de un líquido - estudio semicuantitativo
Proyecto. 84	Conductividad de un líquido – Relación Voltaje-Corriente
Proyecto. 85	Conductividad de un líquido – Efecto de la temperatura
Proyecto. 86	Estimación de la carga del electrón
<b>Capítulo 30.</b>	<b>Condensadores y dieléctricos</b>
Proyecto. 87	Condensadores en serie y paralelo, instrumental y mediciones básicas
Proyecto. 88	Condensador de placas planas paralelas. Variación de la capacidad con la geometría
Proyecto. 89	Variación de la capacidad con el medio dieléctrico
<b>Capítulo 31.</b>	<b>Circuito RC</b>
✓	<b>Circuito RC</b>
Proyecto. 90	Carga y descarga de un condensador usando un sistema de adquisición de datos conectado a una PC
Proyecto. 91	Determinación de la resistencia interna de un voltímetro o sistema de adquisición de datos
Proyecto. 92	Circuito RC Respuesta estacionaria. Señal cuadrada
✓	Circuito RC excitado- repuesta forzada
Proyecto. 93	Circuito RC Respuesta estacionaria. Señal de excitación sinusoidal
<b>Anexo B.</b>	Determinación de la diferencia de fases entre dos señales
<b>Capítulo 32.</b>	<b>Fuerza de Lorentz , ley de Ampère</b>
✓	Fuerza entre dos espiras circulares
Proyecto. 94	Estudio de la fuerza magnética entre dos espiras circulares
<b>Capítulo 33.</b>	<b>Ley de Ampère – Ley de Biot-Savart – Mediciones de campo magnético</b>
✓	Introducción
Proyecto. 95	Campo magnético terrestre (usando una Brújula)
Proyecto. 96	La brújula como magnetómetro. Campo magnético axial de una espira
✓	sensor de efecto Hall
Proyecto. 97	Medición de campos magnéticos usando un sensor de efecto Hall
Proyecto. 98	Campo magnético de un imán permanente
Proyecto. 99	Estudio del campo magnético de un par de Helmholtz
<b>Capítulo 34.</b>	<b>Ley de inducción de Faraday – Inducción mutua</b>
Proyecto. 100	Ley de Faraday I - Análisis cualitativo
Proyecto. 101	Ley de Faraday II - Análisis cuantitativo
Proyecto. 102	Ley de Faraday III - Variación de número de espiras
Proyecto. 103	Campo magnético de una espira a lo largo de su eje, usando la ley de Faraday
Proyecto. 104	Campo magnético de una espira a lo largo de su eje usando un lock-in amplifier

- Proyecto. 105 Ley de Faraday – Paradoja electromagnética o ¿Qué miden los voltímetros?
- Capítulo 35. Autoinducción y circuito RL**
- ✓ Autoinducción
  - Proyecto. 106 Característica voltaje-corriente de una autoinductancia
  - ✓ Circuito RL – repuesta transitoria
  - Proyecto. 107 Tiempo característico del circuito RL
  - ✓ Circuito RL conectado a una fuente alterna
  - Proyecto. 108 Respuesta del circuito RL en frecuencia
  - Anexo B.** Estimación del valor de la autoinductancia de una bobina
- Capítulo 36. Caída de un imán permanente por un tubo conductor**
- ✓ Oscilación de un imán permanente en un campo uniforme
  - ✓ Determinación del momento magnético de un imán permanente
  - Proyecto. 109 Determinación del momento magnético de un imán permanente dentro de una bobina de Helmholtz
  - ✓ Pulsos inducidos por un imán al atravesar una espira.
  - Proyecto. 110 Estudio experimental de pulsos inducidos por un imán al atravesar una espira
  - ✓ Caída de un imán por un tubo conductor
  - Proyecto. 111 Caída de un imán permanente por un tubo conductor I
  - Proyecto. 112 ♣ Caída de un imán permanente por un tubo conductor II
- Capítulo 37. Campos y potenciales electrostáticos – Ecuación de Laplace.**
- ✓ Resolución numérica de la ecuación de Laplace, método de relajación
  - ✓ Condiciones de borde de Dirichlet y Neumann
  - Proyecto. 113 Análisis semi-cuantitativo
  - Proyecto. 114 Análisis cuantitativo – Método de relajación I
  - Proyecto. 115 Análisis cuantitativo – Método de relajación II
  - Proyecto. 116 Estimación del vector campo eléctrico
- Capítulo 38. Oscilaciones eléctricas – Circuitos RLC serie. Oscilaciones libres y forzadas.**
- ✓ Oscilaciones libres
  - ✓ Diagrama de fase
  - Proyecto. 117 Respuesta del circuito RLC libre subamortiguado
  - ✓ Oscilaciones forzadas
  - ✓ Reactancias e impedancias complejas
  - Proyecto. 118 Respuesta del circuito RLC forzado
  - Proyecto. 119 Respuesta del circuito RLC en paralelo – Resonancia
  - ✓ Sistemas Lineales
  - Proyecto. 120 Respuesta del circuito RLC forzado a una excitación cuadrada y triangular
- Capítulo 39. Circuitos RLC acoplados y circuito no lineales Oscilaciones acopladas.**
- ✓ Circuitos RLC acoplados libres
  - ✓ Circuitos RLC acoplados forzados
  - Proyecto. 121 Determinación de la inductancia mutua  $M(x)$  como función de la separación de las bobinas



- Proyecto. 122 Caracterización de la curva de resonancia usando un sistema de adquisición de datos
- Proyecto. 123 Caracterización de la curva de resonancia usando un lock-in amplifier
- Proyecto. 124 Respuesta del circuito RLC-C
- Proyecto. 125 Circuitos RLC acoplados. Efecto Wigner–von Neumann de repulsión de frecuencias

**Capítulo 40.** Corrientes de Foucault o corrientes parásitas.

- ✓ Campos electromagnéticos cuasiestacionarios en conductores
- ✓ Apantallamiento electromagnético – simetría cilíndrica
- Proyecto. 126 Apantallamiento electromagnético I– simetría cilíndrica
- Proyecto. 127 Apantallamiento electromagnético II– Lock-In.
- Proyecto. 128 Apantallamiento electromagnético III- Placas planas
- ✓ Efecto piel o pelicular
- Proyecto. 129 Variación de la resistencia de un alambre con la frecuencia- I.
- Proyecto. 130 Efecto piel en un alambre, expulsión del flujo magnético.

**Anexo B.** Teoría del efecto pelicular

**Anexo C.** Funciones de Bessel

**Módulo VI Experimentos de Ondas y Óptica**

**Capítulo 41. Ondas estacionarias en una dimensión**

- ✓ Ondas estacionarias en una cuerda
- Proyecto. 131 Ondas estacionarias en cuerdas
- ✓ Ondas estacionarias en tubos (Tubo de Kuntz)
- Proyecto. 132 Ondas estacionarias en un tubo semicerrado - Tubo de Kundt
- Proyecto. 133 Efecto de la variación de la longitud del tubo
- Proyecto. 134 ♣♣ Estudio de las resonancias en un tubo usando un Lock-in Amplifier

**Anexo B.** Accionador mecánico de frecuencia variable

**Anexo C.** Ondas de presión unidimensionales

**Capítulo 42. Interferencia de ondas acústicas. Batido**

- ✓ Principio de superposición
- ✓ Batido
- Proyecto. 135 Escuchando la superposición de ondas-Batidos
- Proyecto. 136 Experimentos cuantitativos – Batido

**Capítulo 43. Caja cuadrada - Resonadores de Helmholtz**

- ✓ Ondas estacionarias en una caja cuadrada
- Proyecto. 137 Ondas estacionarias en una caja
- Proyecto. 138 ♣♣ Ondas estacionarias en una caja usando un Lock-in Amplifier
- ✓ Resonancia de una botella - resonador de Helmholtz
- Proyecto. 139 Resonancias en una botella. Resonadores de Helmholtz I
- Proyecto. 140 Resonadores de Helmholtz II

**Capítulo 44.** Ondas de ultrasonido

- ✓ Ultrasonido
- ✓ Par ultrasónico
- Proyecto. 141 Respuesta en frecuencia un par ultrasónico
- Proyecto. 142 Determinación de la velocidad del sonido
- ✓ Propiedades físicas de las ondas de ultrasonido

- Proyecto. 143 Óptica geométrica y física con ultrasonido
- Capítulo 45.** Efecto Doppler
- ✓ Efecto Doppler –Introducción
  - ✓ Fuente en movimiento circular
- Proyecto. 144 Estudio del efecto Doppler de una fuente sonora en movimiento circular
- Proyecto. 145 Estudio del efecto Doppler de una observador en movimiento circular
- Capítulo 46.** Experimentos de óptica geométrica
- ✓ Óptica geométrica- Leyes de la reflexión y refracción
- Proyecto. 146 Estudio de la reflexión y la refracción
- Proyecto. 147 Reflexión total interna
- ✓ Lentes delgadas
- Proyecto. 148 Lentes convergentes – Observaciones cualitativas I
- Proyecto. 149 Propiedades de las lentes – Observaciones cualitativas II
- Proyecto. 150 Lentes convergentes – Estudio cuantitativo
- Proyecto. 151 Método sencillo para estimar  $f$  de una lente divergente
- Proyecto. 152 Método cuantitativo para estimar  $f$  de una lente divergente
- Capítulo 47.** Experimentos de óptica física
- ✓ Difracción e interferencia de la luz. La luz como fenómeno ondulatorio
- Proyecto. 153 Difracción por una rendija o un alambre fino
- ✓ Determinación de intensidad de un patrón
- Proyecto. 154 Distribución de intensidad de las figuras de difracción
- Proyecto. 155 Interferencia por dos rendijas o más rendijas
- Proyecto. 156 Medición de  $\lambda$  usando redes de difracción
- ✓ Polarización – Ley de Malus
- Proyecto. 157 Ley de Malus

## Módulo VII Experimentos con fluidos y física térmica

- Capítulo 48.** Tensión superficial
- ✓ Fuerzas de cohesión y adhesión
  - ✓ Ascenso capilar
- Proyecto. 158 Determinación de la tensión superficial por ascenso capilar
- Proyecto. 159 Ascenso capilar por una pared en forma de cuña
- Proyecto. 160 Estimación del Número de Avogadro

### Capítulo 49. Experimentos con Fluidos – Experimento de Torricelli

- ✓ Fluidos ideales y teorema de Bernoulli
  - ✓ Fluidos viscosos
- Proyecto. 161 Forma de un chorro de agua
- ✓ Experimento de Torricelli
- Proyecto. 162 Trayectoria de un chorro de agua. Velocidad de salida
- Proyecto. 163 Tiempo de vaciamiento de un recipiente
- Proyecto. 164 Experimento de Torricelli
- Anexo B.** Tiempo de evacuación de un recipiente

	<b>Anexo C.</b>	Vena Contracta
	<b>Anexo D.</b>	Teorema de Torricelli, modelo teórico
<b>Capítulo 50.</b>		Termometría – Sensores de temperatura
	✓	Termómetros- sensores de temperatura
Proyecto. 165		Calibración de un termómetro de gas
Proyecto. 166		Calibración de un termopar
Proyecto. 167		Calibración de una RTD
Proyecto. 168		Termómetro basado en un diodo
Proyecto. 169		Termómetro basado en un circuito integrado
<b>Capítulo 51.</b>		Dilatación térmica de sólidos
	✓	Dilatación térmica
Proyecto. 170		Determinación del coeficiente de dilatación térmica I
Proyecto. 171		Determinación del coeficiente de dilatación térmica II
<b>Capítulo 52.</b>		Ley de enfriamiento de Newton
	✓	Propagación del calor
	✓	Enfriamiento de un cuerpo
Proyecto. 172		Enfriamiento de un termómetro de vidrio en el aire
Proyecto. 173		Enfriamiento de un cuerpo en el aire y en el agua
Proyecto. 174		Variación del enfriamiento con la masa
<b>Capítulo 53.</b>		<b>Conservación de la energía y calorimetría</b>
	✓	Conservación de la energía – Primer Principio de la Termodinámica
	✓	Equivalente en agua del calorímetro
Proyecto. 175		Conservación de la energía en una mezcla de dos masas de agua
Proyecto. 176		Medición del calor específico de un sólido I
Proyecto. 177		Medición del calor específico de un sólido II
	✓	Transiciones de fases
Proyecto. 178		Transición líquido-vapor. Calor latente de evaporación I
Proyecto. 179		Transición líquido-vapor. Calor latente de evaporación II
Proyecto. 180		Transición sólido-líquido. Calor latente de fusión
<b>Capítulo 54.</b>		<b>Gases ideales - Determinación de pesos moleculares</b>
	✓	Gases ideales
Proyecto. 181		Peso molecular del aire
Proyecto. 182		Medición del peso molecular del butano
<b>Capítulo 55.</b>		<b>Teoría cinética de los gases - Relación de calores específicos para gases ideales</b>
	✓	Teoría cinética y capacidad calorífica de gases ideales
	✓	Experimentos de Clement-Desormes
Proyecto. 183		Determinación de $\gamma$ por el método de Clement-Desormes
	✓	Experimentos de Rüchardt
Proyecto. 184		Determinación de $\gamma$ por el método de Rüchardt

**Capítulo 56.** Calentamiento Global, temperaturas del pasado y ondas térmicas

Proyecto. 185 Conducción y pérdida de calor en una barra metálica.

Proyecto. 186 Ondas de calor en el suelo

Proyecto. 187 Temperaturas del pasado

**Capítulo 57.** Difusión: difusión de permanganato de potasio en agua

✓ Leyes de Fick de la difusión

✓ Difusión en una y dos dimensiones

✓ Difusión en agua

Proyecto. 188 Difusión del permanganato de potasio o tinta en el agua Difusión: difusión de permanganato de potasio en agua

Proyecto. 189 Variación del coeficiente de difusividad con la temperatura

Proyecto. 190 Difusión del permanganato de potasio o tinta en el agua

**Módulo VIII Módulo de Física Moderna y astrofísica**

**Capítulo 58.** Experimento de Michelson

✓ El interferómetro de Michelson

Proyecto. 191 Determinación de la longitud de onda de un láser

Proyecto. 192 Efecto del estado de polarización

Proyecto. 193 Análogo acústico del interferómetro de Michelson: Tubo de Quincke

**Capítulo 59.** Transiciones de fases - Materiales ferromagnéticos

✓ Materiales ferromagnéticos y ferrimanéticos

✓ Curva de histéresis

✓ Determinación de la curva de histéresis

Proyecto. 194 Medición de la curva de histéresis para el hierro

Proyecto. 195 Medición de la curva de histéresis para núcleo de ferrita

Proyecto. 196 Estimación de la temperatura de Curie

Proyecto. 197 Determinación de la temperatura de Curie de una muestra de ferrita

**Anexo B.** Número de vueltas de las bobinas del toroide

**Anexo C.** Circuito integrador

**Capítulo 60.** Naturaleza estadística del decaimiento radioactivo

✓ Decaimientos radioactivos

✓ La distribución de Poisson

Proyecto. 198 Estudio experimental de la estadística del proceso radioactivo

**Capítulo 61.** Dinámica relativista – Colisiones de electrones y fotones – Efecto Compton

✓ Dinámica relativista

✓ Interacción de la radiación con la materia- efecto Compton

✓ Mecanismos de interacción de fotones en un detector de rayos gama

Proyecto. 199 Estudio experimental de la colisión fotón-electrón. Efecto Compton

**Capítulo 62.** Interacción de la radiación electromagnética con la materia

✓ Pasaje de la radiación electromagnética por la materia

✓ Determinación del coeficiente de absorción

Proyecto. 200 Variación del tiempo muerto del sistema de adquisición

- Proyecto. 201 Determinación del coeficiente de absorción lineal
- Capítulo 63.** Determinación de la vida media del  $^{40}\text{K}$  – Nucleosíntesis
- ✓ Nucleosíntesis
  - ✓ Introducción a la espectroscopia de rayos gama
  - ✓ Eficiencia de un detector de rayos gama
  - ✓ Determinación de vidas medias largas
- Proyecto. 202 Vida media del 40K
- Capítulo 64.** Determinación de la banda de energía prohibida de semiconductores
- ✓ Banda de energía prohibida de semiconductores
  - ✓ Diodos semiconductores
  - ✓ Introducción Determinación de vidas medias largas
- Proyecto. 203 Determinación del “band-gap” del Si y del Ge por medio de mediciones eléctricas
- Proyecto. 204 Determinación del “band-gap” del Si y del Ge II
- Capítulo 65.** Capacidad calorífica de un sólido a bajas temperaturas- Modelos de Einstein y Debye
- ✓ Capacidad calorífica de un sólido a bajas temperaturas
  - ✓ Fonones en sólidos
- Proyecto. 205 Determinación de la Temperatura de Debye I
- Proyecto. 206 Determinación del calor de evaporación del nitrógeno líquido
- Proyecto. 207 Determinación de la Temperatura de Debye II
- ✓ Efecto Leidenfrost
- Proyecto. 208 Observación del efecto Leidenfrost
- Capítulo 66.** Estimación de la constante solar, la luminosidad del Sol y atenuación de la luz en la atmosfera
- ✓ La luminosidad del Sol y la constante solar
  - ✓ Extinción de la luz en la atmósfera
  - ✓ Determinación de la irradiancia solar
- Proyecto. 209 Método simple para medir la irradiancia solar.
- Proyecto. 210 Atenuación de radiación solar en la atmósfera
- Proyecto. 211 Método simple para medir la irradiancia solar
- ✓ Máxima distancia de visibilidad en el aire, turbidez
- Proyecto. 212 Máxima distancia de visibilidad en el aire
- Anexo B.** Fotómetros

## Apéndices

- Apéndice A.** Pautas y sugerencias para la redacción de informes
- Apéndice B.** Normas de seguridad en el laboratorio
- Apéndice C.** Método de regresión lineal- Significación de Parámetros de un ajuste
- Apéndice D.** Regresión no-lineal
- Apéndice E.** Introducción a los “Lock in amplifiers”

**Apéndice F.** Sugerencias para la realización de un proyecto experimental